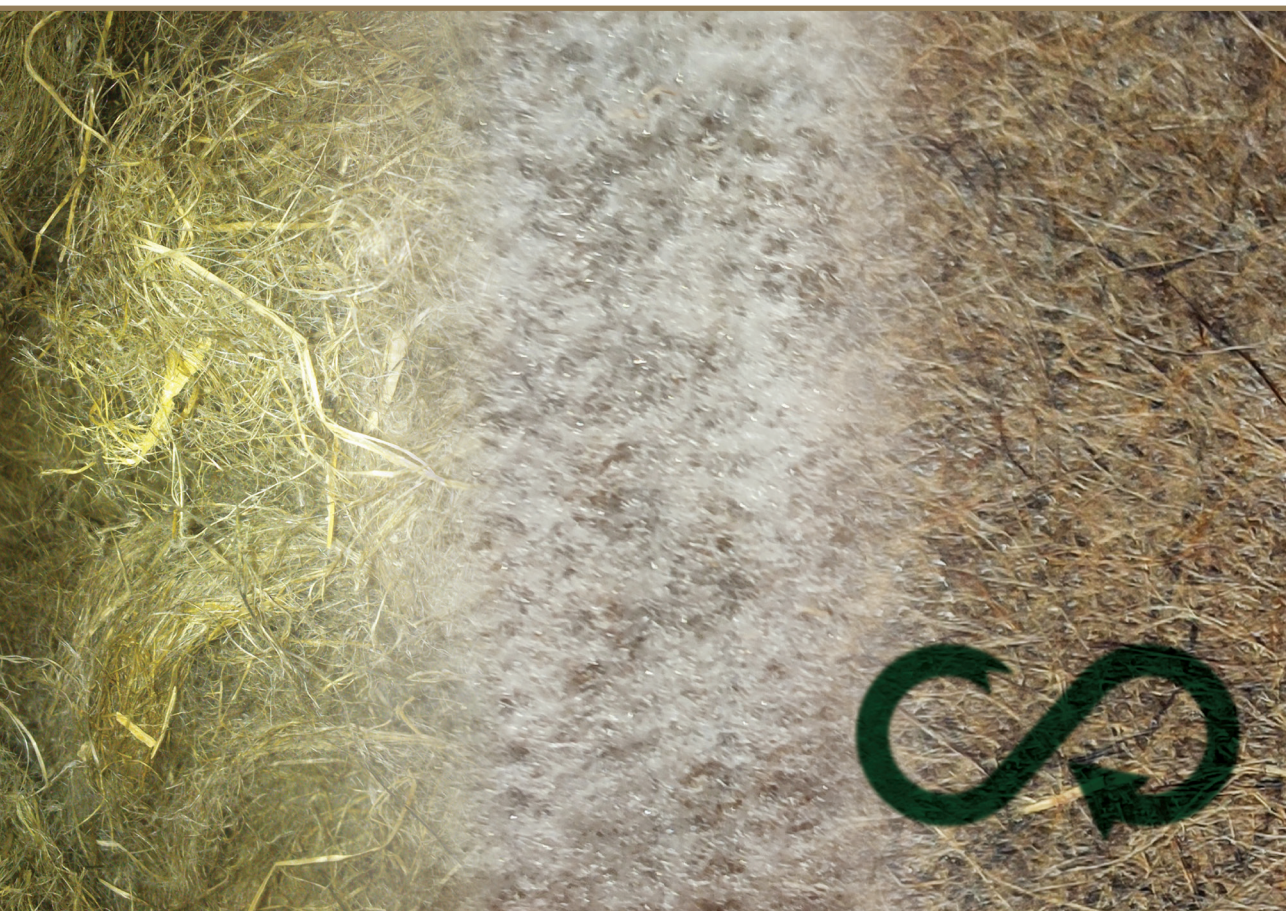


Arta Seile

LIGNOCELULOZES UN POLILAKTĪDA ŠĶIEDRAS AKUSTISKOS NEAUSTAJOS MATERIĀLOS UN KOMPOZĪTOS

Promocijas darbs



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte

Dizaina tehnoloģiju institūts

Arta Seile

Doktora studiju programmas “Šķiedru materiālu zinātne” doktorante

**LIGNOCELULOZES UN POLILAKTĪDA
ŠĶIEDRAS AKUSTISKOS NEAUSTAJOS
MATERIĀLOS UN KOMPOZĪTOS**

Promocijas darbs

Zinātniskā vadītāja
asociētā profesore *Dr. sc. ing.*
DANA ALMLI

zinātniskā konsultante
profesore emeritus *Dr. sc. ing.*
SILVIJA KUKLE

Rīga 2023

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” ietvaros

Šis pētījums ir tapis ar Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras grantu programmas atbalstu



PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 22. novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, Ķīpsalas ielā 6, 206. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētais profesors *Dr. sc. ing.* Jānis Kajaks
Rīgas Tehniskā universitāte

Ph. D. Miguel Angelo Fernandes Carvalho
Minho Universitāte, Portugāle

Profesors *Ph. D. Rimvydas Milasius*
Kauņas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Arta Seile (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu/angļu valodā, tajā ir ievads, 3 nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 109 attēli, 40 tabulas, 1 pielikums, kopā 160 lappuses, ieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 165 nosaukumi.

Anotācija

Arta SEILE “*Lignocelulozes un polilaktīda šķiedras akustiskos neaustajos materiālos un kompozītos*” [Promocijas darbs], Rīgas Tehniskā universitāte, MLĶF, DTI, Rīga – 2023. – 160 lpp.

Promocijas darbs izstrādāts Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Dizaina tehnoloģiju institūtā, sadarbojoties ar Āhenas Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūtu Vācijā. Promocijas darbs izstrādāts asoc. profesores Dr. sc. ing. Danas Almlī un zinātniskās konsultantes profesores emeritus Dr. sc. ing. Silvijas Kukles vadībā laika posmā no 2012. līdz 2023. gadam.

Promocijas darba ietvaros no kaņepāju un polilaktīda šķiedru maisījuma izgatavots neaustais materiāls, no kura izgatavots arī kompozīts. Paralēli izstrādāts neaustais un kompozīta materiāls, kur kaņepāju šķiedras aizstāj līnu šķiedras. Savstarpēji salīdzinātas iegūto materiālu īpašības.

Darbā pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, veikts literatūras pētījums, aprakstīti iegūtie rezultāti, raksturota darba aprobācija. Promocijas darbā aprakstīta Latvijā potenciāli iegūstamu šķiedru (kaņepāju un līnu) izmantošanas veicināšana – izmantojot kā komponenti akustiskos neaustajos materiālos un kompozītos. Literatūras apskata daļā sniegts ieskats līdzšinējo automašīnas salona detaļu sastāvā, funkcijās, izgatavošanas metodēs un galvenajiem ekspluatācijas izaicinājumiem. Kā alternatīvu neatjaunīgu resursu izmantošanā, kas tradicionāli izmantoti automašīnas salona detaļu izgatavošanā, piedāvāts izmantot lignocelulozes un polilaktīda maisījumu. Kaņepāju un līnu šķiedras ir ievērojams celulozes avots, ikgadus atjaunīgs resurss. Promocijas darbā savstarpēji salīdzinātas šīs šķiedras, gan pēc īpašībām, gan pēc vides aspektiem. Kā galvenā problēma dabisko šķiedru izmantošanā ir to īpašību nepastāvība. Gan kaņepāju, gan līnu šķiedru plašāku izmantošanu kavē šo abu kultūraugu audzēšanas nepopularitāte, kas saistāma galvenokārt ar šo šķiedru pārstrādes vājajām iespējām Latvijā. Arī polilaktīda šķiedras, iegūtas no kukurūzas cietes, ir atjaunīgs resurss.

Promocijas darbs sastāvs no ievada, 3 pamatnodaļām: literatūras apskata un analīzes 1. nodaļā, metodiskās daļas 2. nodaļā un eksperimentālās daļas 3. nodaļā, kur aprakstīti rezultāti. Promocijas darba rezultāti, secinājumi un ierosinājumi aprakstīti darba noslēguma daļā. Darbā vēl iekļauts attēlu un tabulu saraksts, izmantoto apzīmējumu un saīsinājumu skaidrojums.

Darba pamatteksts izklāstīts 156 lappusēs, darba apjoms kopā ar pielikumu veido 160 lappuses. Darbā iekļauti 109 attēli, 40 tabulas un 1 pielikuma. Darbā izmantoti 165 literatūras avoti.

Abstract

Arta SEILE “*Lignocellulose and polylactide fibres in acoustic nonwovens and composite materials*” [Dissertation/Thesis], Riga Technical University, FMSAC, IDT, Riga – 2023. – 160 pp.

The thesis was developed in the Institute of Design Technologies of the Faculty of Material Science and Applied Chemistry of Riga Technical University, in cooperation with the Institute of Textile Technology of Aachen Technical University in Germany. Studies have been carried out under the direction of asoc. Professor Dr. sc. ing. Dana Almlī and scientific consultant Professor emeritus Dr. sc. ing. Silvija Kukle during the period 2012–2023.

In the thesis, a nonwoven material was made from a mixture of hemp and polylactide fibres, from which a composite was also made. In parallel, nonwoven and composite materials were developed, where hemp fibres replace flax fibres. The properties of the obtained materials are compared side by side.

The promotion of the use of fibres (hemp and flax) potentially obtainable in Latvia is described in the thesis - using them as components in acoustic nonwoven material and composites. The part of the literature review provides an insight into the composition, functions, production methods and main operational challenges of the car interior parts so far. As an alternative to the use of non-renewable resources traditionally used in the production of car interior parts, a mixture of lignocellulose and polylactide fibre is proposed. Both fibres are a significant source of cellulose, an annual renewable resource. In the Thesis, these fibres are compared with each other, both in terms of properties and environmental aspects. The main problem with the use of natural fibres is the instability of their properties. The increased use of both hemp and flax fibres is hampered by the unpopularity of the cultivation of these two crops, which is also related to the weak processing possibilities of processing these fibres in Latvia. Polylactide fibres derived from corn starch are also a renewable resource.

The Thesis consists of an introduction, 3 chapters: literature review and analysis in Chapter 1, methodological part in Chapter 2 and results in Chapter 3. The results, conclusions and suggestions are summarized in the concluding part of the dissertation. The work also includes a list of figures and tables, an explanation of the symbols and used abbreviations.

The main text of the paper is presented on 156 pages, the volume of the work together with the appendice is 160 pages. The work includes 109 figures, 40 tables and 1 appendice. 165 bibliography sources are used in the work.

Saturs

Attēlu saraksts	9
Tabulu saraksts	14
Izmantotie apzīmējumi un saīsinājumi	16
Ievads	19
Promocijas darba aktualitāte	20
Promocijas darba zinātniskā novitāte	20
Promocijas darba praktiskā nozīmība	21
Tēzes aizstāvēšanai	21
Promocijas darba aprobācija	21
Darba autores ziņojumi zinātniskās konferencēs	21
Darba autores publikācijas par promocijas darba tēmu	22
Darba autores ar promocijas darba tēmu nesaistītas publikācijas	23
Citas aktivitātes saistībā ar promocijas darba tēmu	23
1. Literatūras apskats	24
1.1. Neaustie materiāli vieglo automašīnu interjerā	24
Tekstilmateriāli vieglo automašīnu uzbūvē	24
Vieglās automašīnas salona detaļu tehniskās prasības	24
Dabisko šķiedru lietojums vieglās automašīnas interjera detaļu izgatavošanā	27
Trokšņi vieglajā automašīnā	29
Secinājumi	32
1.2. Kaņepāju un linu šķiedras kā neausto materiālu un kompozīta komponentes	32
Šķiedras kaņepes	33
Kaņepāju šķiedras īpašības	34
Kaņepāju šķiedras īpašību ietekmējoši faktori	35
Šķiedras lini	37
Linu šķiedras īpašības	39
Linu šķiedru īpašības ietekmējošie faktori	40
Secinājumi	41
1.3. Daļēji un pilnīgi bioloģiski sadalošas polimēru matricas	41
Daļēji bioloģiski sadalošie termoplastiskie polimēri	43
Pilnīgi bioloģiski sadalošs termoplastiskais polimērs – polilaktīds	44
Polimēru matricas izvēle	46
Secinājumi	50
Pirmās nodaļas kopsavilkums	51

2. Metodiskā daļa	52
2.1. Neausto materiālu izgatavošanas tehnoloģija.....	52
Neausto materiālu ieguve.....	53
Šķiedru irdināšana	55
Šķiedru sajaukšana un šķiedru klājuma izveide ar zemspiediena ieklāšanas (<i>airlaid</i>) metodi	56
Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana	60
Šķiedru klājuma kārtu otrā cauradatošana	64
Paragu izgatavošana neausto materiālu testēšanai un kompozītu veidošanai.....	67
Secinājumi.....	67
2.2. Kompozīta izgatavošanas tehnoloģija.....	68
Secinājumi.....	69
2.3. Pārbaužu metodes.....	69
Neausto materiālu un kompozītu paraugu ģeometrisku parametru noteikšana	69
Neausto materiālu un kompozītu paraugu stiepes izturības pārbaude.....	69
Kompozītu paraugu trīs punktu lieces pārbaude	71
Neausto materiālu skaņas absorbcijas pārbaude	71
Neausto materiālu un kompozītu kvalitātes novērtēšana.....	72
Secinājumi.....	72
2.4. Neausto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu apkopošanas metodika.....	72
Metodes.....	73
Aprites cikla pētījuma mērķis	73
Aprites cikla funkcionālā vienība.....	74
Aprites cikla sistēmas robežas un datu kvalitāte	74
Datu pieņēmumi un inventarizācijas datu apraksts katram posmam.....	75
Salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums	78
Secinājumi.....	79
Otrās nodaļas kopsavilkums	80
3. Eksperimentālā daļa.....	81
3.1. Neausto materiālu īpašību salīdzinoša analīze	81
Neausto materiālu salīdzinoša vizuāla analīze	81
Neausto materiālu tehniskās īpašības	85
Neausto materiālu stiepes izturības īpašības.....	89
Neausto materiālu akustisko īpašību salīdzinoša analīze	96
Secinājumi.....	99
3.2. Kompozītu īpašību salīdzinoša analīze	100

Kompozītu salīdzinoša vizuāla analīze.....	100
Kompozītu paraugu tehniskās īpašības.....	107
Kompozītu stiepes izturības īpašības.....	111
Tradicionāli izmantotie materiāli un metodes vieglās automašīnas tekstilmateriālu detaļu izgatavošanā.....	119
Kompozītu trīs punktu lieces īpašības	121
Secinājumi.....	124
3.3. Neausto materiālu un kompozītu izgatavošanas orientējošas izmaksas	125
Secinājumi.....	133
3.4. Neausto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu analīzes rezultāti.....	134
Kaņepju un linu audzēšanas ietekme uz vidi	134
Kaņepju un linu pārstrādes ietekme uz vidi	136
Polilaktīda šķiedru izgatavošanas un transportēšanas ietekme uz vidi.....	137
Neausto materiālu izgatavošanas ietekme uz vidi	138
Kompozītu izgatavošanas ietekme uz vidi.....	139
Secinājumi.....	142
Trešās nodaļas kopsavilkums	143
Secinājumi	144
Literatūras saraksts	147
Pielikums	157

Attēlu saraksts

1.1. att. Viegglās automašīnas uzbūve un tās galvenie elementi, (autores papildināts un veidots attēls no <i>Russell</i> [8]).	24
1.2. att. Kaņepāju un linu šķiedru cenas attīstība, avots: <i>Carus</i> [32].	28
1.3. att. Rūpniecisko kaņepāju tirgus lieluma prognoze pēc produkta 2016.–2027. gadam ASV [31].	29
1.4. att. Viegglās automašīnas un vides mijiedarbības rezultātā radītie trokšņu avoti (autores papildināts un veidots attēls no <i>Chen</i> [22]).	29
1.5. att. Trokšņu avotu izkārtojums saskaņā ar braucošas automašīnas trokšņu testu [37].	30
1.6. att. Kaņepāju tehniskās šķiedras.	33
1.7. att. Kaņepāju spaļi [48].	33
1.8. att. Tradicionālā kaņepāju šķiedru iegūšanas shēma [67].	36
1.9. att. Linu šķiedras.	37
1.10. att. Linu spaļi [71].	37
1.11. att. Tradicionālā linu šķiedru iegūšanas shēma [73].	38
1.12. att. Bioloģiski noārdošu polimēru iedalījums [79].	42
1.13. att. PP polimēra elementārvienība.	43
1.14. att. Pienskābes monomēra dažādās struktūras formas un rezultējošās atkārtojamās vienības, hirālais centrs norādīts ar * [78].	44
1.15. att. Produktu klāsts, kas iegūstams no pienskābes [89].	45
1.16. att. PLA ieguves shēma no kukurūzas [89].	46
1.17. att. PLA un citu tekstilšķiedru stiepes izturības līknes (pie temperatūras 20 °C un relatīvā gaisa mituma 65 %) [91].	49
2.1. att. NM izgatavošanas procesu shēma.	53
2.2. att. NM daudzslāņu struktūra.	53
2.3. att. <i>TRÜTZSCHLER CVT3 1200</i> šķiedru irdināšanas, jaukšanas iekārtas darbības princips [102].	55
2.4. att. Šķiedru irdināšanas procesu shēma.	56
2.5. att. Uz irdināšanas iekārtas padeves siksna izkārtotas linu (gaiši brūnā krāsā) un PLA šķiedras (baltā krāsā).	57
2.6. att. Šķiedru jaukšanas procesa shēma.	58
2.7. att. Šķiedru klājuma kārtu sagatavošanas shēma.	59
2.8. att. Kaņepāji-PLA šķiedru klājuma kārtas veidošana: a) pēc kaņepāju un PLA šķiedru sajaukšanas; b) kaņepāji-PLA šķiedru maisījuma atkārtota sajaukšana; c) kaņepāji-PLA šķiedru klājuma kārtas ieguve.	59
2.9. att. Trīs PLA šķiedru klājuma kārtu savietošana.	60
2.10. att. Laboratorijas cauradatošanas iekārta ar vienu vertikālas darbības adatu galda dēli <i>DILO LBM 6</i> [103].	61
2.11. att. Vienkāršas cauradatošanas iekārtas darbības princips [104].	61
2.12. att. Savelšanas adatas darbības princips cauradatojot [104].	62
2.13. att. <i>GROZ-BECKERT</i> cauradatošanas adata.	62
2.14. att. <i>GROZ-BECKERT</i> adatas sakārtotas adatu plātnē.	62

2.15. att. <i>DILO LBM6</i> cauradatošanas mašīnas sānskats ar redzamu adatu plātni un apakšējās un augšējās plātnes regulēšanas mehānismiem.	63
2.16. att. Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana.	64
2.17. att. Visu šķiedru klājuma kārtu sagatavošana otrajai cauradatošanai.	65
2.18. att. NM izgatavošana.	65
2.19. att. Paraugu novietojums pret cauradatošanas iekārtu: pa kreisi demonstrēta atsevišķas flīsa kārtas novietojums pret cauradatošanas iekārtu pirms 1. cauradatošanas reizes, pa labi demonstrēts visu trīs flīsa klājuma kārtu novietojums attiecībā pret cauradatošanas iekārtu pēc 180 °C sagriešanu pirms 2. cauradatošanas reizes.	66
2.20. att. Šķiedru klājuma kārtu sakārtošana otrajai cauradatošanai.	66
2.21. att. Paraugu slokšņu izciršanas shēma pa kreisi: <i>Hemp_nw</i> NM kompozīcijas paraugam, pa labi: <i>Flax_nw</i> NM kompozīcijas paraugam.	67
2.22. att. Paraugu slokšņu izciršanas shēma no visiem izgatavotajiem paraugiem: <i>Hemp_nw</i> NM, pa labi: <i>Flax_nw</i> NM.	67
2.23. att. Termiskā prese <i>C Press</i> kompozītu paraugu izgatavošanai.	68
2.24. att. Stiepes spriegumu-deformācijas raksturliktne plastiskiem materiāliem [110].	70
2.25. att. Stiepes spriegumu-deformācijas raksturliktne trausliem materiāliem [110].	70
2.26. att. Stiepes spriegumu-deformācijas raksturliktnes keramikai, metāliem un polimēriem [111].	70
2.27. att. Dažādu polimēru stiepes spriegumu-deformācijas raksturliktnes [112].	70
2.28. att. Kompozīta ražošanas galvenie etapi no to veidojošo šķiedru ieguves līdz gatavam produktam.	75
2.29. att. Kaņepju (a) un linu (b) audzēšanas procesa ievadņu un izvadņu procesu secīgs shematiskais attēlojums.	77
3.1. att. <i>Hemp_nw</i> paraugu: a) <i>Hemp_nw_1</i> ; b) <i>Hemp_nw_2</i> ; c) <i>Hemp_nw_3</i> , d) <i>Hemp_nm_4</i> un e) <i>Hemp_nw_5</i> sloksnes.	82
3.2. att. <i>Flax_nw</i> paraugu: a) <i>Flax_nw_1</i> ; b) <i>Flax_nw_2</i> un c) <i>Flax_nw_3</i> sloksnes.	83
3.3. att. <i>Hemp_nw</i> NM parauga virsma: a) cauradatošanas adatu darba virzienā; b) pretēji cauradatošanas adatu darba virzienam.	84
3.4. att. <i>Flax_nw</i> NM paraugu virsma: a) cauradatošanas adatu darba virzienā; b) pretēji cauradatošanas adatu darba virzienam.	84
3.5. att. NM šķērsgriezumi: a) <i>Hemp_nw</i> paraugs; b) <i>Flax_nw</i> paraugs.	85
3.6. att. NM virsmas blīvuma atkarība no parauga izciršanas virziena: a) Kaņepju un PLA šķiedras saturošais <i>Hemp_nw</i> ; b) Linu un PLA šķiedras saturošais <i>Flax_nw</i>	89
3.7. att. <i>Hemp_nw</i> robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugos: <i>Hemp_nw_1</i> , <i>Hemp_nw_2</i> , <i>Hemp_nw_3</i> un <i>Hemp_nw_5</i>	92
3.8. att. <i>Flax_nw</i> robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Flax_nw_1</i> , <i>Flax_nw_2</i> un <i>Flax_nw_3</i>	93
3.9. att. <i>Hemp_nw</i> vidējais robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_nw_1</i> , <i>Hemp_nw_2</i> , <i>Hemp_nw_3</i> un <i>Hemp_nw_5</i>	93
3.10. att. <i>Flax_nw</i> vidējais robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Flax_nw_1</i> , <i>Flax_nw_2</i> un <i>Flax_nw_3</i>	93

3.11. att. <i>Hemp_nw</i> vidējais maksimālais robežspriegums stiepē – elastīgas deformācijas apgabalā 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_nw_1</i> , <i>Hemp_nw_2</i> , <i>Hemp_nw_3</i> un <i>Hemp_nw_5</i>	94
3.12. att. <i>Flax_nw</i> vidējais maksimālais robežspriegums stiepē – elastīgas deformācijas apgabalā 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Flax_nw_1</i> , <i>Flax_nw_2</i> un <i>Flax_nw_3</i>	94
3.13. att. <i>Hemp_nw</i> vidējais robežspriegums stiepē – plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_nw_1</i> , <i>Hemp_nw_2</i> , <i>Hemp_nw_3</i> un <i>Hemp_nw_5</i>	94
3.14. att. <i>Flax_nw</i> vidējais robežspriegums stiepē – plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Flax_nw_1</i> , <i>Flax_nw_2</i> un <i>Flax_nw_3</i>	94
3.15. att. <i>Hemp_nw</i> vidējais robežspriegums stiepē – kakliņa plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_nw_1</i> , <i>Hemp_nw_2</i> , <i>Hemp_nw_3</i> un <i>Hemp_nw_5</i>	95
3.16. att. <i>Flax_nw</i> vidējais robežspriegums stiepē – kakliņa plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: <i>Flax_nw_1</i> , <i>Flax_nw_2</i> un <i>Flax_nw_3</i>	95
3.17. att. <i>Hemp_nw</i> paraugu biezumi.....	96
3.18. att. <i>Hemp_nw</i> paraugu virsmas blīvums.....	96
3.19. att. <i>Hemp_nw</i> paraugu absorbcijas koeficientu vērtības zemas frekvences starojuma diapazonā.....	96
3.20. att. <i>Hemp_nw</i> paraugu absorbcijas koeficientu vērtības vidējas frekvences starojuma diapazonā.....	97
3.21. att. <i>Hemp_nw</i> skaņas pārvades zudumu koeficienta atkarība no frekvences.....	99
3.22. att. <i>Hemp_comp</i> kompozīta paraugu: a) <i>Hemp_comp_1</i> ; b) <i>Hemp_comp_2</i> ; c) <i>Hemp_comp_3</i> ; d) <i>Hemp_comp_4</i> un e) <i>Hemp_comp_5</i> sloksnes.....	101
3.23. att. <i>Flax_comp</i> kompozīta paraugu: a) <i>Flax_comp_1</i> ; b) <i>Flax_comp_2</i> un c) <i>Flax_comp_3</i> sloksnes.....	102
3.24. att. Kompozītu virsma adatu cauradatošanas darba virzienā: a) <i>Hemp_comp</i> paraugs; b) <i>Flax_comp</i> paraugs.....	103
3.25. att. <i>Flax_comp</i> virsma pretēji adatu cauradatošanas virzienam: a) sloksne Nr. <i>Flax_comp_1-4</i> ; b) sloksne <i>Flax_comp_3-4</i>	103
3.26. att. Daļēji izkusušas un neizkusušas PLA šķiedras kompozītu virsmā cauradatošanas adatu darba virzienā: a) <i>Hemp_comp</i> paraugs; b) <i>Flax_comp</i> paraugs.....	104
3.27. att. Kompozītu šķērsriezumi: a) <i>Hemp_comp</i> , b) <i>Flax_comp</i>	104
3.28. att. <i>Flax_comp</i> ārējā malā pilnībā neizkusušas PLA šķiedras.....	105
3.29. att. Ažūra struktūra <i>Flax_comp</i> kompozīta virsmā.....	105
3.30. att. Kompozītos iestrādātās dabiskās šķiedras: a) kaņepāju šķiedra <i>Hemp_comp</i> ; b) linu šķiedra <i>Flax_comp</i>	105
3.31. att. Ar gaisu pildīti dobumi ārpus kompozīta robežām izplūdušajā PLA: a) <i>Hemp_comp</i> ; b) <i>Flax_comp</i>	106
3.32. att. <i>Hemp_comp</i> virsma ar PLA šķiedru defektiem.....	106
3.33. att. <i>Hemp_comp</i> virsma ar PLA šķiedru defektiem.....	106
3.34. att. <i>Flax_comp</i> virsma ar PLA šķiedru defektiem.....	107
3.35. att. <i>Flax_comp</i> virsma ar PLA šķiedru defektiem.....	107
3.36. att. Kompozītu virsmas blīvuma atkarība no sākotnēji izgatavotā NM parauga izcīršanas virziena: a) <i>Hemp_comp</i> , b) <i>Flax_comp</i>	110

3.37. att. <i>Hemp_comp</i> maksimālais robežspriegums stiepē atkarībā no šķērsriezuma laukuma.	113
3.38. att. <i>Flax_comp</i> maksimālais robežspriegums stiepē atkarībā no šķērsriezuma laukuma.	113
3.39. att. <i>Hemp_comp</i> robežsprieguma stiepē līdz materiāla sagrūšanai 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_comp_1</i> , <i>Hemp_comp_2</i> , <i>Hemp_comp_3</i> , <i>Hemp_comp_4</i> un <i>Hemp_comp_5</i>	114
3.40. att. <i>Flax_comp</i> robežsprieguma stiepē līdz materiāla sabrukumam 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Flax_comp_1</i> , <i>Flax_comp_2</i> un <i>Flax_comp_3</i>	115
3.41. att. <i>Hemp_comp</i> vidējais robežspriegums stiepē 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_comp_1</i> , <i>Hemp_comp_2</i> , <i>Hemp_comp_3</i> , <i>Hemp_comp_4</i> un <i>Hemp_comp_5</i> . ..	115
3.42. att. <i>Flax_comp</i> vidējais robežspriegums stiepē 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Flax_comp_1</i> , <i>Flax_comp_2</i> un <i>Flax_comp_3</i>	115
3.43. att. <i>Hemp_comp</i> vidējais robežspriegums stiepē elastīgas deformācijas apgabala sākumposmā 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_comp_1</i> , <i>Hemp_comp_2</i> , <i>Hemp_comp_3</i> , <i>Hemp_comp_4</i> un <i>Hemp_comp_5</i>	116
3.44. att. <i>Flax_comp</i> vidējais robežspriegums stiepē elastīgas deformācijas apgabala sākumposmā 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Flax_comp_1</i> , <i>Flax_comp_2</i> un <i>Flax_comp_3</i>	116
3.45. att. <i>Hemp_comp</i> vidējais robežspriegums stiepē elastības deformācijas apgabalā 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_comp_1</i> , <i>Hemp_comp_2</i> , <i>Hemp_comp_3</i> , <i>Hemp_comp_4</i> un <i>Hemp_comp_5</i>	116
3.46. att. <i>Flax_comp</i> vidējais robežspriegums stiepē elastības deformācijas apgabalā 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Flax_comp_1</i> , <i>Flax_comp_2</i> un <i>Flax_comp_3</i>	116
3.47. att. <i>Hemp_comp</i> vidējā stiepes sloojuma izturība plastisko deformāciju apgabalā 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Hemp_comp_1</i> , <i>Hemp_comp_2</i> , <i>Hemp_comp_3</i> , <i>Hemp_comp_4</i> un <i>Hemp_comp_5</i>	117
3.48. att. <i>Flax_comp</i> vidējā stiepes sloojuma izturība plastisko deformācijas apgabalā 2. un 4. slokšņu paraugiem: <i>Flax_comp_1</i> , <i>Flax_comp_2</i> un <i>Flax_comp_3</i>	117
3.49. att. <i>Hemp_comp</i> un <i>Flax_comp</i> konkurētspēja ar citiem materiāliem pēc izturības (tecēšanas robežas metāliem un polimēriem, spiedes stiprības keramikai, plīsumizturības elastomēriem un stiepes izturības kompozītiem) un blīvuma sakarības [145].	118
3.50. att. Automašīnas <i>Citröen C5 Aircross</i> bagāžas nodalījums un bagāžas plaukts [147].	119
3.51. att. Automašīnas <i>BMW X6</i> bagāžas nodalījums un “roll up” bagāžas plaukts [148]. ...	119
3.52. att. Bagāžas plaukta virspuses shēma.	120
3.53. att. Kompozītu slogošanas testu slodzes un izlieces līkņu salīdzinājums: a) pa kreisi <i>Hemp_comp</i> paraugiem <i>Hemp_comp_1</i> , <i>Hemp_comp_2</i> , <i>Hemp_comp_3</i> , <i>Hemp_comp_4</i> un <i>Hemp_comp_5</i> , b) pa labi <i>Flax_comp</i> paraugiem <i>Flax_comp_1</i> , <i>Flax_comp_2</i> un <i>Flax_comp_3</i>	122
3.54. att. <i>Hemp_comp</i> un <i>Flax_comp</i> konkurētspēja ar citiem materiāliem pēc elastības moduļa un blīvuma sakarība [151].	123
3.55. att. <i>Hemp_comp</i> un <i>Flax_comp</i> konkurētspēja ar citiem materiāliem pēc elastības moduļa un izturības (tecēšanas robežas metāliem un polimēriem, spiedes stiprības keramikai, plīsumizturības elastomēriem un stiepes izturības kompozītiem) [151].	124

3.56. att. Leibnizas Lauksaimniecības inženierijas institūta (<i>Leibniz Institute for Agricultural Engineering</i>) kaņepāju un linu pārstrādes līnijas pilotprojekta plāns [152].	126
3.57. att. Kaņepju un linu audzēšanas procesa ietekme uz vidi atkarībā no mēslošanas scenārijiem.	135
3.58. att. Mēslošanas scenāriju HN0, HN90, FN0, FN40 <i>CML2 Baseline</i> rezultāti globālās sasilšanas (<i>GWPI00a</i>) ietekmes kategorijā.....	136
3.59. att. Kaņepāju un linu šķiedru pārstrādes procesa ietekme uz vidi.....	137
3.60. att. Polilaktīda šķiedru izgatavošanas un transportēšanas ietekme uz vidi.	138
3.61. att. <i>Hemp_nw</i> pie HN90 un <i>Flax_nw</i> pie FN40 neausto materiālu izgatavošanas ietekme uz vidi.....	139
3.62. att. <i>Hemp_comp</i> pie HN90 un <i>Flax_comp</i> pie FN40 kompozītu izgatavošanas tehnoloģijas ietekme uz vidi.....	140
3.63. att. <i>Hemp_comp</i> HN90, <i>Flax_comp</i> FN40 un <i>PA 66/GF</i> kompozītu ietekme uz vidi pie abām funkcionālajām vienībām. Metode: <i>CML-IA Baseline V3.04 / EU25 /</i>	142

Tabulu saraksts

1.1. tabula: Pēc <i>ASTM C-384</i> automobiļu trokšņu samazināšanai izmantoto NM sasniedzamie mērķi un rezultāti [34, 35].....	30
1.2. tabula: Kaņepāju šķiedras ķīmiskais sastāvs.....	35
1.3. tabula: Šķiedras linu ražošanas rādītāji 2016.–2018. gadā (avots: Centrālā statistikas pārvalde [76]).....	39
1.4. tabula: Linu šķiedras ķīmiskais sastāvs.....	47
1.5. tabula: Polimēru fizikāli-mehāniskās un siltumfizikālās īpašības [94].....	47
2.1. tabula: Šķiedru proporcija parauga izgatavošanai.....	55
2.2. tabula: Šķiedru masas sadalījums pa slāņiem <i>Hemp_nw</i> NM viena parauga izgatavošanai.....	58
2.3. tabula: Šķiedru masas sadalījums pa slāņiem <i>Flax_nw</i> NM viena parauga izgatavošanai.....	58
2.4. tabula: Termiskās preses tehnoloģiskie parametri.....	70
2.5. tabula: Funkcionālā vienība pie izturības 4,1 kN.....	75
2.6. tabula: Funkcionālā vienība pie 1000 mm x 500 mm x 4,5 mm.....	75
2.7. tabula: Kaņepāju salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums.....	80
2.8. tabula: Linu salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums.....	80
3.1. tabula: <i>Hemp_nw</i> NM paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības.....	86
3.2. tabula: <i>Flax_nw</i> NM paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības.....	87
3.3. tabula: <i>Hemp_nw</i> NM paraugu blīvums.....	88
3.4. tabula: <i>Flax_nw</i> NM paraugu blīvums.....	88
3.5. tabula: <i>Hemp_nw</i> NM virsmas blīvums.....	90
3.6. tabula: <i>Flax_nw</i> NM virsmas blīvums.....	90
3.7. tabula: <i>Hemp_nw</i> NM stiepes izturība.....	91
3.8. tabula: <i>Flax_nw</i> NM stiepes izturība.....	92
3.9. tabula: Absorbcijas koeficientu un skaņas pārvades zudumu vērtības.....	98
3.10. tabula: NM paraugu trokšņa samazināšanas koeficienta vērtības.....	99
3.11. tabula: <i>Hemp_comp</i> kompozīta paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības.....	109
3.12. tabula: <i>Flax_comp</i> kompozīta paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības.....	109
3.13. tabula: <i>Hemp_comp</i> kompozīta blīvums.....	110
3.14. tabula: <i>Flax_comp</i> kompozīta blīvums.....	110
3.15. tabula: <i>Hemp_comp</i> kompozīta virsmas blīvums.....	111
3.16. tabula: <i>Flax_comp</i> kompozīta virsmas blīvums.....	112
3.17. tabula: <i>Hemp_comp</i> kompozīta stiepes izturība.....	113
3.18. tabula: <i>Flax_comp</i> kompozīta stiepes izturība.....	114
3.19. tabula: Kompozītu tehniskie parametri atkarībā no paneļa biezuma 4,5 mm.....	122
3.20. tabula: Kompozītu tehniskie parametri pie stiepes spēka 10,17 kN.....	122
3.21. tabula: <i>Hemp_comp</i> kompozīta trīs punktu lieces mērījumu rezultāti.....	123

3.22. tabula: Flax_comp kompozīta trīs punktu lieces mērījumu rezultāti.....	123
3.23. tabula: Hemp_nw, Flax_nw NM un Hemp_comp, Flax_comp kompozītu fizikāli- mehāniskie, un tehnoloģiskie parametri	129
3.24. tabula: Hemp_nw, Flax_nw NM un Hemp_comp, Flax_comp kompozītu ražošanas līnijā iekļautās iekārtas.....	130
3.25. tabula: Hemp_nw, Flax_nw NM un Hemp_comp, Flax_comp kompozītu resursu patēriņš un orientējošas izmaksas.....	131
3.26. tabula: Hemp_nw NM un Hemp_comp kompozīta izmaksu struktūra	133
3.27. tabula: Flax_nw NM un Flax_comp kompozīta izmaksu struktūra	134

Izmantotie apzīmējumi un saīsinājumi

" – colla	FN20 – linu mēslošanas scenārijs ar 20 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
% – procents	FN30 – linu mēslošanas scenārijs ar 30 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
° – grāds (leņķis)	FN35 – linu mēslošanas scenārijs ar 35 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
°C – Celsija grāds	FN40 – linu mēslošanas scenārijs ar 40 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
apm. – apmēram	F _s – sagraušanas spēks
ASV – Amerikas Savienotās valstis	g – grammi
att. – attēls	GPa – gigapaskāls
bagāžas plaukts – bagāžas nodalījuma plaukta panelis	gs. – gadsimts
bar – bārs	GSP – globālās sasīšanas potenciāls
Bio-PE – Bio-polietilēns	h – stunda
Bio-PET – Bio-polietilēntereftalāts	H ₂ O – ūdens
B LV – Latvijā audzētas Bialobrzeskie šķirnes kaņepes	ha – hektārs
B PL – Polijā audzētas Bialobrzeskie šķirnes kaņepes	HN0 – kaņepju mēslošanas scenārijs ar 0 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
Cd – kadmijs	HN30 – kaņepju mēslošanas scenārijs ar 30 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
cm – centimetrs	HN60 – kaņepju mēslošanas scenārijs ar 60 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
cm ² – kvadrācentimetrs	HN90 – kaņepju mēslošanas scenārijs ar 90 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha
cm ³ – kubikcentimetrs	H _v – cietība pēc Vikersa cietības tests
CML-IA-baseline – aprites cikla analīzes aprēķina metode	Hz – hercs
cN – centņūtons	ITA – Āhenes Reinas-Vestfāles Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūts (<i>Institut für Textiltechnik of RWTH Aachen University (Rhenish-Westphalian Technical University)</i>)
cnt – centners	J – džouls
CO ₂ – oglekļa dioksīdsstex	jj – jūras jūdze
Cu – varš	K – termiskās izplešanās koeficients
dB – decibels	Kaņepāji-PLA – kaņepāju un polilaktīda šķiedru maisījums
DB – dihlorbenzols	kg – kilogramms
DCA – dzīves jeb aprites cikla analīze	kJ – kilodžouls
dtex – decitekss	km – kilometrs
EIHA – Eiropas Industriālo kaņepju asociācija (<i>The European Industrial Hemp Association</i>)	kN – kiloņūtons
ekviv. – ekvivalents	kW – kilovats
EP – Eiropas Padome	kWh – kilovatstunda
ES – Eiropas Savienība	
EUR – euro	
F _{max} – maksimālais spēks	
F _{max vid} – vidējais maksimālais spēks	
FN0 – linu mēslošanas scenārijs ar 0 kg slāpekļa izsējas dozu uz 1 ha	

Lini-PLA – linu un polilaktīda šķiedru maisījums
lm – lūmens
LR – Latvijas Republika
m – metrs
m² – kvadrātmeters
m³ – kubikmeters
maks. – maksimums, maksimālais
mas. % – procentuālais masas apjoms
mg – miligrams
milj. – miljons
min. – minūte
minim. – minimums, minimālais
MJ – megadžouls
MK – Ministru Kabinets
mm – milimetrs
mm² – kubikmilimetrs
MPa – megapaskāls
N – ņūtons
N – slāpekļis (aprites cikla inventarizācijas aprēķinos)
Ni – niķelis
nm – nano metrs
NM – neaustais materiāls
NOx – slāpekļa oksīds
NPK – slāpekļa, fosfora un kālija kompleksais pamatmēslojums
Nr. – numurs
Ø – diametrs
Pa – paskāls
PA – poliamīds
PA66/GF – poliamīda 66 un 30 mas.% stikla šķiedras kompozīts
Pb – svins
PE – polietilēns
PET – polietilēntereftalāts
pH – skaitlis, kas raksturo ūdeņraža jonu koncentrāciju
PHA – polihidroksilalkaloīds
PHB – polihidroksibutirāts
PLA – polilaktīds
PM – cietās daļiņas
PP – polipropilēns
PVH – polivinilhlorīds

PVOH – polivinila alkohols
r^{lineārā skalā} – normāla krišanas leņķa skaņas refrakcijas koeficients lineārā frekvenču skalā
ROP – atvērtā gredzena polimerizācija
rPP – pārstrādāts polipropilēns
s – sekunde
Sb – antimons
SEG – siltumnīcas efekta gāzes
SPZ – skaņas pārnese zudums
SPZK – skaņas pārnese zuduma koeficients
SPZK^{lineārā skalā} – skaņas pārnese zudumu koeficients lineārā frekvenču skalā
t – tonna
t. s. – tā saucamais
tex – teksts
THC – tetrahidrokanabīnols
tk. – tūkstotis
T_{kuš} – kušanas temperatūra
TSK – trokšņa samazināšanas koeficients
T_{st} – stiklošanās temperatūra
u. c. – un citi
USD – ASV dolārs
utt. – ASV dolārs
UV – ultraviolets
vid. – vidējs, vidējais
VSAOI – valsts sociālās apdrošināšanas obligātās iemaksas
W – vats
Z/ ρc_0 – materiālā relatīvā akustiskā impedance lineārā frekvenču skalā
 α – normāla krišanas leņķa skaņas absorbcijas koeficients 1/3 oktāvu joslās
 α ^{lineāra skala} – normāla krišanas leņķa skaņas absorbcijas koeficients lineārā frekvenču skalā
 ϵ – deformācija
 ϵ_{Fmax} – stiepes deformācija pie maksimālā spēka
 $\epsilon_{Fmax vid}$ – vidējā stiepes deformācija pie maksimālā spēka
 ϵ_s – sagraušanas stiepes deformācija
 ϵ_{vid} – vidējā stiepes deformācija

$\varepsilon_{F_{\max \text{ vid}}}$ – maksimālā, vidējā stiepes
deformācija

μm – mikrometrs

σ – robežspriegums stiepē

σ_{\max} – maksimālais robežspriegums stiepē

$\sigma_{\max \text{ vid}}$ – vidējais, maksimālais
robežspriegums stiepē

σ_s – sagraušanas robežspriegums stiepē

σ_{vid} – vidējais robežspriegums stiepē

Paraugos lietotie saīsinājumi

Hemp_comp – kaņepāju šķiedras saturošie
kompozīti, gadījumos, kad klāt pievienoti
cipari, tie apzīmē parauga numerāciju

Hemp_nw – kaņepāju šķiedras saturošie
neaustie materiāli, gadījumos, kad klāt
pievienoti cipari, tie apzīmē parauga
numerāciju

Flax_comp – linu šķiedras saturošie
kompozīti, gadījumos, kad klāt pievienoti
cipari, tie apzīmē parauga numerāciju

Flax_nw – linu šķiedras saturošie neaustie
materiāli, gadījumos, kad klāt pievienoti
cipari, tie apzīmē parauga numerāciju

Ievads

Eiropas Parlamentā un Padomē pieņemto direktīvu, piemēram, *2000/53/EC* [1], *2018/849* [2], *2018/850* [3], *2018/851* [4] un cilvēku zaļās domāšanas dēļ, pieaug pieprasījums pēc materiāliem, kas izgatavoti no atjaunīgajiem resursiem un pēc to ekspluatācijas beigām būtu spējīgi bioloģiski sadalīties. Jauniegūto materiālu lietderība līdz šim galvenokārt novērtēta pēc to veiktspējas un izmaksām, nepietiekami novērtējot tos no vides aizsardzības aspekta. Ilgtspējīga materiāla radīšanai svarīga ir ne tikai izejvielu izcelsme, bet arī iesaistāmie resursi to ieguvei (tai skaitā attālums no materiālu veidojošo izejvielu ieguves vietas līdz gatavā izstrādājuma izgatavošanas vietai), gatavā izstrādājuma ekspluatācijai un apsaimniekošanai ekspluatācijas beigās.

Materiālu attīstībā, ko veicina patērētāju pieprasījums pēc augstāka komforta lietošanas laikā, arvien vairāk dominē tendence samazināt to gabarītmērus, masu, vienlaikus nemazinot vai pat paugstinot tehnisko veiktspēju. Savukārt materiālu sastāvā esošo neatjaunīgo resursu aizstāšanu pret atjaunīgajiem resursiem veicina Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvās noteiktās prasības. Tādas augu izcelsmes šķiedras kā kaņepāji un lini, kas noder izstrādājuma masas samazināšanai, ir atjaunīgie resursi. Klimatisko apstākļu dēļ abi augi ir piemēroti rūpnieciskai audzēšanai Latvijas valsts teritorijā, tomēr to audzēšana nav izplatīta. Kā viens no galvenajiem šķēršļiem kaņepāju un linu šķiedru rūpnieciskai audzēšanai Latvijā ir tas, ka modernākākā un tuvākā šo šķiedru pirmreizējas un otrreizējas pārstrādes rūpnīca atrodas Lietuvā. Tas liedz novērtēt kaņepāju un linu šķiedru praktisko izmantošanu.

Attsaucoties uz iepriekš minēto, **promocijas darba mērķis** ir izveidot lignocelulozes izcelsmes un polilaktīda (PLA) šķiedru kārtojuma skaņu absorbējošu, videi draudzīgu neaustu materiālu un kompozītu uz to bāzes.

Promocijas darba daļa, kas saistīta ar materiāla kompozīcijas izveidi un paraugu izgatavošanu, veikta Āhenas Reinas-Vestfāles Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūtā (*Institut für Textiltechnik of RWTH Aachen University*), kas specializējies kompozītu izgatavošanā lietošanai automašīnu iekšējā apdarē, tāpēc promocijas darbā apskatīta iespēja izstrādāto materiālu izmantošanai autobūvē.

Eiropas Parlamenta un Eiropas Padomes direktīva *2000/53/EC* [1] regulē transportlīdzekļu dzīves ciklu, tā nosaka minimālos mērķus transportlīdzekļu veidojošo detaļu atkārtotai izmantošanai un termiņus to sasniegšanai, savukārt direktīva *2018/850* [3] par atkritumu poligoniem nosaka samazinātu poligonos deponējamo atkritumu apjomu.

Lai īstenotu darba **mērķi, definēti vairāki darba uzdevumi**.

1. Apkopot informāciju par vieglās automašīnas salonā biežāk izmantotajiem tekstilmateriāliem, tradicionāliem lietotajiem materiāliem, izgatavošanas tehnoloģijām un tehniskajām prasībām.
2. Apkopot un salīdzināt informāciju par kaņepāju un linu šķiedru izmantošanas iespējām neaustajos materiālos un kompozītos.
3. Apkopot informāciju par daļēji un pilnīgi biodegradējamiem, termoplastiskiem polimēriem un salīdzināt to: iestrādes tehnoloģiju neaustajos materiālos; polimēra un dabiskās izcelsmes šķiedru savstarpējās sasaistīšanās kvalitāti; tirgus cenu.
4. Izvēlēties piemērotāko polimēra matricu un atbilstošāko šķiedru proporciju neaustā materiāla un kompozīta izgatavošanai, izplānot piemērotāko neaustā materiāla struktūru.

5. Izgatavot neausto materiālu un kompozītu paraugus.
6. Analizēt neausto materiālu tehniskās, vizuālās, mehāniskās, akustiskās u. c. īpašības.
7. Analizēt kompozītu tehniskās, vizuālās, mehāniskās īpašības un to praktisko izmantojamību (tai skaitā izmantojamībai autobūvē – salona detaļās) un veikt ietekmes uz vidi novērtējumu.

Promocijas darba aktualitāte

Transportlīdzekļu dzīves ciklu regulējošā Eiropas Padomes (EP) Direktīva 2000/53/EC [1] ir noteikusi minimālos mērķus transportlīdzekļu veidojošo detaļu atkārtotai izmantošanai un termiņus to sasniegšanai. Direktīvas noteikto mērķu sasniegšana veicina dabisko šķiedru izmantošanu konstrukciju materiālos. Tādu dabisku šķiedru kā kaņepāji, līni u. c. izmantošana konstrukcijās aizvieto naftas produktu izcelsmes šķiedras, veicina atjaunīgu resursu izmantošanu un samazina materiāla masu. Transportlīdzekļa kopējās masas samazināšana samazina arī degvielas patēriņu, kas ir solis virzienā uz Eiropas Parlamenta un Eiropas Padomes 2018. gada 30. maija Regulas Nr. 2018/842/ES [5] izpildīšanu par saistošiem ikgadējiem siltumnīcas efekta gāzu emisiju samazinājumiem, kas dalībvalstīm jāpanāk no 2021. līdz 2030. gadam. Degvielas patēriņa ietaupījums sniedz arī ievērojamu finansiālu ietaupījumu.

Promocijas darba zinātniskā novitāte

Neaustais materiāls (NM) un kompozīts uz tā bāzes ir izgatavots no atjaunīgiem resursiem (augu šķiedras no kaņepājiem un līniem) un polilaktīda, kuru saražošanai nepieciešams par 20–30 % mazāk enerģijas nekā polimēriem, kas ražoti no neatjaunīgiem naftas izcelsmes produktiem. Izgatavoto materiālu izejvielas ir pilnībā biodegradējamās, materiālu struktūru veido daudzslāņu kārtas, kas sagatavotas, sajaucot izejvielas, izmantojot zemspiediena iekļāšanas (*airlaid*) metodi (nevis kāršanas metodi) un mehānisko adatu cauradatošanas metodi. Kompozīta izgatavošanā izmantota termiskās presesēšanas metode. Izgatavošanas tehnoloģija nevienā solī neparedz ūdens izmantošanu.

Promocijas darba novitāte ir ne tikai promocijas darba izstrādes gaitā izgatavotā pilnībā biodegradējamā materiāla izstrādes tehnoloģija, bet arī tā ietekmes uz vidi novērtēšana.

Pateicoties neausto materiālu veidojošajām komponentēm un uzbūves struktūrai, izstrādātajam materiālam paplašinās lietojuma daudzveidība. Viens un tas pats neaustais materiāls ir izmantojams dažādās autodetaļās – tādās, kurām ir nepieciešams nodrošināt skaņas absorbciju un amortizāciju. Savukārt no šī paša neaustā materiāla var izgatavot kompozīta materiāla detaļas, kurām ir lielāka stingrība, formas noturība un slodzi pašnesošas īpašības.

Aktuāla ir augu šķiedru izmantošana kompozītu sastāvā masas samazināšanas nolūkā. Viegļu materiālu izmantošana arī automašīnas salonā kopējā transportlīdzekļa masas samazināšanai uzskatāma par prioritāti, jo uzlabo kopējo transportlīdzekļa energoefektivitāti. Kompozīti, ko izgatavoto no dabiskas izcelsmes šķiedru NM, savu īpašību dēļ (materiāla vieglums, skaņas izolācija) kļūst par izplatītu salona apdares materiālu [6].

Promocijas darba praktiskā nozīmība

Darba gaitā izstrādātos neaustos materiālus un kompozītus veido divas komponentes. 40 mas. % veido celulozi saturošās augu šķiedras, pārējos 60 mas. % – polilaktīda šķiedras. Latvijā ir atbilstoši klimatiskie apstākļi šo augu šķiedru iegūšanai, tādējādi veicinot lauksaimniecības attīstību valstī. Neausto materiālu un kompozītu ražošana ir uzskatāma par pievienotās vērtības radīšanu Latvijā izaudzētām augu šķiedrām. Promocijas darbā izstrādāts jauns neaustais materiāls un kompozīts no atjaunīgiem resursiem iegūtām izejvielām. Iegūtos materiālus var izmantot atsevišķu detaļu izgatavošanai autobūves vajadzībām.

Tēzes aizstāvēšanai

1. No atjaunīgiem resursiem izveidotais šķiedru maisījums un no tā izveidotā daudzslāņu materiāla struktūra ļauj izgatavot divus pēc konsistences un lietojuma mērķa atšķirīgus materiālus – neaustus akustiskos materiālus un uz to bāzes veidotus kompozītus.
2. Izstrādātajos abu kompozīciju (kaņepāji-PLA un lini-PLA) šķiedru maisījumos lignocelulozes komponentei 40 mas. % ir pietiekama masas proporcija, lai no tā izgatavotos neaustos materiālus un kompozītus varētu integrēt vieglās automašīnas interjerā.
3. Kaņepāji-PLA (vai lini-PLA) šķiedru maisījuma veidojošo komponentu un materiālu izgatavošanas procesā veidojas mazāks kopējais kaitīgo izmešu daudzums, nekā tas ir kompozītiem, kuru izgatavošanā tradicionāli izmanto šķiedras no fosilajiem resursiem..

Promocijas darba aprobācija

Promocijas darba rezultāti ir publicēti recenzētos zinātniskos žurnālos, konferenču pilna teksta izdevumos, ziņoti un apspriesti starptautiskās un vietējās konferencēs.

Darba autores ziņojumi zinātniskās konferencēs

1. 11th International Scientific Practical Conference “Environment. Technology. Resources”, Rezekne Academy of Technologies, Rezekne, Latvia, June 15–17, 2017.
2. Riga Technical University 57th International Scientific Conference “Materials Science and Applied Chemistry” (MSAC 2016), Riga, Latvia, October 21–22, 2016.
3. 15th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, Jelgava, Latvia, May 25–27, 2016.
4. RTU 56. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 14.–16. oktobris, 2015.
5. RTU 56. Studentu Zinātniskā un Tehniskā konference, Rīga, Latvija, 8. maijs, 2015.
6. RTU 55. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 17. oktobris, 2014.

7. 13th International Conference on Global Research and Education Inter Academia 2014, Riga, Latvia, September 10–12, 2014.

Darba autores publikācijas par promocijas darba tēmu

1. Seile, A., Spurina, E., Sinka, M. Reducing Global Warming Potential Impact of Bio-Based Composites Based of LCA. *Fibers*. 2022. 10(9):79. Available from: <https://doi.org/10.3390/fib10090079>. (SCOPUS).
2. Seile, A., Beļakova, D., Kukle, S., Plamus, T. *Non-Wovens as Sound Reducers*. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2018, 55 (2), pp. 64–76. ISSN 0868-8257. Available from: doi: 10.2478/lpts-2018-0014. (SCOPUS).
3. Seile, A., Beļakova, D. Nonwoven Development by the Multilayer Structure. **In:** *Environment. Technology. Resources: Proceedings of 11th International Scientific Practical Conference, June 15–17, 2017, Rezekne, Latvia*. Rezekne, 2017, pp. 292-297. ISSN 1691-5402. e-ISSN 2256-070X. Available from: doi: 10.17770/etr2017vol3.2612. (SCOPUS).
4. Seile, A., Beļakova, D. Properties of Long Flax Fiber Reinforced Nonwoven and Composite Materials. **In:** *Engineering for Rural Development. Proceedings of 15th International Scientific Conference, Vol.15, May 25–27, 2016, Jelgava, Latvia*. Jelgava, 2016, pp. 990–996. ISSN 1691-5976. (SCOPUS, ISI Web of Science).
5. Seile, A., Beļakova, D. Nonwovens in the Automobile Interior. *Advanced Materials Research*. 2015, Vol. 1117, pp. 321–325. ISSN 1662-8985. Available from: doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1117.321.
6. Seile, A., Beļakova, D. Hemp Made Bio-Composites. *Material Science. Textile and Clothing Technology*. 2014, Vol.9, pp. 22–27. ISSN 1691-3132. e-ISSN 2255–8888. Available from: doi: 10.7250/mstct.2014.004. (EBSCO).
7. Seile, A., Beļakova, D. Dabas šķiedru izmantojums pasažieru automašīnu uzbūvē. **No:** *Materials Science and Applied Chemistry (MSAC 2016). Proceedings of Riga Technical University 57th International Scientific Conference*, 21.–22. oktobris, 2016, Rīga, Latvija. Rīga: RTU Press, 2016, 171.–176. lpp. ISBN 978-9934-10-861-7.
8. Seile, A., Beļakova, D. Kaņepju/PLA šķiedru sendvičtipa struktūras neaustā materiāla un tā kompozīta īpašības. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr. 10, 2015, 59.–66. lpp. ISSN 1691-3132. e-ISSN 2255-8888. Pieejams: doi: 10.7250/mstct.2015.009.
9. Seile, A., Beļakova, D. Usage of Hemp Fibres in Nonwoven Sandwich Type Structure and Composite Material Production. **In:** *Abstracts of the Riga Technical University 56th International Scientific Conference: Section: Materials Science and Applied Chemistry*,

October 14–16, 2015, Riga, Latvia. Riga: RTU Press, 2015, pp. 57–57. ISBN 978-9934-10-733-7.

Darba autores ar promocijas darba tēmu nesaistītas publikācijas

1. Seile, A., Kukle, S. Sustav zbrinjavanja rabljenog tekstila. *Tekstil*, 2012, 61 (7–12), str. 333–339. ISSN 0492-5882. (SCOPUS).
2. Seile, A., Kukle, S. Disposal of Textile Waste Products. **In:** *Proceedings of AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference, June 13–15, 2012, Zadar, Croatia*. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2012, pp. 1373–1376. ISBN 978-953-7105-47-1.
3. Seile, A., Kukle, S. System of Used Textiles Collection. **In:** *Proceedings of 6th International Textile Clothing and Design Conference “Magic World of Textiles” (ITC&DC), October 7–10, 2012, Dubrovnik, Croatia*. Zagreb: University of Zagreb, 2012, pp. 722–727. ISSN 1847-7275.

Citas aktivitātes saistībā ar promocijas darba tēmu

Laika posmā no 01.10.2013. līdz 31.05.2014. Erasmus programmas prakse Āhenas Reinas-Vestfāles Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūtā (*ITA*), Vācijā.

Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskās pētniecības projekta jaunajiem zinātniekiem Nr. ZP-2016/31 pētniece.

Dalība SAM 8.2.2. 3. kārtas projektā “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās”.

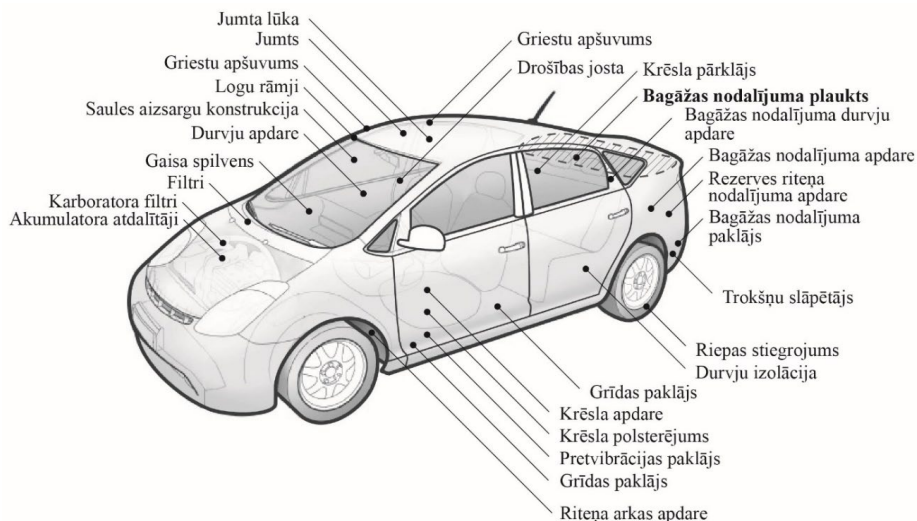
Dalība Rīgas Tehniskās universitātes doktorantūras 2021./2022. akadēmiskā gada grantā.

1. Literatūras apskats

1.1. Neaustie materiāli vieglo automašīnu interjerā

Tekstilmateriāli vieglo automašīnu uzbūvē

Automašīnas uzbūvē tekstilmateriāli sastāda vairāk kā 20 kg un 43 detaļu vienības [7]. Automašīnas salonā tekstilmateriālu izmantojuma zonas iedala trijās kategorijās: pasažieru salona nodalījums (piemēram, grīdas paklājs, vadības paneļa izolācija, griestu apšuvums, durvju apdare un sēdekļi), bagāžas nodalījums (piemēram, sānu apdare, bagāžas nodalījuma grīda, grīdas apdare, bagāžas nodalījuma plaukta panelis (bagāžas plaukts)) un motora nodalījums (piemēram, motora pārsega izolators un absorbētājs). Savukārt automašīnu uzbūvē lietotos tekstilmateriālus iedala divās kategorijās: salona interjera virsmas materiāli un salona apdares materiāli [6]. Salona interjera virsmas materiālus, kā piemēram, ādu, izmanto transportlīdzekļa salona interjera redzamajās vietās. Salona apdares materiālus izmanto automašīnas neredzamajā zonā, galvenokārt izmantoti kā apdares detaļu konstrukcijas vai akustiskās sastāvdaļas. Automašīnas bagāžas plaukts (1.1. att.) arī pieskaitāms pie salona detaļām – salona apdares materiāls.



1.1. att. Vieglās automašīnas uzbūve un tās galvenie elementi, (autore papildināts un veidots attēls no *Russell* [8]).

Vieglās automašīnas salona detaļu tehniskās prasības

Viens no tekstilmateriālu raksturojošajiem faktoriem ir tā virsmas blīvums. Automašīnas uzbūvē izmantoto tekstilmateriālu virsmas blīvums ir atkarīgs no materiāla veicamās funkcijas, izejmateriāliem un izgatavošanas tehnoloģijas. Piemēram, virsmas blīvums audumiem 200–400 g/m², samtam 360–450 g/m², adījumdrānai 160–370 g/m² [7]. Automašīnas salona griestu tapsējums PET un PP NM virsmas blīvums parasti ap 200 g/m² [7, 9]. Bagāžas nodalījuma plaukts pēc izvietojuma un nodiluma, nolietojuma ietekmes līdzīgs ir sēdvietu materiālam.

Piemēram, vilciena sēdvietām standarta audums daudzu gadu garumā bija 80 % vilnas un 15 % neilona virsmas blīvums 800 g/m² [10]. Jāņem vērā, ka sabiedriskā transporta viens no lielākajiem izaicinājumiem ir lielais pasažieru skaits ar daudziem pasažieru apsēšanās un piecelšanās cikliem vienas dienas laikā. Automašīnas adatu cauršūto paklāju virsmas blīvums ap 450 g/m², PET NM paklāju pamatkārtai 110–120 g/m². Gan adatu cauršūto paklāju virsma, gan NM paklāju virsma parasti stabilizējama ar 70–100 g/m² saistvielu (piemēram, akrila latekss) pārklājumu [11].

Ieviešot jaunus materiālus un risinājumus autobūvē, tiem ir jāatbilst virknei tehnisko prasību [12]:

- materiāli salonā vizuāli harmoniski saskaņoti un sniedz kvalitatīvu iespaidu;
- jaunas automašīnas salonam pēc trīs gadu ekspluatācijas normālos apstākļos jāizskatās tāpat kā pirkšanas brīdī;
- salonam jābūt viegli tīrāmam;
- materiāliem jānoveco viendabīgi;
- materiāli nedrīkst nepatīkami smakot;
- virsmas materiāli kalpo nevainojami četrus garantijas gadus;
- materiāli, savstarpēji saskaroties nerada troksni;
- salona apdares materiāli savstarpēji savietoti tā, lai tie neradītu troksni.

Materiālu atbilstību tehniskajām prasībām apliecina iekļaušanās standartos. Standarti var būt gan starptautiski, gan valsts (atkarībā pēc valstiskās piederības, kurā atrodas konkrētais autoražotājs), gan industrijas izstrādāti un visbeidzot arī paša ražotāja izstrādāti standarti. Visiem tekstilmateriāliem un ādām, kas tiek izmantotas automašīnu salonos, ir jābūt sertificētām saskaņā ar *OEKO TEX 100*, 4. produkta klasi [12].

Primārie standarti, kas attiecināmi uz automašīnu salonu materiālu testēšanu:

- Vides vadības sistēma, piemēram, ISO 14001 [13]: materiāliem ir jābūt sertificētiem, ka to tehniskās iespējas ir atbilstošas un saistošas esošajām vides prasībām [12];
- miglas tests [12]: miglas (miglošanās) pārbaudīšanu veic uz vairākām stundām karstā eļļā ievietojot stikla vārglāzi, kurā ievietots gabals testējamā materiāla. Vārglāzes augšdaļa noslēdzama ar vai nu stikla plāksni, vai alumīnija foliju virs kuras novietota atdzesēšanas ierīce. Atdzesēšanas ierīces nolūks ir miglošanās rezultātā radīt kondensātu uz stikla plāksnes vai alumīnija folijas. Miglošanos nosaka mērot stikla plāksnes caurspīdīgumu pirms un pēc testa, vai arī sverot alumīnija foliju pirms un pēc testēšanas. Maksimālais miglošanās gadījums izsakāms procentuāli (stikla plāksnes gadījumā) vai nosakot masu mg (alumīnija folijas gadījumā). Miglošanās pārbaudi veic saskaņā ar standartu *ISO 6452* [14];
- atmosfēras testēšana/ ķīmiskās izturības pārbaude:
 - notraipīšanās un iztīrīšanas spējas tests – šo testu laikā materiālu pakļauj dažādu traipu ietekmei, kā piemēram, augsnei, kolai, kafijai, ketčupam utt. Materiāla iztīrīšana novērtējama pēc tā, kā ar parastajām tīrīšanas metodēm iepriekš minētos traipus var iztīrīt no pārbaudāmā materiāla [12];
 - gaismas izturība [12] – pārbaudes laikā materiālu uz noteiktu laiku pakļauj filtrētai ksenona loka lampas iedarbībai (simulē saules gaismu). Testu laikā precīzē materiāla krāsas izbalēšanas līmeni. Parasti gaismas noturības

novērtēšanai izmanto zilās gaismas skalas amplitūdu ar iedaļām no 1 (ļoti maz) līdz 8 (teicami). Gaismas noturības testēšanu nosaka tādi starptautiskie standarti kā *ISO 105-B02* [15] vai *ISO 105-B06* [16]. Transportlīdzekļa ekspluatācijas laikā salonā esošajiem NM, kas pakļauti patstāvīgai UV starojuma ietekmei, piemēram, bagāžas nodalījuma panelim, ir svarīga gaismas noturība [8]. Bagāžas plauktam noteiktā gaismas izturība ir 450 kJ, kas ir daudz augstāka, salīdzinājumā ar prasībām pret citām detaļām, piemēram, griestu apšuvumu – 150 kJ [9];

- novecošanās – tā kā automašīnas tiek pārdotas un izmantotas visā pasaulē, tās tiek pakļautas dažādām temperatūru un klimata svārstībām. Piemēram, temperatūra var svārstīties no $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ziemā, līdz $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ siltākā klimatā sausos vai mitros apstākļos. Vasaras laikā tumšā krāsā izgatavota vadības paneļa, sēdekļu galvas balstu un bagāžas plaukta virsma var sasniegt pat $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Novecošanās tests pieder pie tiem testiem, kas mēdz aizņemt ievērojamu laika periodu. Autoražotājs *Volvo* savu automašīnu reālo novecošanu pārbauda, atstājot tos uz vienu gadu (12 mēnešiem) Fīniksas izmēģinājuma laukumā Arizonā, Amerikas Savienotās valstīs (ASV) (*Arizona Proving Ground Phoenix, USA*) [12];
- metamerisms – krāsu parādība, kad viena apgaismojuma ietvaros (piemēram, automašīnu tirdzniecības salonos esošais mākslīgais apgaismojums) divu krāsu paraugi šķiet saskaņoti, bet mainoties apgaismojumam (piemēram, dabiskā saules gaisma) jeb mainoties gaismas viļņa garumam, paraugi pārstāj izskatīties saskaņoti. Metamerisms starp salona materiāliem nav pieļaujama [12];
- mehāniskās īpašības: triecienizturība, stiepes izturība, Junga modulis, kompresija, izturība liecē un bīdes noturība, nodilumizturība u.c. Nodilumizturības pārbaude – parasti izmantotas tādas izplatītas metodes, kā piemēram, *Martindale* metode (regulē standarts *ISO 12947* [17]) un *Taber* metode (regulē standarts *ISO 5470* [18]). Pārbaudot ar *Martindale* metodi, materiālu var pakļaut līdz pat 50 000 pasažieru iekāpšanas/izkāpšanas cikliem. Savukārt automašīnu salonos paredzēto sēdekļu materiāla nodilumizturība pārbaudāma, izmantojot tos taksometros. Šādā gadījumā taksometrā ir ievietojami sēdekļi, kas ražoti no pārbaudāmā materiāla. Eksperiments ilgst 9 mēnešus, kura laikā paredzēts, ka taksometrs veic 100 000 km un tajā ietilps 15 000 pasažieru iekāpšanas/izkāpšanas cikli [12];
- uzliesmojamība – uzliesmojamības testi veicami saskaņā ar standartu *MVSS 302* [19]. Šis standarts nosaka, kuras no transportlīdzekļa detaļām un materiāliem būtu testējami, kādas testēšanas iekārtas ir nepieciešamas un apraksta testa procedūru, utt. Pārbaudāmais materiāls novietojams horizontālā stāvoklī un ievietojams maza izmēra telpā, kur tas pakļauts liesmas iedarbībai. Degšanas pakāpe aprēķināma mērot degošā materiāla garumu laikā mm/1 min. Standarts nosaka, ka pieļaujamā uzliesmojamības ātruma attiecība ir 102 mm/min, taču atsevišķi ražotāji savos standartos ir pieņēmuši zemākas vērtības [12]. Samazināta uzliesmojamība ir vispārējā drošības prasība gandrīz visiem tekstilizstrādājumiem pasažieru pārvadājumu zonā [11]. Sevišķi šīs prasības attiecināmas uz gaisa kuģiem un peldošajiem transportlīdzekļiem, kur ugunsgrēka gadījumā pasažieriem ir apgrūtināta iespēja izkļūt no telpām. Gāze, kas rodas degšanas

procesā, atkarībā no koncentrācijas un laika, ko cilvēks tajā pavada, var radīt sekas veselībai un dzīvībai.

Dabisko šķiedru lietojums vieglās automašīnas interjera detaļu izgatavošanā

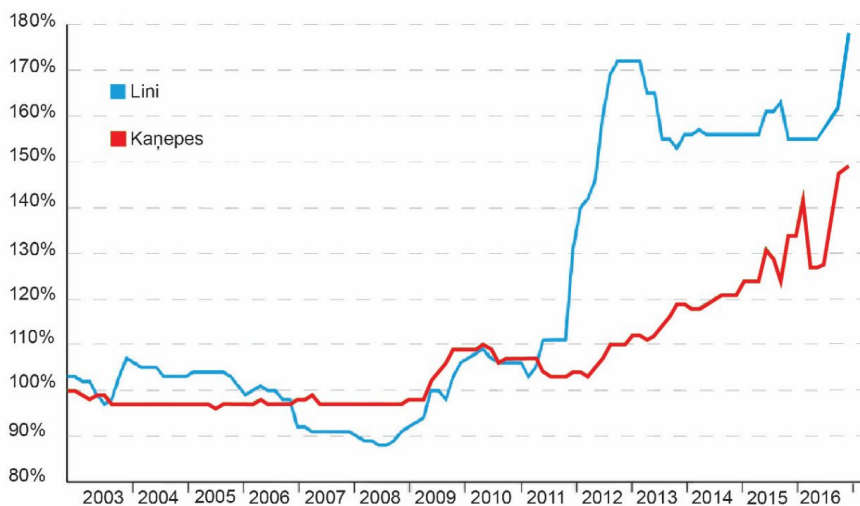
Fosilo resursu izsīkums jau labu laiku ir veicinājis atjaunīgo resursu plašāku izmantošanu. Izvēli par labu dabisko šķiedru izmantošanai transportlīdzekļa salona tekstila detaļu izgatavošanā veicina vides un ekonomiskie faktori. Pie vides faktoriem minama EP direktīva 2009/28/EC [20], kas nosaka enerģijas izmantošanu no atjaunīgajiem resursiem. Savukārt pieprasījums pēc degvielas patēriņa samazinājuma, sekmē vieglo materiālu izmantošanu autobūvē [21]. Vieglu materiālu izmantošana arī automašīnas salonā kopējā transportlīdzekļa masas samazināšanai uzskatāma par prioritāti, jo uzlabo kopējo transportlīdzekļa energoefektivitāti. Kompozītus, ko izgatavoto no dabiskas izcelsmes šķiedru NM, savu īpašību dēļ (materiāla vieglums, skaņas izolācija) kļūst par izplatītu salona apdares materiālu [22].

No neatjaunīgo naftas izcelsmes produktiem veidotu šķiedru aizstāšanā ar dabiskas izcelsmes šķiedrām svarīga ir piemērotāko dabas šķiedru izvēle. Promocijas darbā izgatavotajos un pārbaudītajos materiālos kā dabisko šķiedru komponente ir izvēlētas kaņepāju un līnu šķiedras. Šķiedras izvēli noteica:

- kaņepāji un līni ir atjaunīgs resurss;
- reģionālais faktors. 2020. gadā Latvijā, Lauku atbalsta dienesta veiktajā lauksaimniecībā izmantojamo zemju apsekojumā konstatēti 240 238 ha nekoptas lauksaimniecības zemes (procentuāli tie sastāda 10,8 % no visas lauksaimniecībā izmantojamās zemes platības) [23] – potenciāls izmantošanai. Latvijas klimatiskie apstākļi ir piemēroti kaņepju un līnu audzēšanai. Kaņepes agrikultūrā ir piemērots rotācijas augs, kaņepes izmanto biomasas enerģijas iegūšanai, tās uzlabo augsnes sastāvu un atbrīvo augsni no smagajiem metāliem;
- esošā pieredze kaņepāju un līnu šķiedru izmantošanai autobūvē. Ar kaņepāju šķiedru pastiprināti kompozīti izmantoti ne tikai transportlīdzekļa detaļu, bet arī ārējā korpusa detaļu ražošanā, piemēram, *Lotus Eco Elise* automašīnām [24]. Līnu šķiedru izmantošanā saskatāma perspektīva arī automašīnas priekšējo un aizmugurējo bamperu kompozītu izgatavošanā [25];
- nākotnes tendences pietiekamu kaņepāju un līnu šķiedru apjomu nodrošināšanā. Kaņepju un līnu kā nepārtikas agrrikultūru audzēšanas veicināšanai ES teritorijā pašlaik ir pieejamas subsīdijas. Tam ir gan pozitīvi, gan negatīvi aspekti. Kā pozitīvais – zemnieku pievēršanās kaņepju audzēšanai, jo arī kaņepāju šķiedras u.c. produkti pierādījuši savas labās tehniskās īpašības. Tomēr, neskatoties uz to, audzēšana vēl nav izplatīta. Starp pasaules līdervalstīm kaņepju audzēšanā minama Ķīna (80 000–101 000 ha), kas izaudzē aptuveni 70 % no pasaulē izaudzētā, Kanāda (56 660 ha 2017. gadā), ASV (31 637 ha 2018. gadā), Francijā (17 900 ha 2019. gadā) [26, 27]. 2019. gadā Francijā audzētās platības aizņēma nepilnu 32 % no visām ES ar kaņepju aizņemtajām platībām. Citas lielākās ES ražotājvalstis: Lietuva (9182 ha (salīdzinājumā ar 1470 ha 2018. gadā)), Igaunija (4555 ha), Itālija (4000 ha), Nīderlande (3833 ha), Vācija (3114 ha), Polija (3000 ha) [27, 28]. Eiropā lielākās līnu šķiedras audzētājvalstis ir Francija, Beļģija un Nīderlande. Pretstatā Latvijas pieredzei, Eiropā kopumā pieaug

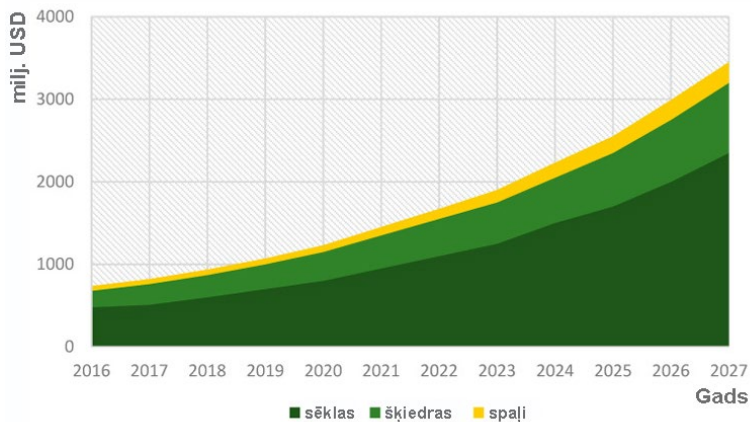
gan apsētās šķiedras linu platības, gan eksporta īpatsvars. Ja 2014. gadā Eiropā saražotas 132 407 [29] t, kas izaudzētas 81 300 ha un linu šķiedru eksporta segments veidoja ~ 80 %, tad 91 700 ha (2015. g.) un 117 000 ha, 141 000 t garās šķiedras ar eksporta segmentu ~ 85 % 2018. gadā [30];

- ekonomiskais izdevīgums. Dabisko šķiedru kultūraugi konkurē ar graudaugiem par sējas platībām. 1.2. att. redzams, ka nepilnu 10 gadu laikā no 2003.–2011. gada linu šķiedru cena bijusi stabili vienmērīga, nākamajā gadā sekojis straujš cenas kāpums, kas 2013. gadā nedaudz krities, bet turpmākajos gados saglabājusi audzēšanas stabilitāti. Salīdzinājumam kaņepāju šķiedru cenu līmenis laika posmā no 2003.–2011. gadam bija tuvs linu šķiedru cenai. Arī kaņepāju šķiedru cena kopš 2011.–2016. gada piedzīvo pakāpenisku cenu pieaugumu, tomēr tas ir zemāks kā linu šķiedrai. 1.3. att. parādīta ASV rūpniecības tirgus lieluma prognoze par pieaugošo kaņepāju tirgu nākotnē, laika posmā no 2016.–2027. gadam. Paredzams, ka gada pieauguma temps prognozētajā periodā būs 15,8 % [31];



1.2. att. Kaņepāju un linu šķiedru cenas attīstība, avots: Carus [32].

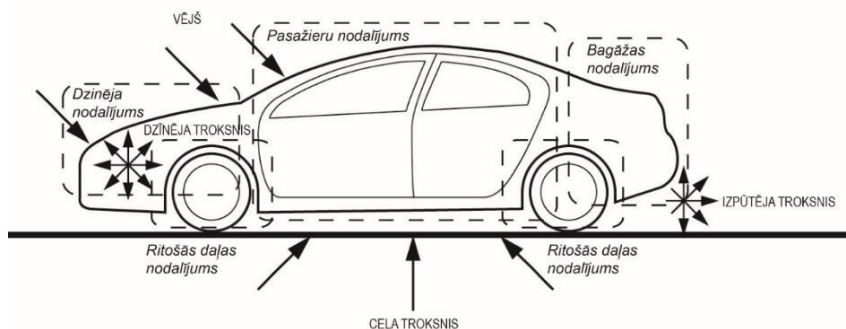
- drošības faktors mehānisku bojājumu laikā. No stikla šķiedras izgatavota paneļa mehāniska bojājuma gadījumā var rasties plaisas un atlūzas ar asām malām, kas var traumēt transportlīdzeklī esošās personas. Kaņepāju un linu šķiedras saturošu kompozītu bojājumu rezultātā asas malas neveidojas.



1.3. att. Rūpniecisko kaņepāju tirgus lieluma prognoze pēc produkta 2016.–2027. gadam ASV [31].

Trokšņi vieglajā automašīnā

Materiāla skaņas izolācija ir svarīgs faktors vadītāja un pasažieru komforta [22] nodrošināšanai transportlīdzekļa ekspluatācijas laikā, kas konkrēto auto modeli izceļ citu, konkurējošu modeļu starpā. NM absorbē un samazina braukšanas un motora trokšņus jeb trokšņus, kas rodas ārpus transportlīdzekļa salona, vienlaikus nodrošinot optimālus apstākļus, lai salonā esošie cilvēki varētu brīvi sarunāties pat pie lieliem braukšanas ātrumiem [33]. *Parikh* [34, 35] aprakstījis pētījumu, kurā salīdzināti celulozi saturošu (linu, džutas, kenafa un kokvilnas) šķiedru un PP izgatavotu NM trokšņu absorbcija (1.1. tabula) pie dažādām frekvencēm. Pastāv trīs galvenie NM skaņas izolācijas koeficienti, kas var ietekmēt konkrētā NM izvēli – skaņas atstarošanas koeficients, skaņas vadīšanas un skaņas absorbcijas koeficients [8].

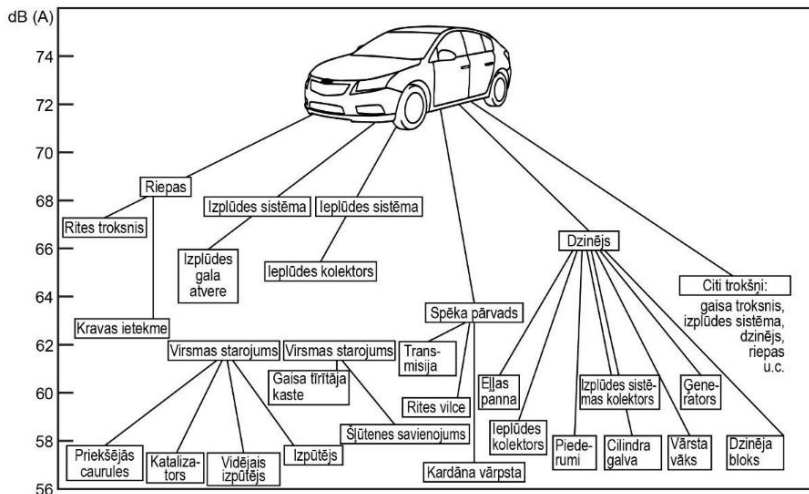


1.4. att. Vieglās automašīnas un vides mijiedarbības rezultātā radītie trokšņu avoti (autore papildināts un veidots attēls no *Chen* [22]).

Pēc *ASTM C-384* automobiļu trokšņu samazināšanai izmantoto NM sasniedzamie mērķi un rezultāti [34, 35]

Frekvence, Hz	Absorbciija				
	Sasniedzamais mērķis, %	Lini/PP, %	Džuta/PP, %	Kenafa/PP, %	Kokvilna/PET/PP, %
800	9	15	15	17	18
1000	16	20	20	20	25
1600	35	32	35	34	36
2000	51	53	66	63	52

Cilvēka dzirdes orgāni spēj uztvert skaņu jeb spiediena izmaiņas no 10^5 Pa līdz 10^2 Pa. Cilvēka dzirdes frekvenču diapazons ir 30–20 000 Hz. Cilvēka dzirdes orgāni slikti uztver ļoti zemas un ļoti augstas frekvences skaņas (31,5; 63; 125; 250; 500; 8000 un 16000 Hz) [36]. Ļoti zemas un ļoti augstas frekvences skaņu cilvēka dzirde subjektīvi uztver ar daudz zemāku intensitāti nekā tā ir patiesībā. Ļoti laba ir skaņu uztveršanas spēja vidējā frekvenču joslā (1000, 2000 un 4000 Hz) [36]. Šajā joslā dzirdes orgāni skaņu uztver ar lielāku intensitāti, nekā patiesībā, uztverot troksni kā trausmes signālu.



1.5. att. Trokšņu avotu izkārtojums saskaņā ar braucošas automašīnas trokšņu testu [37].

Mērot skaņu dB, 0 dB – vājākā skaņa, ko cilvēks spēj saklausīt, 3 dB – skaņa skaidri saklausāma, amplitūdā 120–130 dB skaņa izraisa sāpju robežu. Nelielam stipra trokšņa samazinājumam ir liela nozīme, jo skaņas stipruma samazinājums par 3 dB samazina skaņas enerģiju par pusi. Arī otrādi, 3 dB skaņas palielinājums dzirdes slodzi dubulto. Trokšņa līmenis virs 85 dB 6–8 stundas ilgā iedarbības periodā izraisa vārdzirdības attīstību. Jebkura braucoša automašīna mijiedarbībā ar apkārtējo vidi ir trokšņu avots (1.4. att.), kas izraisa rites un vilces trokšņus. Rites troksnis ir riepu un ceļa troksnis, kas veidojas kā saķeres un gaisa pārvietojamu mehānismu mijiedarbība starp riepu un ceļu. Pie rites trokšņa pieskaitāms arī aerodinamiskais troksnis, kas rodas automašīnai, pārvarot vēja pretestību un apkārtējās vides apstākļus. Vilces troksnis ietver visus trokšņus no dzinēja, izplūdes sistēmas, transmisijas, ventilācijas u. c. Spiediena pulsācijas dzinēja ieplūdes un izplūdes vārstos izraisa ieplūdes un izplūdes sistēmas

troksni. Gāzu plūsma cauruļvadu sistēmās ir avots platjoslas troksnim vidējā frekvenču diapazonā [38]. Atkarībā no mehānisma tehniskā stāvokļa, izplūdes sistēmas radītais troksnis var būt augstāks vai zemāks. Bojātas izplūdes sistēmas gadījumā troksnis būs skaļāks. Par papildu trokšņu avotu jāmin audio sistēma, bez kuras nav iedomājama mūsdienu automašīnas uzbūve. Audio sistēmas radītais troksnis automašīnā atkarīgs no vadītāja klausīšanās paradumiem. Atsevišķi pētnieki pieņem, ka automašīnas troksni galvenokārt veido četri trokšņi: dzinējs, ieplūdes sistēma, izplūdes sistēma un riepu-ceļa sistēma [38]. 1.5. attēlā parādīti braucošas automašīnas trokšņu avoti, kas secīgi sakārtoti pēc augstākā trokšņa līmeņa: riepas, izplūdes sistēma, ieplūdes sistēma un dzinējs. Frekvenču satura analīze palīdz labāk izprast trokšņu avotu raksturu. Detalizēta katra galvenā trokšņu avota analīze ir nepieciešama, lai identificētu un samazinātu kritiskos trokšņu ierosinātājus. Nav izteiktas rezonanses frekvences, bet riepu-ceļa trokšņa dēļ frekvenču amplitūdā starp 500 Hz un 2000 Hz palielinās amplitūdas elementi. Dominējošā frekvence ir ap 1000 Hz, frekvenču amplitūdā zem 500 Hz dominē dzinēja sistēmas trokšņi, kas saistīti gan ar pašu dzinēju, gan ieplūdes un izplūdes sistēmu [38].

Latvijas Republikas (LR) likumdošana, tāpat kā daudzu citu valstu likumdošana, troksni nosaka kā vienu no piesārņojuma veidiem (likums “Par piesārņojumu” [39], LR saeimā pieņemts 15.03.2001., spēkā esošs no 01.07.2001.). Eiropas Savienības (ES) likumdošanā ir noteikti skaņas ierobežojumi jauno automašīnu ražošanā. Ja iepriekš apskatītie trokšņi mašīnas salonā uzskatāmi par iekšējiem trokšņiem, tad automašīnas radīto troksni var klasificēt kā ārējo troksni. Laika gaitā ievērota tendence samazināt atļauto trokšņu līmeni – 1978. gadā atļautais trokšņu līmenis bija 82 dB, 1996. gadā samazināts līdz 74 dB. Arī turpmāk sagaidāma atļaujamā trokšņu līmeņa samazināšana, ES regula 540/2014 [40] nosaka, ka kopš 2016. gada jaunu vieglo pasažieru automašīnu trokšņu līmenis ierobežojams līdz 72–75 dB (atkarībā no automašīnas masas un dzinēja jaudas), bet 2026. gadā – 68 dB.

Akustiskajiem materiāliem nepieciešama augsta veiktspēja skaņas absorbcijā un transmisijas zudumos. Skaņas absorbcija nodrošināma ar viegliem un porainiem materiāliem, augstiem transmisijas zudumiem nepieciešamas barjeras – necauraidīgas un masīvas [41]. Visbiežāk blīviem materiāliem ir augsti skaņas transmisijas zudumi un zema absorbcijas spēja. Viens no risinājumiem iepriekšminētās spējas apvienot vienā materiālā, ir veidot materiālu ar daudzslāņu struktūru, kur katram slānim veicams konkrēts uzdevums.

Pretstatā ēku skaņas izolācijā izmantotajiem materiāliem, transportlīdzekļos izmantotie skaņas izolācijas materiāli uzskatāmi par relatīvi plāniem no ~ 1,98–33,34 mm [42] (salīdzinājumam būvniecībā pār plānu materiālu uzskata 50 mm un plānākus).

Skaņas absorbcijas efektivitāte ir tieši saistīta ar materiāla biezumu. Absorbcija visefektīvāk tiek nodrošināta, ja materiāla biezums ir 0,25–0,5 no skaņas viļņa (kas darbojas uz materiālu) garuma. No tā izriet, ka skaņas absorbenti vislabāk strādā pie augstām frekvencēm, kur ir īsi skaņas viļņi [43].

Automašīnas uzbūvē visbiežāk izmanto putu (struktūra ar noslēgtiem gaisa ieslēgumiem) vai šķiedru (struktūra ar nenoslēgtiem gaisa ieslēgumiem) struktūras skaņas izolācijas materiālus. Pie pēdējiem pieskaitāmi NM. NM par efektīviem skaņas izolācijas un absorbcijas materiāliem padara to struktūrā esošais gaiss – skaņas izplatīšanās ātrums gaisā ir 331 m/s (pie 0 °C), kas salīdzinājumā ar citām vidēm ir zems. Materiāla struktūrā veidojošais tukšuma apjoms ietekmē tā ģeometrisko formu un ir saistīts ar šķiedru virsmas laukumu, kas ir atkarīgs no materiālu veidojošo šķiedru smalkuma un to šķērsriezuma formas. Smalkākas šķiedras

sakārtojamas blīvāk un tāda materiāla virsmas laukums ir lielāks. Bez šķiedru smalkuma, virsmas laukumu ietekmē arī šķiedras šķērsriezuma forma. Salīdzinot vienādu denjē šķiedru trīs dažādu veidu šķērsriezuma formas (apļa, trīsstūra un astoņstaru), lielākais šķiedru virsmas laukums ir materiāliem, kas izgatavoti no šķiedrām ar astoņstaru šķērsriezuma formu līdz pat trim reizēm pārsniedzot no apļa formas šķiedrām izgatavota materiāla virsmas laukumu, kas ir vismazākais. Šī parādība novērota materiālos, kuru šķiedras ir 3 denjē un rupjākas [44].

Atkarībā no akustisko materiālu lietojuma jomas, to akustiskās īpašības laboratoriski pārbaudāmas 100–3200 Hz frekvencē [35]. *Shahami* ar cauradatošanas metodi izgatavotu neausto materiālu akustiskās īpašības un skaņas absorbcijas koeficientu noteicis diapazonā no 125–4000 Hz [45].

Materiālu skaņas absorbcijai novērtēšanai visbiežāk literatūrā pieminētas 2 pārbaudes metodes [46]: pretestības caurules metode (impedance tube method (*ASTM C384-98* (šobrīd aktuāla *ASTM C384-04 (2016)* versija [46])) un reverberācijas kameras metode (reverberation room test method (*ASTM C423-08*) (šobrīd aktuāla *ASTM C423-22* versija [47])). Autobūvē izmantoto tekstilmateriālu salīdzinoši nelielo izmēru dēļ materiāla akustisko īpašību pārbaudei ērtāk izmantot caurules pretestības metodi. Kameras sienu virsmām pilnībā jāatstaro skaņas viļņi. Kamerām jābūt pietiekami lielām, lai skaņas izolācija būtu izmērāma zemā frekvencē.

Pretestības caurulē plakņveida skaņas vilnis tiek virzīts uz caurules galu, kur to atstaro pārbaudāmais paraugs. Vilnim atstarojoties, iegūstams patstāvīgs vilnis, kas uztverams ar mikrofonu. Normāla biežuma skaņas absorbcijas koeficients nosakāms kā patstāvīgā viļņa attiecība pret pārbaudāmā parauga virsmu. Skaņas absorbcijas koeficientu aprēķina no mērījumiem. Mērāmie parametri: $\Gamma_{\text{lineārā skalā}}$ – normāla krišanas leņķa skaņas refrakcijas koeficients lineārā frekvenču skalā; $\alpha_{\text{lineāra skala}}$ – normāla krišanas leņķa skaņas absorbcijas koeficients lineārā frekvenču skalā; $\text{SPZK}_{\text{lineārā skalā}}$ – skaņas pārnese zudumu koeficients lineārā frekvenču skalā. Aprēķināmie parametri: $Z/\rho c_0$ – materiālā relatīvā akustiskā impedance lineārā frekvenču skalā; α – normāla krišanas leņķa skaņas absorbcijas koeficients 1/3 oktāvu joslās; SPZK – skaņas pārnese zudumu koeficients 1/3 oktāvu joslās. Skaņas pārnese zudumu koeficientu mēra decibelos (dB). Jo augstāks ir izolējošā materiāla skaņas pārnese zudumu koeficients, jo labāk materiāls ierobežo nevēlamo skaņu iekļūšanu.

Secinājumi

Bagāžas plaukts pēc izvietojuma un nodiluma, nolietojuma ietekmes ir līdzīgs sēdvietu materiālam, savukārt pēc materiāla uzbūves līdzīgs durvju paneļu materiālam. Līdz ar to nodrošināmais virsmas blīvums bagāžas plauktam variē amplitūdā 450–800 g/m². Vieglo automašīnu salonā izmantoto tekstilmateriālu izgatavošanas metodi galvenokārt nosaka no materiāla izgatavoto detaļu funkcija. Automašīnas salona apdarē izmantotajiem materiāliem veicama arī skaņu absorbējoša funkcija, kuras nodrošināšanu vislabāk veic materiāli ar porainu uzbūvi. Uzbūvi ar gaisa ieslēgumiem spēj nodrošināt neausta materiāla struktūra.

1.2. Kaņepāju un linu šķiedras kā neausto materiālu un kompozīta komponentes

Lauksaimniecībā izmantojamā zeme ir uzskatāma par Latvijas resursu, kas līdz šim netiek pilnvērtīgi izmantots. Tekstilmateriālu ražošanas ķēde sākas ar šķiedru ražošanu vai ieguvu,

tāpēc šajā apakšnodaļā aprakstītas šķiedras kaņepju un šķiedras linu audzēšanas īpatnības. Lielās sējuma platībās Latvijā zemnieki labprātāk izvēlās sēt graudaugus un kultūras, pēc kurām ir stabils un garantēts pieprasījums. Audzēšanas īpatnības var veicināt viena kultūrauga audzēšanu vairāk nekā otru.

Šķiedras kaņepes

Kaņepes (*Cannabis sativa*) ir viengadīgs, liels (50–200 cm) kaņepju dzimtas lakstaugs ar specifisku smaržu. Augam ir labi attīstīta mietsakne ar lielu skaitu sazarotu sānsakņu. Atkarībā no augsnes mietsakne var būt dziļumā no 2–2,5 m, sānsakņu izplešanās rādiuss – 60–80 cm. Kaņepe ir divmāju augs, tomēr rūpnieciskai ražošanai selekcijas rezultātā abi dzimumi apvienoti vienā augā. Šādi iegūstama vienmērīga visu viena stādījuma augu nogatavošanās, kas ir izdevīgi no mehanizētas novākšanas viedokļa. Kaņepju stiebrs ir taisns, vertikāls, šķautņains, dobs, matēti zaļā krāsā ar dziedzermatiņiem, kas nogatavošanās laikā pārkokojas. Kaņepju stiebrs sastāv no kokainās un lūksnainās daļas. Lūksnainajā daļā starp mizu un pirmlūksni atrodas lūksnes šķiedras (1.6. att.), kas gredzena veidā ieskauj iekšējo koka serdi, ko veido spaļi (1.7. att.). Spaļu uzdevums ir balstīt kaņepes stiebru un turēt to vertikāli, savukārt šķiedras rūpējas par stiebra izturību stiepē un vērpē. Kaņepāju šķiedras šūnu izmērs nepārsniedz 0,5 mm. Šķiedras šūnu garums svārstās robežās no 1–10 cm, vidēji tas ir 15–40 mm. Vidējais šķiedras resnums (diametrs) ir 18–25 μm. Augam kļūstot vecākam, šķiedras šūnas šūnu saistvielas lingnīna ietekmē pārkoksnējas. Pārkoksnēšanās lielā mērā iespaido šķiedras kvalitāti.



1.6. att. Kaņepāju tehniskās šķiedras.



1.7. att. Kaņepāju spaļi [48].

Lapas uz stublāja pretējas, augšējās lapas var būt pamīšus. Lapas ir ar kātu. Plātne 8–20 cm piecstaraini līdz septiņstaraini dalīta lancetiskās vai lineārās plūksnās ar smailu galu un zāģzobainu malu. Kaņepju apputeksnēšanās notiek vēja vai citu ārēju faktoru ietekmē. Ziedi blāvi zaļi un zied jūnijā, jūlijā. Mūsu platuma grādos kaņepes galvenokārt audzē šķiedras ieguvei, jo to ieguvei veģetācijas laiks ir īsāks nekā sēklas kaņepēm. Arī audzējot šķiedras kaņepes, ieteicams izvēlēties šķirnes ar īsāku veģetācijas periodu. Dienvideiropā, kur vasaras ir garākas, kaņepju ziedēšana iestājas vēlāk, tāpēc līdz ziedēšanai augs spēj uzaudzēt lielu biomasu. Pateicoties lielākai biomasai, arī šķiedras raža iegūstama lielāka. Pēc veģetācijas perioda garuma par piemērotu audzēšanai Latvijas apstākļos atzīta šķiedru kaņepju šķirne *Finola*, kas selekcionēta Somijā. *Finola* sēklas paspēj nogatavoties reizē ar pašmāju kaņepju pasugām, pretēji tām, kuras tiek audzētas Eiropā. Vēl izplatīta ir *Biatobrzeckie* un aizvien populārāka kļūst pašmāju šķirne *Pūriņi*.

2014. gadā kaņepju iesēts ~ 200 ha [49], kas ir 1/3 mazāk nekā 2012. gadā, kad Latvijā iesēti 600 ha kaņepju aptuveni 76 saimniecībās, no tām 394 ha ar ES sertificētu sēklu atbilstoši tetrahidrokanabīnols (THC) monitoringa prasībām, – 140 ha ar dažādas izcelsmes *canabis sativa* sēklām (pašu ataudzējums, nozaudēti ES sertifikāti, vēsturiski tradicionālās šķirnes) un 60 ha *Finola* eļļas šķirne [50]. Pēdējos gados kaņepju sējplatības ir palielinājušās, 2017. gadā – 907 ha, 2018. gadā – 875 ha [51].

2012.–2013. gadā kaņepāju tehniskās šķiedras cena vidēji variēja no 600–800 EUR/t [52], kaņepāju šķiedru cena būves vajadzībām un izolācijas materiāliem 0,7 EUR/kg [53], šķiedrām blakusprodukta spaļu cena 200 EUR/t. Pēc Eiropas Industriālo kaņepju asociācijas (*EIHA*) datiem, tad kaņepāju šķiedru cena no 2012.–2016. gadam pieaug. Ņemot vērā, ka vidējā plānotā šķiedras ieguve ir 2,0–2,2 t/ha, tad par tikai par šķiedru no 1 ha var iegūt 1200–1760 EUR [54]. Papildienākumi iegūstami no sēklām, kas ir 1,47 t/ha un kaņepāju spaļu ieguve no ha ir 3,9–4,3 t (786–864 EUR). Pie kopējās ražas jāņem vērā arī iegūstamie putekļi 1,2–1,3 t/ha [55].

Kaņepāju šķiedras īpašības

Kaņepāju šķiedru morfoloģija. Šķiedrai ir plakana, daudzstūraina šķērsriezuma forma, elementārās šķiedras izmērs variē no 50–80 mm garumā (ražotāja *BaFa* sortimentā ~ 60 mm garas šķiedras [56] un Ø 20–40 µm [57]). Šķiedras šūnas sienīņas biezums Ø 5–10 µm. Celulozes mikrofibrilu platums 3–18 nm, fibrilu kūlīša platums 25–80 nm [58]. Kaņepāju šķiedru blīvums 1480 kg/m³.

Kaņepāju šķiedras ir tumšā krāsā, ar atsevišķiem izņēmumiem gaišā krāsā. Šķiedras grūti balināmas. Kaņepāju šķiedras ir stingras un ar augstu izturību, šīs īpašības dēļ kaņepāju šķiedras izmantotas virvju ražošanā, sevišķi pirms sintētisko šķiedru parādīšanās. Elementāršķiedrai (sausai) ir zems pagarinājums 1,5 % [59, 60].

Gan kaņepāju, gan linu šķiedru uzbūvē proporcionāli pēc masas galvenā komponente ir celuloze, jo tā ir galvenā šūnapvalku sastāvdaļa. Celuloze augos (gan kaņepēs, gan lino) saistīta ar hemicelulozi un lignīnu. Vēl šķiedras uzbūvi veido vasks, proteīns, ūdens, pelni un ūdenī šķīstoši savienojumi [58–60]. Lielāks lignīna saturs padara šķiedras mazāk jūtīgas pret ķīmikālijām. Piemēram, kaņepāju šķiedras ir izturīgas pret bāzēm un skābēm [61]. 1.2. tabulā atspoguļots kaņepāju šķiedru ķīmiskais sastāvs pēc dažādiem literatūras avotiem. Saskaņā ar tabulas datiem, visu avotu norādītajā informācijā procentuāli lielākais apjoms ir celulozei (64,2–80,2 %), nākamo lielāko apjomu aizņem hemiceluloze (12–23,79 %), kā trešais lielākais aizņemtais apjoms seko lignīns (2,6–7,96 %), tam seko pektīns (1,37–3 %). Vismazāk kaņepāju šķiedrās ir vaski, tauki (0,52–0,73 %), minerālvielas un dažādi ūdenī šķīstoši savienojumi. Kaņepāju šķiedru ķīmiskais sastāvs katra atsevišķa elementa ietvaros variē. Kā redzams pēc tabulas datiem, tad ķīmisko vielu procentuālais sastāvs variē arī vienas kaņepju šķirnes ietvaros, kura izaudzēta dažādās valstīs (kaņepju šķirne *Biallobrzeskie* audzēta gan Latvijā, gan Polijā).

Kaņepāju šķiedras ķīmiskais sastāvs

Celuloze (%)	Hemiceluloze (%)	Lignīns (%)	Pektīns (%)	Vasks, proteīns, ūdens, pelni u.c. (%)	Avots (%)
67–78	17	3,5–5,5			[62]
77				10 % higroskopiskais ūdens	[63]
80,2	12	2,6	3	0,5 % pelni, 1,7 % ūdenī šķīstoši savienojumi, 6,5 % mitrums	[64]
64,2–70,5	16,99–23,79	5,68–7,96	1,37–1,64	0,52–0,73	[57]
66,38	18,84	5,68	1,54	0,52	<i>Białobrzescie</i> (B LV) [57]
70,54	16,99	6,18	1,64	0,73	<i>Białobrzescie</i> (B PL) [57]

Kaņepāju šķiedru kristāliskuma pakāpe ir 44 %, celulozei 59 % [58].

Marrot [64] pētījumā par kaņepāju šķiedru mehānisko īpašību analīzi, apkopojis citu autoru pētītās kaņepāju mehānisko īpašību vērtības un apkopojums parāda stiepes izturības vērtību amplitūdu, kas variē no 285 MPa līdz 788 MPa (maksimālā vērtība minēta 1735 MPa, bet šajā gadījumā autors nav norādījis šķiedru diametru un pagarinājumu). *Lilholt* [65] augu šķiedru īpašību salīdzinājumā kaņepājiem stiepes izturības norādīta līdzīgā amplitūdā – 300 MPa līdz 800 MPa. Jau pieminētajā *Marrot* mehānisko īpašību salīdzinājumā elastības modulis variē no 14,4–44,5 GPa, materiāla pagarinājums 0,8–3 %.

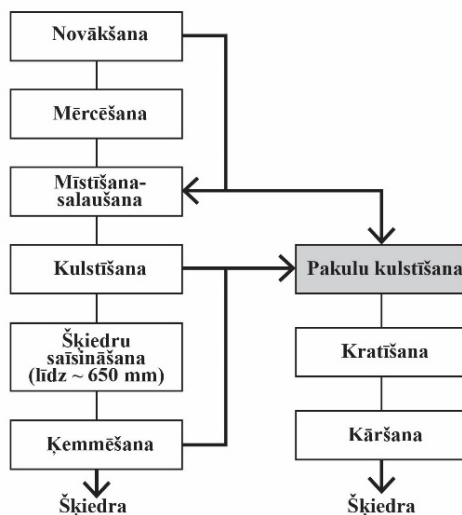
Kompozīta sastāva plānošanā, piemērotākās polimēru matricas izveidē svarīga loma ir kaņepāju šķiedru termiskajām īpašībām, sevišķi temperatūra, kuru sasniedzot, kaņepāju šķiedras sāk degradēties. Literatūrā [66] kaņepāju degradācijas temperatūra norādīta plašā amplitūdā: no 150 (degradēšanās sākšanās temperatūra) līdz 200 °C, par optimālu temperatūru pieņemot 180 °C.

Kaņepāju šķiedras īpašību ietekmējoši faktori

Šķiedras kaņepju sēšanas un audzēšanas apstākļiem ir būtiska ietekme uz iegūstamo šķiedru kvantitāti. Kaņepes ir noturīgas pret lietusgāzu un vēja izraisīto veldrēšanos, ko apliecina arī līdzšinējā pieredze Latvijā. Sausās vasarās kaņepes parasti neaiziet bojā, jo spēj piesaistīt augsnē esošo mitrumu, īpaši, ja augsnei ir laba struktūra. Augstākas kaņepāju stiebriņu ražas iegūstamas, ja rudenī un pavasarī rūpīgi ir veikta augsnes sagatavošana. Jāizvēlas tāds apstrādes veids, kas ļauj aizturēt nokrišņu ūdeni, optimāli iestrādāt augsnē barības vielas, nodrošināt ar gaisa caurlaidību un izveidot līdzenu zemes virsmu.

Kaņepju audzēšanai, kas paredzēta šķiedras un spaļu ieguvei, vislabāk ir piemērota trūdvielām un barības vielām bagāta, un labi drenēta augsne. Augsnes pH vērtība nedrīkst būt zemāka par 5,8–6. Kaņepju augu pilnīgai attīstībai Latvijas klimatiskajos apstākļos nepieciešams pēc iespējas garāks veģetācijas periods. Kaņepes sēj agrā pavasarī – no aprīļa beigām līdz maija beigām, lai paildzinātu veģetācijas periodu. Sēšanas laiku koriģē salnu iespējamība, jo jaunie augi ir jūtīgi pret salu. Lai augi uzdīgtu ātri un vienmērīgi, optimālā augsnes temperatūra sēšanai ir 8–10 °C, tomēr sēklas dīgst arī zemākā temperatūrā.

Šķiedras ieguvei izsējas norma ir 40–80 kg/ha (apm. 200–300 augu uz vienu kvadrātmetru). Sēšanai var lietot parastu rindsējmašīnu. Sēklas jāiegulda 3–5 cm dziļi. Ir svarīgi pēc tam nostiprināt augsni sēklu ieguldīšanas dziļumā, lai nodrošinātu ūdensapgādi.



1.8. att. Tradicionālā kaņepāju šķiedru iegūšanas shēma [67].

Kaņepju augu augšanas aktīvajā periodā svarīga ir minerālvielu klātbūtne. Piemēram, slāpeklis kaņepēm nepieciešams augšanas laikā, jo nodrošina hlorofila veidošanos un lapu augšanu. Pietrūkstot slāpeklim, lapas virzienā no lejas uz augšu nodzeltē un atmirst.

Tradicionāla kaņepāju šķiedru ieguves shēma no kaņepju ražas ieguves līdz savērtam pavedienam atspoguļota 1.8. att.

Fosfors nepieciešams enerģijas veidošanā, ko kaņepes izmanto ziedēšanas laikā. Fosfora trūkuma gadījumā augs aug lēnāk un ir mazāks. Lapas ir mazākas nekā normālā gadījumā un tumši zaļā krāsā.

Kālijs nodrošina barības vielu veidošanu. Kālija trūkuma rezultātā augs attīstās normāli, taču lapu smailes ir brūnas un var atmirt. Lapu kāti un augu stumbri ir sarkani. Lai augs uzņemtu kāliju, tam vispirms augsnē ir jāizveido noteikta kālija koncentrācija.

Ir noteiktas apmēram 100 dažādas slimības un vairāk nekā 300 kaitēkļu, kas var ietekmēt kaņepju augšanu un līdz ar to arī ražu [68]. Kaņepju augiem nepieciešams ļoti maz augu aizsardzības līdzekļu. Kaņepju audzētāju, tai skaitā arī Latvijas zemnieku praktiskā pieredze apliecina, ka izņemot sēklu kodināšanu, nekādi augu apstrādes līdzekļi, kas paredzēti aizsardzībai pret sēnītēm un kaitēkļiem, nav vajadzīgi. Augu aizsardzības līdzekļu izmantošana jāizvērtē katram audzētājam individuāli, jo atsevišķu zemnieku praktiskā pieredze liecina par būtiski samazinātu ražu.

No sastopamajām slimībām kaņepēm bīstama ir pelēkā puve jeb botritioze (*Botrytis cinerea*, angļu val. – *gray mould*) un kaņepju rūsa (*Hemp canker*). Pelēkā puve bojā stiebriņus un visbiežāk piemeklē lietainās vasarās, radot ievērojamus ražas zudumus.

Šķiedras lini

Lini (*Linum*) ir viengadīgs augs ar mietsakni, kurai vāji attīstītas sānsaknes. Šķiedru linu stiebrs ir 0,8–2,1 un vairāk mm tievs un 75–135 cm garš. Stiebra augšdaļa sazarota, stiebra un sānzaru galos atrodas ziedi, kas zied zilā, retāk violetā, sārtā un baltā krāsā. Līdz ar ziedu noziedēšanu stiebra augšana garumā gandrīz izbeidzas. Lini dzīves cikls atkarīgs no audzējamās šķirnes un klimatiskajiem apstākļiem, un ilgst 75–90 dienas. Dzīves ciklu iedala 5 augšanas fāzēs: dīgšanas, eglītes, pumpurošanās, ziedēšanas un nogatavošanās fāze [69].

Latvijas Republikas teritorijā lini ir sena agrikultūra, kuru latvieši audzējuši šķiedras ieguvei. Par to liecina arī daļu skapī esošās tautasdziesmas, kā piemēram:

“28270-0

Ai, lini, mani lini

Manas pašas garumiņu!

Tur būs man smalki krekli,

Tur baltie paladziņi [70].”



1.9. att. Lini šķiedras.



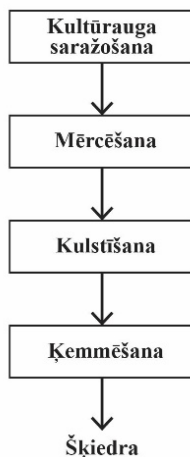
1.10. att. Lini spaļi [71].

Lai no liniem iegūtu šķiedru (1.9. att.), linus mērcē, mazgā, kuļšanas laikā šķiedras atdala no spaļiem (1.10. att.), putekļiem un citiem piejaukumiem, un vienu no otras. Tradicionālais linu šķiedras ieguves procesu shematiskais attēlojums redzams 1.11. att.

Latvijā kā linu audzēšanas reģions tradicionāli uzskatāms Latgales novads – tur esošā zeme nav tik piemērota graudaugu kultūru audzēšanai un vēsturiski Latgales reģionā salīdzinājumā ar citiem Latvijas reģioniem lētākas ir bijušas darbaspēka izmaksas (linu audzēšana un šķiedru iegūšana bija darbietilpīgs process). Linus audzē šķiedru un sēklas ieguvei (t.s. eļļas lini). Lini šķiedru audzēšanai jāizvēlas garšķiedras linu šķirnes. Kvalitatīvas šķiedras iegūšanas priekšnosacījums ir kvalitatīvu stiebrīņu iegūšana, tāpēc piemērotākas garšķiedru šķirnes ar īsāku veģetācijas periodu. Šādu šķirņu ražu iespējams novākt agrākos termiņos, šķiedru iegūšanai labvēlīgos laikapstākļos. Latvijas augu šķirņu katalogā no garšķiedru linu šķirnēm atrodama 1 šķirne – “Vega-2” (informācija uz 08.06.2017.). Eiropas šķirņu kataloga reģistrācijas procesā ir Latvijā radīta šķiedras linu šķirne “Vilāni” [72]. Jaunā šķirne ir vidēji agrīna – 90 dienu veģetācija, ražīga – vidējā linu salmiņu raža 7,72 t no 1 ha, veldres izturīga – trīs galvenās īpašības, kas šķirni padara piemērotu audzēšanai Latvijā. Novērota izturība pret linu iedegu. Zied baltiem ziediem.

Tiek uzskatīts, ka eļļas linus izaudzēt ir vienkāršāk nekā šķiedru linus, jo to veģetācijas apstākļi nav tik ļoti atkarīgi no meteoroloģiskajiem apstākļiem. Lini sēklas izmanto kā izejvielu dažādām tautsaimniecības nozarēm, piemēram, pārtikā, jo linsēklas satur 35–45 % eļļas, kā arī

pilnvērtīgu olbaltumvielu, kurā ir gandrīz visas neaizstājamās aminoskābes, ogļhidrāti, šķiedrvielas, vitamīni A, B, E un F. E vitamīns sēklās ir 120–140 mg uz 100 g. F vitamīnu organisms patstāvīgi sintezēt nevar. Linsēklas satur ~ 25 % proteīna, kas ir augsts augu valsts izcelsmes proteīna rādītājs. Linsēklas satur tādus makroelementus kā kāliju, kalciju, magniju, dzelzi un mikroelementus – varu, cinku, selēnu, jodu, boru u.c. Bez pārtikas rūpniecības linsēklās izmantojamas būvniecībā un mēbeļu būvniecībā – no linsēklām iegūta lineļlas pernica aizsargā koksnī no mitruma un nelabvēlīgas mikroorganismu aizsardzības, vienlaicīgi izceļot koksnes dabisko toni un struktūru.



1.11. att. Tradicionālā līnu šķiedru iegūšanas shēma [73].

No 1 ha zemes iegūstami 0,6–1 t neapstrādātu šķiedru, 1,2–2,1 t spaļu, 0,6–1 t putekļu un 0,5 t sēklu [54]. Pēc organizācijas *Organic BIZ* datiem šķiedras līnu sēklu cena biržā ir ~ 1,25 EUR/kg (2019. gada decembrī) [74], savukārt līnu šķiedru cena 1,41 EUR/kg [75]. Prognozējamais ienākums no šķiedras par 1 ha ir ~ 846–1410 EUR.

Latvijas teritorijā līnu audzēšanā vislielākie apjomi sasniegti 20. gs. 80. gados, kad ar tiem bija apsēti ~ 25 000 ha. Pēc LR neatkarības atgūšanas līnu audzēšana samazinājusies vairākkārtīgi, bet kopš Latvijas iestāšanās ES sastāvā, valsts pārtrauca nacionālo subsīdiu atbalstu līnu audzētājiem. Zemnieki, zaudējot līnu audzēšanas ekonomisko izdevīgumu, pievērsās graudaugu kultūru audzēšanai, kas nav tik komplicēta un ir ekonomiski izdevīgāka. Latvijā par nopietnu līnu šķiedru pārstrādātāju uzskatāms viens ražotājs: Latgales reģionā (Rēzeknē) strādājošais SIA “Baltic EAST”. Lai atjaunotu linkopību Latvijā un nodrošinātu uzņēmumu ar vietējām, kvalitatīvām izejvielām, SIA “Baltic EAST” izstrādāta ilgtermiņa attīstības stratēģiju, kas balstīta uz vietējo zemnieku sadarbību līnu audzēšanā. Uzņēmums darbojas ne tikai savā reģionā, bet sadarbojas ar zemniekiem Bauskas pusē (Zemgalē). 2011. gadā uzņēmuma mērķim ar līniem tika apsēti 100 ha. Uzņēmums no vietējiem ražotājiem iegūst 10 % šķiedras, pārējos 90 % importē [52]. Potenciālajiem līnu kultūras audzētājiem būtu jāņem vērā, ka bez latviešu pārstrādātājiem, tādi atrodas arī kaimiņvalstīs: Baltkrievijā un Lietuvā, arī tur pieprasījums pēc šķiedru izejvielām ir augstāks par piedāvājumu. Lielākā daļa saražotās produkcijas tiek eksportēta.

Šķiedras linu ražošanas rādītāji 2016.–2018. gadā (avots: Centrālā statistikas pārvalde [76])

Rādītāji	2016	2017	2018
Novāktā platība (ha)	60	38	21
Šķiedras linu kopražā (tonnas)	263	164	45
Šķiedras linu stiebrīņu ražība (cnt/ha)	43,8	43,2	21,4

Latvijā pēdējos desmit gados novērojams linu kultūras audzēšanas samazinājums. 2016.–2018. gadam šķiedras linu platības aizņem tikai no 21–60 ha. 1.3. tabulā redzams ikgadējs novākto platību un šķiedras linu kopražas samazinājums.

Linu šķiedras īpašības

Linu šķiedru morfoloģija. Šķiedrai ir apaļa-ovāla, daudzstūraina šķērsriezuma forma, šķiedras ir 20–40 mm garas un to Ø 10–20 mm. Šķiedras šūnas sienīgas biezuma izmērs 5–10 µm. Celulozes mikrofibriļu platums 3–18 nm, fibriļu kūlīša platums 30–80 nm [58]. Linu šķiedru blīvums 1400–1500 kg/m³ [65].

Lini parasti ir dzeltenīgi baltā krāsā, bet to tonis var variēt atkarībā no šķiedras miecēšanas apstākļiem. Rasā miecētas linu šķiedras galvenokārt ir pelēkas. Linu šķiedra ir maiga un spīdīga. Spīdums palielinās pēc šķiedru attīrīšanas, atdalīšanas no vaska u.c. vielām.

Linu šķiedru ķīmiskais sastāvs (1.4. tabula) ir līdzīgs kaņepāju šķiedrām. Tāpat kā kaņepāju šķiedrām, tā arī linu šķiedrās pēc procentuālā apjoma visvairāk sastopama celuloze (64,57–75,38 %), otra visvairāk sastopamā viela ir hemiceluloze (12,97–26,07 %), trešā – lignīns (0,60–5 %), tai seko pektīns (0,45–3,23 %) un mazāko aizņem vasks, tauki (0,2–1,90 %). Linu šķiedru ķīmiskā sastāva vērtības variē līdzīgi citiem šķiedras augiem. Linu šķiedru pirmapstrādes procesā, atdalot pektīnu, ogļhidrātus un slāpekļvielas, pieaug celulozes saturs. Tas izskaidro kāpēc linu šķiedrās celulozes saturs ir augstāks, savukārt lignīna saturs zemāks nekā kaņepāju šķiedrās. Savstarpēji salīdzinot linu un kaņepāju šķiedras, pirmajās novērots augstāks hemicelulozes, pektīna, tauku un vasku saturs.

1.4. tabula

Linu šķiedras ķīmiskais sastāvs

Celuloze (%)	Hemiceluloze (%)	Lignīns (%)	Pektīns (%)	Vasks, proteīns, ūdens, pelni u.c. (%)	Avots
45–76	13–22	0,60–13	0,6–5	0,2–1,7	[77]
64,57–75,38	12,97–26,07	4,78–7,44	0,45–3,23	0,83–1,9	[57]
69,90	21,3	7,26	0,45	1,28	T36-5-7-94 1. līnija [57]
75,38	12,97	5,56	1,1	0,97	Ilona [57]
71,98	16,21	6,80	0,73	0,83	Nike [57]

Linu šķiedrām kristāliskuma pakāpe 44 %, celulozei 56 % [58].

Liniem parasti ir augsta stiepes izturība un zema stiepes deformācija. Linu stiepes izturība variē amplitūdā no 500–900 MPa [65]. Linu šķiedru vidējā stiprība ir ~ 57,4 cN/tex (5,8 g/dtex). Mītras linu šķiedras ir par 20 % izturīgākas par sausām linu šķiedrām. Par vienu no

vērtīgākajām līnu šķiedru īpašībām uzskatāma to noturība pret pūšanu mitros apstākļos. Šīs īpašības dēļ kopš senatnes līnu šķiedras izmantotas buru un tauvu izgatavošanā, mūsdienās tās galvenokārt aizstātas ar sintētiskajām šķiedrām. Šķiedru noturība pret pūšanu ir noderīga arī citos no līnu šķiedrām visbiežāk izgatavotajos materiālos: tekstilā, siltumizolācijas materiālos, kompozītos u.c.

Stiepē, pieaugot spriegumam, šķiedras pagarinās. Pagarinājums ir neliels – 1,8 % sausai šķiedrai un 2,2 % mitrai. Lai arī līniem ir zema pagarinājuma pakāpe, tā ir elastīga šķiedra. Atbrīvojot no slodzes, šķiedra centīsies atgriezties pirms sloģošanas pozīcijā. Līniem ir augsts stingums un augsta lieces pretestība. Līnu šķiedru saturošām drānām ir izteikta tendence burzīties.

Karstuma ietekmē augsta izturība pret sadalīšanos līdz 120 °C. Pārsniedzot šo sliekšni, šķiedra sāk balēt. Saules gaismas ietekmē šķiedras pakāpeniski zaudē izturību.

Salīdzinot ar kokvilnu, līnu šķiedras grūtāk balināmas. Pateicoties modernajām balināšanas tehnoloģijām, šķiedras balināšanas efekts sasniedzams ar minimālu ķīmisko līdzekļu izraisītu materiāla degradāciju.

Līnu šķiedras iztur vāju skābju iedarbību, neizturīgas pret koncentrētām skābēm.

Līniem ir laba izturība pret sārmiem, tāpēc līnu audumus nebojā to mazgāšana.

Apģērbu industrijā tiek novērtēta līnu labā siltumvadītspēja – līnu šķiedru audumi siltā laikā ķermeni atvēsina.

Līnu šķiedru īpašības ietekmējošie faktori

Dabas šķiedru viens no mīnusiem ir vienmērīgu īpašību nodrošināšana. Līdzīgi kā kaņepāju šķiedrām, tā arī līnu šķiedras kvalitāti būtiski ietekmē auga sēšanas un augšanas apstākļi. Augstākas kvalitātes šķiedras iegūstamas audzējot šķiedru līnus mēreni siltā un pietiekami mitrā klimatā. Garšķiedru līnu sēklu dīģšanai piemērotākā temperatūra ir +9–+12 °C, straujas augšanas periodā optimālā temperatūra ir +14–+16 °C, ziedkopas veidošanās fāzei līdz pilngatavībai – +16–+18 °C. Līni ir garās dienas augi. Salīdzinājumā ar citiem augiem, prasības pēc gaismas ir zemākas. Pietiekamas gaismas apstākļos, līniem ar labu anatomisku struktūru veidojas garš, tievs stublājs. Arī mākoņainās vasarās līni spēj izaugt gari un mazāk zarojas, dodot lielākas ražas un labākas kvalitātes šķiedru. Līniem pastiprinātas mitruma prasības ir veģetācijas perioda pirmajā pusē, kamēr beidzas ziedēšana.

Augstu ražas kvalitāti līniem nodrošina optimāli laika apstākļi un barības vielas augsnē. Ja augsnē trūkst kāda no elementiem: slāpekļa, fosfora, kālija, bora, kalcija, vara un citu, tas var būt cēlonis dažādu slimību attīstībai, ko sauc par barības vielu deficītu. Ja kādu barības vielu līnos ir par daudz, tas arī var izraisīt barības vielu pārbagātības attīstību. Turpmāk apskatīta makroelementu un mikroelementu trūkuma ietekme uz garšķiedru līniem.

Slāpekļlis līniem visvairāk vajadzīgs no veģetācijas sākuma periodā līdz ziedpumpuru veidošanas fāzei un ziedēšanai. Ja šajā laikā šķiedras līni nesaņem pietiekami daudz slāpekļa, tad līnu šķiedras raža ir samērā zema un šķiedra nepilnvērtīga. Līniem nav vēlams slāpekļa trūkums vai tā pārpilnība. Pārlicēgs slāpekļa daudzums veicina līnu veldrēšanos un pazemina šķiedras kvalitāti, izveidojot irdenus šķiedru kūlīšus, auga stiebrs kļūst resnāks, aizkavējas līnu attīstība.

Fosfors nodrošina stiebru attīstību un uzlabo šķiedras kvalitāti. Fosfora nodrošinājums nepieciešams savlaicīgai līnu ziedēšanai.

Kālijs labvēlīgi ietekmē šķiedras kvalitāti. Kālija iedarbība attiecībā uz šķiedras kvalitāti un veldrēšanos ir pretēja slāpekļa iedarbībai.

Magnija trūkuma ietekmē samazinās linu šķiedru raža.

Bors palielina linu izturību pret bakteriozi, paaugstina linšķiedras kvalitāti. Boru saturoši mēslojumi paaugstina linu salmu ražu vidēji par 0,45 t/ha un šķiedras iznākumu par 0,13 t/ha [69].

Liniem, salīdzinājumā ar citiem laukaugiem, nepieciešams liels dīgtspējīgo sēkļu skaits. Izsējas norma garšķiedras liniem ir 22–25 milj. dīgtspējīgu sēkļu uz hektāra. Labākas kvalitātes šķiedras iegūstamas biežākos sējumos, kur augi savstarpēji noēnojas. Piemērotākā izsējas norma garšķiedras liniem (ja 1000 sēkļu masa ir 5 g) ir 125 kg/ha (25 milj. dīgtspējīgu sēkļu uz 1 ha) mazina stiebru rupjumu. Smagākās augsnēs izsējas norma jāpalielina par 10–15 %, tā palielināma arī mazāk auglīgās augsnēs savukārt var samazināt labi iekoptās augsnēs [69].

Garšķiedru linus visā dzīves cikla laikā apdraud dažādas slimības, kaitēkļi un nezāles. Pie izplatītākajām slimībām pieminama linu vīte (fuzarioze), pēcrūsas fuzarioze, linu iedega (antraknoze), linu brūnēšana (polisporoze), linu rūsa, linu kalšana (askohitoze), linu bakterioze (linu bakteriālā puve) u.c. Izplatītākie kaitēkļi: linu spradži (zilais, melnais, brūnais), linu pūcīte, linu tripsis u.c. Nezāles kaitē liniem gan kā ūdens un barības vielas patērētājas, gan fiziski auga ierobežotāji. Pie barības vielu patērētājām minama tūruma pērkone, tūruma zvēre, baltā balanda. Veldrēšanos veicina tādas nezāles kā vēja griķi, tūruma tīteņi un ķeraīņu madaras, jo apvijas linu stiebriem un apgrūtina novākšanu. Nezāles, kam labi attīstītas lapas, piemēram, baltās balandas, sūrenes, tūruma mīkstpienes, un citas, nokļūstot linu kūlīšos, aizkavē to žūšanu, stieбри sapelē un zaudē kvalitāti.

Secinājumi

Gan kaņepes, gan lini audzējami Latvijā. Abi kultūraugi ir līdzīgi pēc to mehāniskajām īpašībām. Galvenās atšķirības novēro, mainoties audzēšanas apstākļiem. Kaņepju priekšrocība ir auga garums, kas ļauj no laukuma vienības iegūt lielāku zaļmasas ražu nekā linu gadījumā. Linu priekšrocība ir tradīcijas to novākšanas tehnoloģijā, tai skaitā šo tehnoloģiju pieejamība.

1.3. Daļēji un pilnīgi bioloģiski sadalošās polimēru matricas

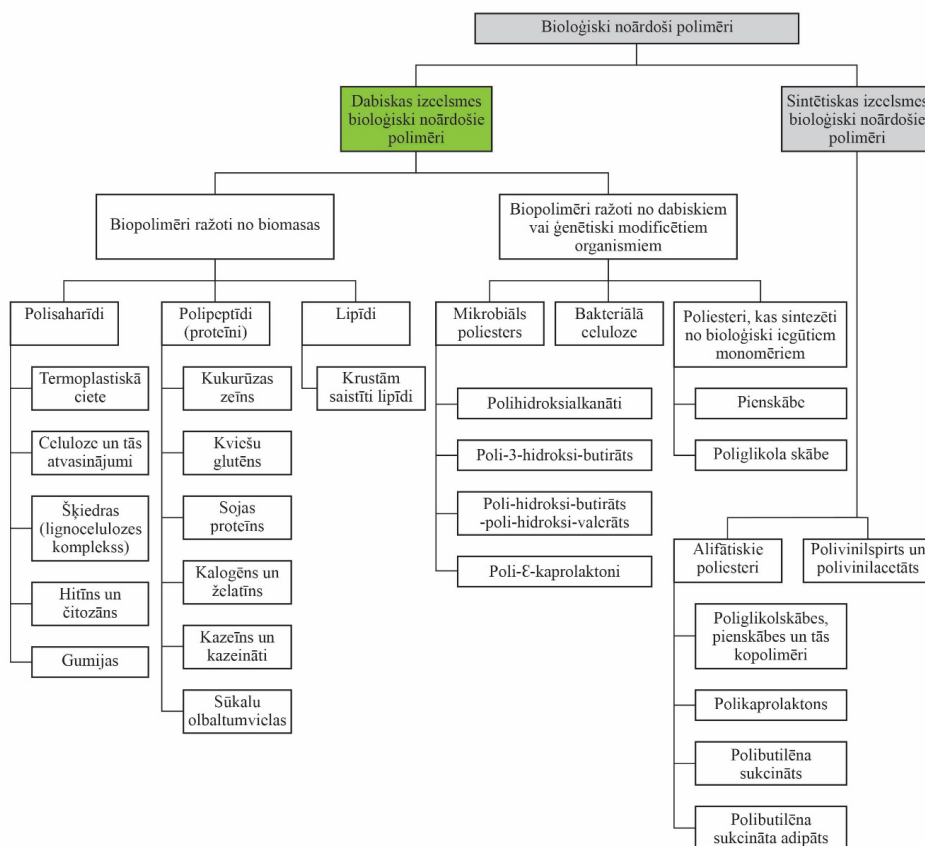
Izsīkstot neatjaunīgajiem fosilajiem ieguves resursiem un nemazinoties pieprasījumam pēc dažādiem izstrādājumiem no plastmasas, pieaug biopolimēru piedāvājums. No fosilajiem resursiem iegūtajiem polimēriem nepiemīt spēja bioloģiski noārdīties, tāpēc tie uzkrājas un veido vides piesārņojumu, kas savukārt negatīvi ietekmē klimatu. Bioloģiski noārdošajiem polimēriem jāapvieno ekoloģiskās īpašības ar ekonomisko izdevīgumu. Minētais faktors arī attīsta biopolimēru izmantojamību. Bioloģiski noārdošo polimēru iedalījums shematiski parādīts 1.12. attēlā. Kā redzams attēlā, bioloģiski noārdošu polimēru izgatavošanai ir daudz dažādu avotu, kas atkarībā no polimēru sintezēšanas procesa iedalāmi dabiskajos un cilvēku izgatavotajos (mākslīgajos) biopolimēros. Dabiskie polimēri iegūstami no atjaunīgajiem resursiem un pieejami lielos apjomos. Dabiskos polimērus veido savstarpēji sasaistījušās mazākas molekulas [78] ar tām piemītošām aminoskābēm vai dezoksiribonukleīnskābēm, kas rada proteīnu veidošanos. Sintētisko polimēru ražošanā izmanto neatjaunīgos resursus.

Biopolimēru attīstība uzskatāma par atrodošos attīstības sākumā un tas ir 5–10 % no pašreizējā polimēra tirgus jeb ~ 50 000 t Eiropā.

Bioloģiski noārdošos polimērus var klasificēt ne tikai pēc izcelsmes un sintēzes metodes, bet arī to ķīmiskā sastāva, apstrādes metodes, ekonomiskās nozīmes, pielietojuma utt.

Vairāk par izcelsmi, polimēra bioloģisko noārdīšanos nosaka tā ķīmiskais sastāvs. Biopolimērus veido tādi polisaharīdi, kā celuloze, ciete, no mikroorganismiem un sēnēm iegūti ogļhidrātu polimēri, un dzīvnieku valsts proteīni kā vilna, zīds, želatīns un kolagēns.

Iepakojuma sfērā svarīga loma ir tiem biopolimēriem, kas ir termoplastiski. Termoplastiskie biopolimēri iedalāmi divās grupās [78]: uz cieti bāzētie polimēri un poliesteri kā polihidroksilalkaloīds (PHA), polihidroksibutirāts (PHB) un polilaktīds (PLA), celulozes acetāti. Medicīna ir otra sfēra, kurā izplatīta biopolimēru lietošana. Tā ir joma, kurā materiālu veicamā funkcija ir daudz svarīgāka par ražošanas izmaksām.



1.12. att. Bioloģiski noārdošu polimēru iedalījums [79].

ES un Amerikas standartos ir atšķirīgas prasības attiecībā uz biopolimēriem to aprites cikla beigās. Ideālā gadījumā biopolimēri iegūstami no biomasas, bet dzīves cikla beigās tiem jāsadalās augsnē, lai procesu varētu sākt no jauna. Biopolimērus var pārstrādāt, kompostējot mājas apstākļos un industriāli izmantojot gazifikāciju un sadedzināšanu. Dažos gadījumos polimēri arī ar bioloģisku izcelsmi nav pilnībā degradējami, parasti termoreaktīvie polimēri

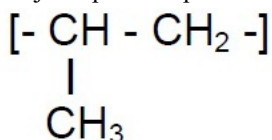
(piemēram, augu eļļas bāzes poliuretāns), bet sintētiskas izcelsmes polimērs var būt bioloģiski sadalošs, piemēram, polivinila alkohols (PVOH) [78].

Pasaules biopolimēru tirgus galvenie līderi ir tādas kompānijas kā *Arkema*, *BASF*, *NatureWorks*, *Novamont*, *Plantic*. Biopolimēru tirgus pēc polimēru veida segmentējams: PLA, bioloģiskie cietes maisījumi, bioloģiskais poliesters, PHA, Bio-polietilēns (Bio-PE), Bio-polietilēntereftalāts (Bio-PET) u.c. 2016. gadā PLA bija viens no visstraujāk augošajiem segmentiem biopolimēru tirgū un tā izaugsme sagaidāma arī turpmākos četrus gadus [80].

Daļēji bioloģiski sadalošie termoplastiskie polimēri

Šajā apakšnodaļā tuvāk apskatīts no neatjaunīgajiem resursiem iegūts polimērs – PP un tā pārstrādātā forma – pārstrādāts polipropilēns (rPP).

PP (1.13. att.) ir termoplastisks polimērs, kas pieder pie poliolefīnu grupas. PP ir puskrīstālisks materiāls, iegūstams polimerizācijas reakcijās polimerizējot propilēna monomēru zemā spiedienā *Ciglera-Natas* katalizatoru klātienē. Salīdzinājumā ar citiem polimēriem, PP ir lētāks (1,08–1,22 EUR/kg [81]) un ir ļoti viegls – blīvums variē no 0,89–0,92 g/cm³. Pēc Vikersa cietību testa PP variē 6–11. PP krāsa variē no necaurspīdīga līdz caurspīdīgam. PP elastības modulis 2,00 GPa un augsts pagarinājums plašā amplitūdā no 100–600 %.



1.13. att. PP polimēra elementārvienība.

Izstrādājumos, kuri ekspluatācijas laikā tiek pakļauti sloģojumam, svarīga mehāniskā izturība: PP stiepes izturība 26 MPa, savukārt tecēšanas robeža variē no 20,7–37,2 MPa.

PP saturošu kompozītu izgatavošanas procesā svarīgas polimēra termiskās īpašības, kā piemēram, darba temperatūra variē amplitūdā no –40–37,2 °C, stiklošanās temperatūra –10 °C. PP kušanas punkts variē no 160–165 °C. Zemā siltumvadītspēja 0,11–0,17 W/(m·K) polimēru raksturo kā labu izolācijas materiālu. Zemā siltumvadītspēja liecina arī par zemu skaņas vadītspēju. Vēl pie svarīgām termiskām īpašībām minama arī īpatnējā siltumietilpība, kas PP ir amplitūdā no 1870–1956 J/(kg·K), un termiskās izplešanās koeficients, kas variē no 122–180 10⁻⁶K⁻¹.

Bez labajām mehāniskajām īpašībām, iespēja PP reciklēt jeb pārstrādāt otrreiz padara to par ilgtspējīgu materiālu, kas lietojams vairākkārtīgi. Pārstrādāta polimēra izmantošanai ir arī ekonomisks izdevīgums – pārstrādes procesā salīdzinājumam ar pirmreizēja polimēra ražošanu ir mazāks enerģijas patēriņš. Pārstrādes procesā atmosfērā izdalās videi kaitīgās gāzes.

Latvijā darbojas 2 polimēru otrreizējas pārstrādes rūpnīcas. 2001. gadā dibināts polimēru pārstrādes uzņēmums SIA “Nordic Plast”, kurā ik mēnesi saražo ap 30 tonnas produkcijas [82]. Kopš 2003. gada Latvijā rūpnīcā “PET Baltija” pārstrādā PET. Ik gadu šajā rūpnīcā pārstrādā 24 000 t pudeļu [83].

Atkritumu poligonos PP noārdās lēni, lai tas pilnībā sadalītos, ir jāpaiet 20–30 gadiem. Dažādās piedevas, kas, pievienotas no PP izgatavotajos izstrādājumos, var saturēt tādus toksīnus kā svins un kadmījs. Uz visiem plastmasas izstrādājumiem jābūt atrodamam

marķējumam ar pārstrādes identifikācijas kodu, PP tas ir 5 un nozīmē, ka tas ir pārstrādājams. PP pārstrāde ir viens no pieejamajiem risinājumiem, lai no izmaksu viedokļa efektīvā veidā novērstu iespējamu vides piesārņojumu. PP reciklēšanas process ietver piecus galvenos soļus: savākšanu, smalcināšanu, mazgāšanu, kausēšanu, granulēšanu un pārstrādi jaunos izstrādājumos. Pēc mazgāšanas sasmalcinātu PP ievieto ekstrūderī, kur 240 °C izkausē un veido granulas, kas gatavas pārstrādei jaunos izstrādājumos.

Pārstrādātu PP jaunos izstrādājumos var sajaukt arī ar pirmreizēju PP. rPP procentuāla masas attiecība jaunos izstrādājumos var sasniegt līdz 50 % [84].

PP mehāniskās īpašības ietekmē polimēra kristāliskums un kristālu morfoloģija, šo faktoru dēļ nereti literatūras avotos sastopamas PP īpašību nesakritības.

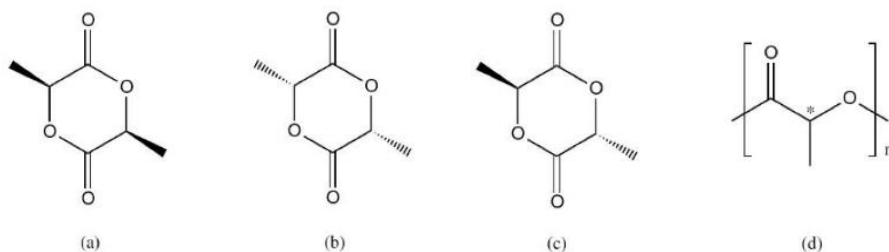
Dan Weckström [85] pētījis rPP mehānisko īpašību izmaiņas atkarībā no pārstrādes ciklu skaita robežās no 1–14 reizēm. Sākotnējā stiepes izturība 29 MPa pēc pēdējā pārstrādes cikla samazinājās līdz 26,3 MPa. Samazinājums 2,7 MPa ir par 9,3 % mazāks nekā pirmreizējam PP. Junga modulis pirmreizējā PP paraugam 806,3 MPa, 14 reizu pārstrādātam PP 695,7 MPa. Samazinājums starp 14 ciklus pārstrādātu PP un pirmreizēja PP paraugu ir 110,6 MPa jeb 13,7 % [85]. Sākuma tecēšanas plūsmas indekss 5 g 10 min., bet pēdējā pārstrādes ciklā sasniedz 11 g 10 min. Tas palielinājies par 6 g 10 min. jeb par 120 % salīdzinājumā ar pirmreizējo PP [85].

rPP granulu cena atkarībā no apjoma izejvielu vairumtirdzniecības interneta vietnē *Made-in-China* variē ~ 1,1–1,6 EUR/kg [86].

Pilnīgi bioloģiski sadalošs termoplastiskais polimērs – polilaktīds

PLA ir mākslīgais biopolimērs [78], ko veido lineārās makromolekulas, kuru ķēdē ir vismaz 85 mas. % pienskābes esteru, ko iegūst no dabā sastopamiem cukuriem. Tā kušanas temperatūra ir vismaz 135 °C [87]. PLA ir kompostējams, bioloģiski sadalošs, kā arī apstrādājams ar standarta ražošanas aprīkojumu [88].

PLA iegūstams no triju veidu pienskābes monomēriem, skatīt 1.14. att. Vairāki literatūras avoti kā efektīvāko metodi pienskābes polimēra sagatavošanai piemin atvērtā gredzena polimerizāciju (ROP) [78, 88]. Izmantojot šo metodi, iespējama kontrolēta sintēze ar izteikti šauru molekulu masas sadalījumu.



1.14. att. Pienskābes monomēra dažādās struktūras formas un rezultējošās atkārtojamās vienības, hirālais centrs norādīts ar * [78].

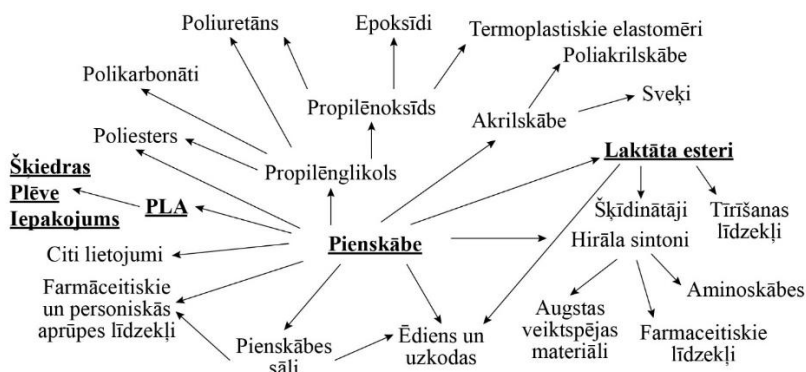
Dažādu formu polimerizācija rezultējas materiālos ar dažādām īpašībām. Polimēri, kas iegūti no tīra L laktīda vai D laktīda monomēriem, ir puskrīstāliski, relatīvi cieti materiāli ar kušanas temperatūru ~ 184 °C, to stiklošanās temperatūra tiek sasniegta ~ 55 °C. Polimēram

piemīt izcila bioloģiskā saderība un zems toksiskums, tas ir bioloģiski degradējams. Polimerizējot D, L laktīdus un mezo-laktīdus, iegūst amorfu materiālu ar stiklošanas līdzīgu puskrīstāliskajam ekvivalentam. D un L laktīdi ir optiski aktīvi, savukārt meso laktīdi tādi nav [89]. PLA ir ļoti jutīgs pret karstumu, īpaši ja temperatūra pārsniedz 190 °C. Karsējot PLA temperatūrā, kas pārsniedz 190 °C, ievērojami samazinās tā vidējā molekulārā masa.

Kopolimēru dažādās arhitektūras struktūras sintezē ar nolūku mainīt PLA īpašības. Izmainot PLA kopolimēra struktūru un atkārojamo vienību kompozīciju, ķēdes elastību, polāro grupu klātbūtni, molekulāro masu, kristalizāciju, un aizmugurējo ķēžu orientāciju kopolimēra fizikālās īpašības un bioloģiskā noārdīšanās ir kontrolējama. Vairāki uz pienskābes bāzes transplantāta kopolimēri ir gatavoti tā, lai tiem pārveidotu tādas īpašības, kā materiāla noārdīšanās spēju, stiklošanās un kušanas temperatūras, morfoloģiju, mehāniskās īpašības un šķīdību. PLA ar sazarotu struktūru piemīt atšķirīgas fizikālās, termiskās un mehāniskās īpašības nekā PLA ar lineāru struktūru [90].

PLA ražošanu galvenokārt ietekmē sekojoši 3 faktori [88]:

- 1) naftas produktu cenas – arvien pieaugošajām neatjaunīgo naftas izcelsmes produktu cenām ir ietekme uz tradicionālo polimēru ražošanas izmaksām;
- 2) likumdošana – ES un tās dalībvalstīs pieņemtās likumdošanas normas veicina biopolimēru lietošanu;
- 3) uzņēmuma korporatīvais tēls – vadošie ražotāji un tirgotāji, izmantojot biopolimērus kā alternatīvu savas produkcijas klāstā un realizācijā, veicina sava zīmola ilgtspējīgu attīstību sabiedrības apziņā.

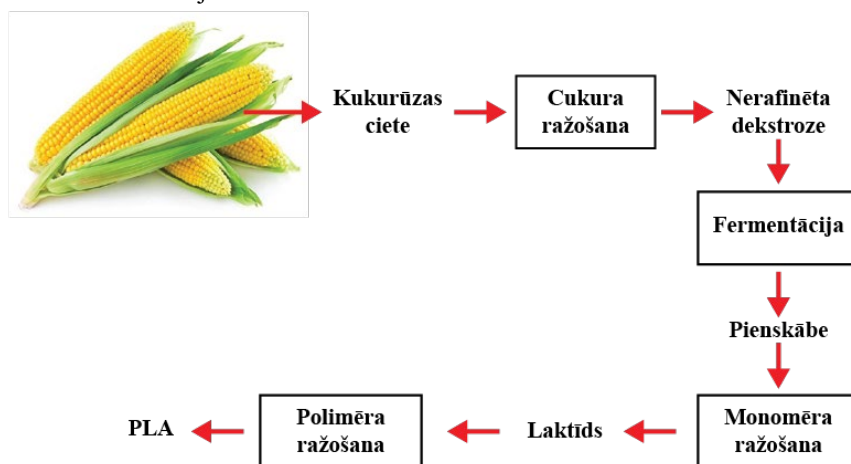


1.15. att. Produktu klāsts, kas iegūstams no pienskābes [89].

Plašais produktu klāsts, kas iegūstams no pienskābes, shematiski uzskaitīti 1.15. att.

PLA dzīves cikls mūsdienās galvenokārt saistāms ar kukurūzu. Cargill Dow ražotā PLA ieguve no kukurūzas shematiski parādīta 1.16. att. Saules enerģija veicina fotosintēzi augu šūnās, oglekļa dioksīds un ūdens no apkārtējās vides pārveidojas cietē. Šo cieti ekstrahē no augu vielas un fermentatīvajā hidrolīzē pārveido par fermentējamu cukuru [91]. Kukurūzas glikoze ir pašlaik lētākais un bagātākais cukura avots. Šis apstāklis izskaidro PLA ražošanā galvenokārt izmantoto kukurūzas cieti. Pēc kukurūzas novākšanas ražu transportē uz slapjajām dzirnavām, kurās kukurūzas cieti atdala no citām komponentēm (proteīniem, vaskiem, šķiedrām, cukuriem un ūdens). Glikozes fermentēšanas procesā no tajā esošajiem ķīmiskajiem elementiem veidojas

jauna viela – pienskābe. Līdz pienskābes iegūšanai fermentētā laktāta sāļi vairākkārt attīra. *Cargill Dow* izmanto atvērto ROP, kura procesā iegūst laktīda starpproduktu. ROP procesa pirmajā solī atdala ūdeni (mērenos apstākļos bez šķīdinātāja izmantošanas), iegūstot mazas molekulmasas pīrmpolimēru. To katalītiski depolimerizē, izveidojot cikliska dimēra starpproduktu laktīdu, kuru destilējot attīra līdz polimēra pakāpei. Attīrītais laktīds tiek polimerizēts šķīdinātāju nesaturošā gredzena atvēršanas polimerizācijā un pārstrādāts PLA granulās [89]. PLA plaši izmanto vienreiz lietojamu iepakojumu un trauku nozarē. PLA iepakojums un trauki pēc izlietošanas ir novietojami komposta kaudzē. Tur tie kopā ar citiem novietotajiem organiskajiem atkritumiem mitruma, temperatūras, augsnes pH un esošo baktēriju ietekmē, norosinās materiāla bioloģiskā sadalīšanās līdz CO₂, H₂O un mikrobiālā biomasā [92]. Šajā posmā PLA dzīves cikls noslēdzas, bet izmantojot iegūto biomasu PLA dzīves ciklu var sākt no jauna.



1.16. att. PLA ieguves shēma no kukurūzas [89].

2018. gada maijā PLA šķiedru cena variē ap 2,69 EUR/kg līdz 3,20 EUR/kg (3,20 USD/kg līdz 3,80 USD/kg [93]).

Polimēru matricas izvēle

Kompozīta matricas izvēles veikšanai starp dažādajiem polimēriem ņem vērā konkrētā polimēra īpašību atbilstību paredzētajai funkcijai, ekonomiskiem un vides faktoriem. Ilgtspējīgas vides politikas realizēšanā svarīga ir polimēra spēja bioloģiski noārdīties vai tā potenciāls pārstrādāt izstrādājuma ekspluatācijas beigās. Polimēriem, kas jau tiek izmantoti, piemēram, automašīnas salona tekstilmateriālus saturošu detaļu uzbūvē, ir priekšrocība attiecībā pret citiem polimēriem, jo ir vēsturiska pieredze to iestrādes tehnikā, piemēram, neaustajos materiālos.

1.5. tabulā salīdzinātas pēc pielietojuma funkcijas konkurējošu polimēru īpašības. No tabulā salīdzinātajiem polimēriem, tikai PLA iegūstams no atjaunīgiem resursiem un ir pilnībā bioloģiski noārdošs. Pārējos trīs polimērus (PP, cietais PVH un PET) iegūst no neatjaunīgajiem naftas izcelsmes produktiem. Visiem iepriekš minētajiem sintētiskajiem polimēriem piemīt

augsts pārstrādes potenciāls. Rūpnieciskā ražošanā arvien populārāki kļūst izstrādājumi no reciklēta PP un PET.

Starp salīdzinātajiem polimēriem, PLA ir visdārgākais un tā ekonomiskās izmaksas ir viens no galvenajiem plašākas izmantošanas bremsējošajiem faktoriem. Pēc blīvuma PLA ir tuvs cietajam PVH un PET. PLA starp visiem 4 polimēriem piemīt zemākā plaisas lūzuma izturība, savukārt daļiņu cietība pēc Vikersa cietības testa ir otrs augstākais rādītājs pēc PET. Vismazākais elastības modulis PET, viszemākā tecēšanas robeža sastopama PP.

PP ir populārs polimērs pēc izmantojuma autobūvē, tomēr tehnisko īpašību salīdzinājums uzrāda zemākas vērtības nekā PET, cietais PVH un PLA.

Polimērus raksturo ar temperatūru saistītas īpašības. Darba temperatūras plašāku amplitūdu un augstāko kušanas temperatūru demonstrē PET, savukārt mazāko amplitūdu PP. Visiem polimēriem, izņemot PLA, darba temperatūras amplitūda ietver arī temperatūras vērtības zem nulles, bet pozitīvo vērtību amplitūdā zemākās vērtības ir PP. Atšķirībā no pārējiem trim polimēriem, PP zem nulles vērtības ir arī stiklošanās temperatūra. PP starp pārējiem polimēriem izceļas ar daudz augstāku īpatnējo siltumietilpību. Siltumvadītspēja PLA svārstās līdzīgā amplitūdā ar PP, kuram, ar nedaudz augstākām, vērtībām seko cietais PVH. Visaugstākās cietības vērtības ir PET. Cietais PVH pie termiskās izplešanās demonstrē plašu amplitūdu, tā zemākā vērtība ir $1,8 \cdot 10^{-6}/K$. Salīdzinājumam pārējiem trim polimēriem zemākās vērtības ir amplitūdā no 115–126 $1,8 \cdot 10^{-6}/K$. PVH termiskās izplešanās augstākā vērtība $180 \cdot 10^{-6}/K$, kas sakrīt arī ar PP maks. amplitūdas vērtību, bet nedaudz zemāku demonstrē PET (līdz $170 \cdot 10^{-6}/K$). Termiskā izplešanās koeficienta viszemākā vērtība ir PLA $-126 \cdot 10^{-6}/K$ – $145 \cdot 10^{-6}/K$.

Salīdzinot ekoloģiskos rādītājus, polimēru ražošanai nepieciešamais enerģijas apjoms viszemākais ir PLA (52–54 J/(kg·K)), lielāks enerģijas apjoms nepieciešams PP un cietajam PVH. Vislielākais enerģijas daudzums nepieciešams PET (89–95 J/(kg·K)). Visiem četriem apskatītajiem polimēriem piemīt augsts pārstrādes potenciāls, kas norāda uz to reciklēšanas iespēju.

1.5. tabula

Polimēru fizikāli-mehāniskās un siltumfizikālās īpašības [94]

Īpašības / rādītāji	PET	PP	PVH	PLA
			cietais	PLLA
<u>Tehniskās īpašības</u>				
Blīvums (kg/m ³)	1190–1810	890–920	1300–1580	1210–1240
Elastības modulis (GPa)	1,6–4,4	2 [95]	2,14–4,14	3,45–3,8
Pagarinājums (%)	1,3–5	100–600	11,93–8	5–7
Plaisas (lūzuma) izturība (MPa/m ^{0,5})	1,05–9,16	3,00–4,5	1,46–5,12	0,7–1,1
Daļiņu cietība pēc Vikersa (H _v)	11–40	6–11	10–15	14–18
Tecēšanas robeža (MPa)	30–40	20,7–37,2	35,4–52,1	48–69
Stiepes izturība (MPa)	55 [95]	26 [95]	14–58 [95]	45 [96]
Darba temperatūra (°C)	–20–160	–40–37,2	–20–70	70–80
Kušanas punkts (T _{kus}) (°C)	267 [97]	160–165	210	160 [91]–180 [96]

Īpašības / rādītāji	PET	PP	PVH	PLA
			cietais	PLLA
Stiklošanās temperatūra (T_{st}) (°C)	67–81	–10 [98]	85	60–65 [90]
Īpatnējā siltumietilpība ($J/(kg \cdot K)$)	1160–1587	1870–1956	1355–1445	1180–1210
Siltumvadītspēja ($W/(m \cdot K)$)	0,28–0,58	0,11–0,17	0,15–0,29	0,12–0,15
Termiskā izplešanās ($10^{-6}/K$)	115–170	122–180	1,80–180	126–145
Ekoloģiskie rādītāji				
Enerģijas saturs (MJ/kg)	89–95	76–84	77–83	52–54
Pārstrādes potenciāls	Augsts	Augsts	Augsts	Augsts
Estētiskās īpašības				
No zems līdz augstam solim, 0 līdz 10	6–8	6–7	6–7	
No klusināta līdz zvanošam, 0 līdz 10	4–6	3–4	4–4	
No mīksta līdz cietam, 0 līdz 10	7–8	6–7	7–7	Puskristālisks [90]
No silts līdz aukstam, 0 līdz 10	4–5	4–4	4–5	
Caurspīdība	Caurspīdīgs līdz necaurspīdīgam	Caurspīdīgs līdz necaurspīdīgam	Caurspīdīgs līdz necaurspīdīgam	Caurspīdīgs
Spīdība (%)		20–94		
Funkcijas attiecībā pret citiem polimēriem				
Korozijizturība	+ (pievienojot piedevas)	+	+	
Amortizācija		+	+	
Apstiprinājums no Amerikas pārtikas un zāļu administrācijas (<i>U.S. Food and Drug Administration</i>)	+	+	+	+
Ugunsizturīgs	+		+	
Svars		Viegls	Smags	
Triecienizturība		+	-	
Elastīgums	+	+	+	
Stings			+	+
Izturīgums	+		-	
Izturība pret UV starojumu	+ (pievienojot piedevas)	-	+	
Gludums		+		

Visu četru polimēru estētiskās īpašības novērtējamas kā līdzīgas, bet atšķirības novērojamas pie to funkcionālā novērtējuma. Salīdzinot ar citiem polimēriem, PET priekšrocība ir korozijizturība (ja pievieno piedevas), ugunsizturība, elastīgums, stiprība, izturīgums un pievienojot piedevas arī izturība pret UV starojumu. Līdzīgas priekšrocības ir arī PVH – papildus minama laba amortizācija un stingums. Arī PP pie priekšrocībām pieskaitāma

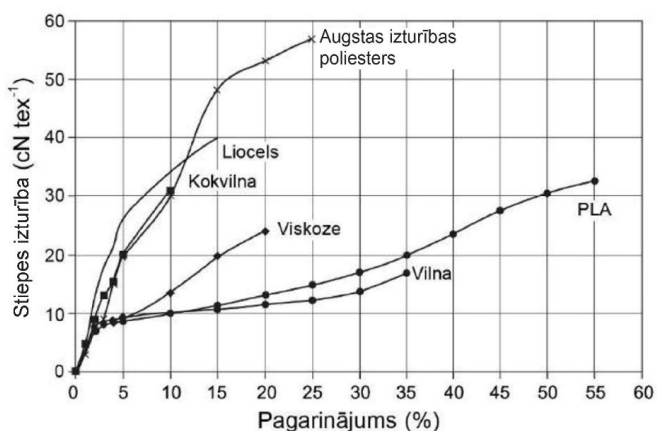
korozijizturība un elastīgums. Līdzīgi kā PVH, arī PP piemīt laba amortizācija, bet atšķirībā no citiem polimēriem tas izceļas ar labu triecienizturību. PLA kā priekšrocība izceļams stingums.

PLA šķiedrām vairākas īpašības ir līdzīgas kā citiem iepriekš apskatītajiem polimēriem. PLA mehāniskās īpašības ir līdzīgas PET īpašībām. Zemās kušanas un mikstināšanas temperatūras dēļ PLA salīdzināms ar PP [91].

PLA šķiedrai ir apļveida šķērsriezuma forma ar gludu virsmu.

Refrakcijas indekss 1,35–1,45.

Istabas temperatūrā PLA ir ciets, bet tā īpašības ir maināmas, mainot D un L izomēru proporciju un sadalījumu polimēra ķēdē. Kušanas temperatūras amplitūda arī ievērojami palielinās: no minim. 130 °C līdz maks. 220 °C. PLA pavediena kušanas temperatūra ir 170 °C, kas uzskatāma par relatīvi zemu temperatūru tekstilizstrādājumiem. Temperatūra rada ierobežojumus apstrādes tehnoloģijas procesā un apkopes laikā. PLA apgērba gludināšana veicama pie zemāka temperatūras režīma salīdzinājumā ar tādām populārām apgērbos un mājas tekstilā izmantotām šķiedrām kā kokvilna un PET šķiedras.



1.17. att. PLA un citu tekstilšķiedru stiepes izturības līknes (pie temperatūras 20 °C un relatīvā gaisa mituma 65 %) [91].

PLA izturība ir 32–36 cN/tex un tā ir augstāka nekā dabiskām šķiedrām, skatīt 1.17. att. Šajā pašā attēlā demonstrēta PLA izturības līkne, kas atspoguļo pagarinājuma atkarību no izturības. PLA izturību neietekmē mitruma izmaiņas, apkārtēja temperatūra. Salīdzinājumā ar citām rūpnieciski ražotām šķiedrām pagarinājums ir mazs, bet izmērāms. Paaugstinoties temperatūrai, novērojama diezgan ātra PLA stiepes izturības samazināšanās. PLA izturības pazemināšanās noris vienlaicīgi ar šķiedru izstiepšanos, kāda ir raksturīga sintētiskām šķiedrām.

PLA stiepes īpašības ļoti atšķiras no augstas izturības PET. PLA stiepes sākotnējais modulis pie 2 % pagarinājuma ir ļoti līdzīgs citām tekstila šķiedrām. Sprieguma tecēšanas punkts ir ļoti izteikts – tāpēc tā šķiedras stiepjās viegli. Sākotnējo izmēru atjaunošanas spēja pēc slodzes noņemšanas ir atkarīga no tā, vai ir pārsniegta elastības robeža. Materiāla spēja atjaunot sākotnējos izmērus ir laba pie zemām slodzēm. Pie 2 % slodzes PLA atgūst 99,2 %±0,75 %, pie 5 % slodzes atgūst 92,6 %±1,6 % un tā ir augstāka spēja salīdzinājumā ar vairumu citu šķiedru.

Uzliesmojamība. PLA šķiedrām piemīt labas pašdzēšanās īpašības, šķiedra turpina degt 2 min. pēc liesmas noņemšanas. Šķiedra deg ar baltiem dūmiem, degšanas laikā izdalošais dūmu laukums uz masas vienību mazs – 63 m²/kg (PET 394 m²/kg). Salīdzinājumā ar citām šķiedrām kā neapstrādātās PET šķiedras, kokvilna, viskoze un akrils, PLA ir lielāks skābekļa indekss (26 %, salīdzinājumam PET 22 %). PLA skābekļa indekss ir ekvivalents dabīgām olbaltumvielās šķiedrām, piemēram, vilnai. Lielāks skābekļa indekss raksturo grūtāku šķiedru aizdedzināšanu, jo degšanas procesam nepieciešams lielāks skābekļa līmenis. Audumiem, kas izgatavoti no neapstrādātām PLA šķiedrām, degšanas laiks ir īsāks par kokvilnas un PET degšanas laiku.

PLA šķiedras neabsorbē gaismu redzamās gaismas spektrā, šī īpašība nodrošina ļoti zemu stiprības zudumu, ja šķiedras pakļauj ultravioleto staru iedarbībai.

PLA demonstrē ļoti labu kapilārās uzsūkšanās spēju. Tās rezultātā iespējama strauja ūdens izkļiedšana un tai sekojoša ātra žāvēšana, kas nodrošina PLA šķiedru ūdens sorbcijas spēju un ir viena no to raksturīgākajām īpašībām. Laba kapilārās uzsūkšanās spēja īpaši nepieciešama tekstilmateriāliem, kuriem ir saskare ar miesu, sevišķi sporta apģērbim.

PLA šķiedrām bez īpašas pēcapstrādes nepiemīt pretmikrobu iedarbība, tomēr šīs šķiedras arī nav mikrobu barības avots.

PLA kā lineāri alifātiskai struktūras šķiedrai ir relatīvi zema izturība pret hidrolīzi. Polimēra noārdīšanās hidrolīzes procesā var notikt kombinētos apstākļos: sārnu ietekmē pie augstas temperatūras. Šis process var izraisīt polimēra molekulamasas samazināšanos, kā rezultātā mazinās PLA pavedienu izturība. Hidrolīzes pakāpi ietekmē laiks, temperatūra un pH, kas jāņem vērā šķiedru krāsošanas un pēcapstrādes procesos.

PLA ir ierobežota šķīdība, to neietekmē sausās tīrīšanas šķīdinātāji. Līdzīgi kā no poliestera, arī no PLA var izgatavot gan pavedienus, gan dziju.

Salīdzinot ar dabiskajām augu šķiedrām, PLA ir augstāka elastība, kas apvienojumā ar zemu blīvumu piešķir tekstilizstrādājumiem vieglumu un gaisīguma sajūtu. Šīs īpašības izmanto apģērba polsterējumā un siltinājuma kārtās, piemēram, slēpošanas apģērbā.

Fizikālās īpašības pētījumi [92] apstiprina PLA šķiedru kā tekstilšķiedras komerciālo potenciālu. Arī PLA ekoloģiskās un estētiskās īpašības neatpaliek un ir konkurēt spējīgas ar citiem, līdz šim izmantotiem polimēriem.

Secinājumi

Bioloģiski noārdošu polimēru izgatavošanai ir daudz dažādu avotu. Biopolimēri, atkarībā no polimēru sintezēšanas procesa, iedalāmi divās lielās grupās: dabiskajos un cilvēku izgatavotajos (mākslīgajos) biopolimēros. Polimēra bioloģisko noārdīšanos nosaka tā ķīmiskais sastāvs.

Reciklēts PP ir ekonomiska un apkārtējai videi draudzīgāka alternatīva, salīdzinājumā ar automašīnas salona materiālu uzbūvē bieži izmantoto un no neatjaunīgajiem resursiem iegūto pirmējo PP polimēru.

Pie bioloģiski noārdošā polimēra PLA lietošanas veicinošiem faktoriem var minēt kompostēšanu, ekoloģiskās, tehniskās un estētiskās īpašības. PLA izmantošanu kavē polimēra samērā dārgās ražošanas izmaksas.

Pirmās nodaļas kopsavilkums

Literatūras apskata veidošanā galvenā problemātika bija auto industrijā nepieciešamo datu par tehniskajām prasībām iegūšana, jo katram uzņēmumam ir tiesības savus iekšējos standartus pieņemt par komercinformāciju.

Auto industriju Eiropā regulē ES un EP regulas un direktīvas. Eiropas Zaļā kursa attīstība nosaka stratēģiju, kas vērsta uz modernu ES pārveidi resursu efektivitātes un konkurētspējīgas ekonomikas ziņā, īpašu uzsvaru liekot uz holistisku pieeju klimata un vides izaicinājumiem. Piemēram, EP direktīva *2009/28/EC* nosaka jauno automašīnu veidojošo komponentu pārstrādāšanas un atkārtotas lietošanas procentuālo īpatsvaru. Savukārt ES regula *540/2014* regulē automašīnas trokšņa līmeni. Automašīnas kopējās masas samazinājums ļauj ietaupīt degvielas vai elektroenerģijas patēriņu. Ar fosilo degvielu darbināmiem auto, samazināts degvielas patēriņš samazina arī CO₂ emisiju, cieta daļiņu u.c. emisiju apjomu.

Lai sasniegtu iepriekš minētās regulu diktētās prasības, nepieciešams aizstāt līdz šim auto industrijā lietotās izejvielas ar dabai draudzīgākas izcelsmes izejvielām. Nepieciešams mazināt izmešu daudzumu, uzlabot ekonomiskos rādītājus. Piemēram, par aizstājamo izejvielām izvēloties augu šķiedras, kuras iegūtas Latvijā, iespējams risināt iepriekš pieminētos vides un ekonomiskos jautājumus. Nepieciešams radīt daudzpusēji izmantojamus materiālus, kā piemēram, akustiskus neaustos materiālus, uz kuru bāzes var izgatavot kompozītus. No dabai draudzīgām izejvielām izgatavotus akustiskus neaustos materiālus un kompozītus varētu izmantot auto salona detaļu izgatavošanai un uzbūvē.

2. Metodiskā daļa

Darba ietvaros izveidoti divu kompozīciju NM un kompozīti veidoti no celulozi saturošām augu un PLA šķiedrām. Abām materiālu kompozīcijām viena parauga ietvaros izmantots vienāds kopējais šķiedras daudzums pēc masas, saglabājot šķiedru proporciju 40 mas. % kaņepāju vai linu šķiedras un 60 mas. % PLA šķiedras. Izgatavotie NM marķēti ar *Hemp_nw* kaņepju un PLA šķiedras saturošajam NM, *Flax_nw* – linu un PLA šķiedras saturošajam NM. Pēc analogijas marķēti izgatavotie kompozīti: *Hemp_comp* kaņepju un PLA šķiedras saturošajam kompozītam, *Flax_comp* linu un PLA šķiedras saturošajam kompozītam. Marķējumiem pievienotie skaitļi apzīmē parauga numerāciju.

2.1. Neausto materiālu izgatavošanas tehnoloģija

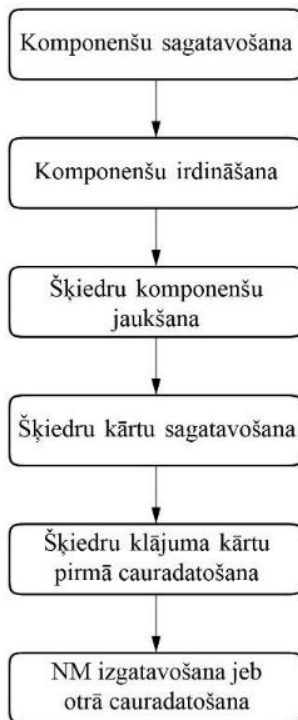
Pētījumā izstrādātā NM papildus lietojums ir tā pārveide kompozītā. Šīs papildfunkcijas nodrošināšana ir ietekmējusi NM uzbūves struktūru. Kompozītā, kuru kā šajā gadījumā veido augu šķiedras un polimēra matrica, katra sastāvdaļa pilda savu lomu. Augu šķiedras veido materiāla karkasu un uzņem lielāko pieliktās slodzes daļu, bet polimēra matrica saista kopā materiālu, balsta šķiedras un sadala slodzi starp kompozīta slāņiem. Dabas šķiedru saturošu kompozītu izturība un stingums galvenokārt ir atkarīgs no kompozīta trausluma, materiāla formas, šķiedru klājuma kārtu struktūras un virziena kādā šķiedras orientētas materiālā, materiālu veidojošo šķiedru tilpuma attiecības pret matricas un šķiedru kopējo tilpumu, spējas uzsūkt mitrumu pie paaugstinātām temperatūrām, virsmas nelīdzenumiem, tai skaitā iegriezumiem. Šķiedras saturošos kompozītu lūzumos parasti pirmais salūzt matricas materiāls, pēc tam, nespējot uzņemt palielināto slodzi, salūzt arī šķiedras. Salīdzinājumā ar matricu, šķiedrām lielāka izturība ir stiepē nevis spiedē. Matricai relatīvais pagarinājums ir lielāks par attiecīgo šķiedru rādītāju, šķiedras uzņem lielāko pieliktās slodzes daļu. Ja šķiedru lūzumus izsauc normālie spriegumi, tad matricas lūzumus izsauc spriegumu kombinācijas, kas nav paralēlas šķiedrām.

Kompozīta iegūšana paredz abu kompozīciju NM veidošanu no vairākām šķiedru klājuma kārtām, kas materiāla izgatavošanas laikā pakāpeniski apvienotas daudzslāņu struktūrās. NM izgatavošanā vērā ņemta šķiedru sastiprināšanās procesā iegūstamo materiālu atšķirīgās mehāniskās īpašības atkarībā no materiāla iegūšanas darba virziena. Atkārtotos šķiedru klājuma kārtu apstrādes procesos un šķiedru klājuma kārtas sakārtotas tā, lai mainītu mašīnas adatu apstrādes virziena maiņu. Daudzslāņu struktūras kompozītu izgatavošanā ievērota rekomendācija izvairīties no pāra skaita šķiedru klājuma kārtām, jo sloģojuma ietekmē pāra kārtu izmantošana var veicināt kompozītu atslāņošanas materiāla kārtu vidū. Līdz ar to izvēlēts sākotnējais nepāra kārtu skaits pieci un trīs šķiedru klājuma kārtas noslēguma salikumā.

Darba ietvaros veidoto NM šķiedru klājuma kārtas izvietotas simetriski attiecībā pret vidus kārtu, kas satur visā tilpumā vienmērīgi kopā sajauktas kaņepāju vai linu šķiedras (atkarībā no izgatavojamās NM kompozīcijas) ar PLA šķiedrām. Izgatavojamā NM abas ārējās šķiedru klājuma kārtas plānotas no PLA šķiedrām. Ar termopresēšanas metodi NM pārveidojot kompozītā, izkusušās polimēra šķiedras veido materiāla pārklājumu un aizsargkārtu.

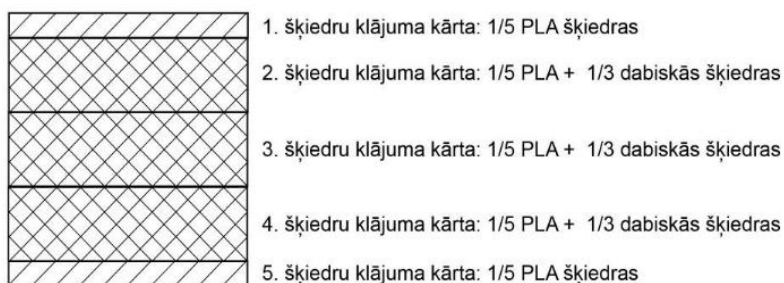
Neausto materiālu ieguve

NM izgatavošanas process ietver tādu vairāku darba operāciju kopumu, kā šķiedru sagatavošanu darbam (irdināšana), šķiedru sajaukšanu, šķiedru klājuma kārtu izgatavošanu (5 kārtas), šķiedru klājuma kārtu fiksēšanu pret izjukšanu cauradatojot un ar atkārtotu cauradatošanu visu šķiedru klājuma kārtu apvienošana vienā NM. NM izgatavošanas process secīgā izgatavošanas kārtā atspoguļots 2.1. att. shēmā.



2.1. att. NM izgatavošanas procesu shēma.

Abu kompozīciju *Hemp_nw* un *Flax_nw* NM veidota daudzslāņu jeb t.s. sendviča tipa struktūra (2.2. att.), kuru veido piecas šķiedru klājuma kārtas.



2.2. att. NM daudzslāņu struktūra.

Dabisko šķiedru un polimēra šķiedru attiecība NM kārtās izvēlēta, balstoties uz Āhenes *Reinas-Vestfāles* Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūta (*ITA*) iepriekšējo

pieredzi dabisko šķiedru stiprinātu kompozītu izgatavošanas pētījumos [99] un, ņemot vērā citu pētnieku pieredzi, augu šķiedru un polimēru kompozītu izgatavošanā. *Hargitai* ir izpētījis, ka kaņepāju un PP šķiedru maisījuma kompozītos optimālākās mehāniskās īpašības sasniegtas ar augu šķiedru proporciju 40–50 % pēc masas [100]. Promocijas darbā gatavā NM izgatavošanā izmantotā proporcija: 40 mas. % linu vai kaņepāju šķiedras un 60 mas. % PLA šķiedras. Šķiedru aprēķins abu kompozīciju materiālu izgatavošanai veikts saskaņā ar vienādojumiem 2.1. un 2.2.

$$\frac{Masa_{PLA}}{Masa_{Kaņepāji}} = \frac{\rho_{PLA}}{\rho_{Kaņepāji}} \times \frac{V_{PLA}}{V_{Kaņepāji}} \rightarrow \frac{1,27_{PLA}}{1_{Kaņepāji}}, \quad (2.1)$$

$$\frac{Masa_{PLA}}{Masa_{Lini}} = \frac{\rho_{PLA}}{\rho_{Lini}} \times \frac{V_{PLA}}{V_{Lini}} \rightarrow \frac{1,34_{PLA}}{1_{Lini}}, \quad (2.2)$$

kur

$Masa_{PLA}$ – aprēķināmā PLA masa, g;

$Masa_{Kaņepāji}$ – aprēķināmā Kaņepāju šķiedru masa, g;

$Masa_{Lini}$ – aprēķināmā Linu šķiedru masa, g;

ρ_{PLA} – PLA blīvums, kg/m³;

$\rho_{Kaņepāji}$ – Kaņepāju šķiedru blīvums, kg/m³;

ρ_{Lini} – Linu šķiedru blīvums, kg/m³;

V_{PLA} – PLA apjoms, 60 mas. %;

$V_{Kaņepāji}$ – Kaņepāju šķiedru apjoms, 40 mas. %;

V_{Lini} – Linu šķiedru apjoms, 40 mas. %.

Lai iegūtie abu kompozīciju paraugi būtu savstarpēji salīdzināmi, viena NM parauga izgatavošanai kopējā šķiedru masa pieņemta vienāda un ir 771 g, skatīt (2.1. tabula).

2.1. tabula

Šķiedru proporcija parauga izgatavošanai

Paraugs	Šķiedras	Šķiedru masa (g)	Parauga kopējā šķiedru masa (g)
<i>Hemp_nw</i>	Kaņepāji	339	771
	PLA	432	
<i>Flax_nw</i>	Lini	330	771
	PLA	441	

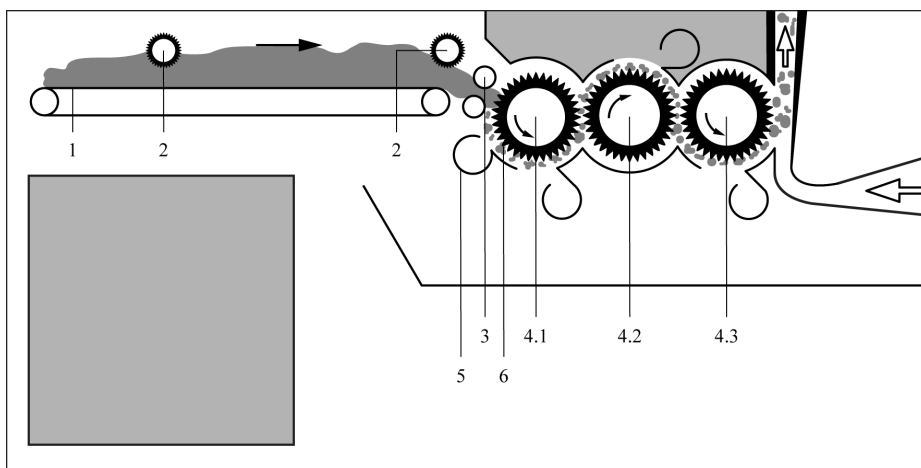
Kaņepju kompozīcijas paraugu izgatavošanā izmantotās kaņepāju šķiedras piegādātas no vācu uzņēmuma *BaFa Badische Naturfaseraufbereitung GmbH*, kas nodarbojas ar kaņepāju šķiedru audzēšanu un pārstrādi. Paraugu izgatavošanā izmantotās kaņepāju šķiedras uzņēmumā klasificētas kā tehniskās šķiedras ar produkta nosaukumu *Vliesfähige Faser VF6*. Saskaņā ar uzņēmuma sniegto informāciju, pētījumā izmantoto šķiedru vidējais garums variē 50–80 mm, mitruma saturs piegādes brīdī ir līdz 12 %, bez minerāliem un metāla piemaisījumiem, bet spaļu piemaisījums ir mazāks par 6 %. Piegādātās kaņepāju šķiedras ķīmiskais sastāvs: celuloze 60–72 %, hemiceluloze 11–19 % un lignīns 2,3–4,7 % [101].

Linu kompozīcijas paraugos izmantoto linu šķiedru laboratoriski noteiktie ģeometriskie parametri: šķiedru smalkums ir 3,87 dtex, vidējais garums – 139,23 mm.

Abu kompozīciju izgatavošanā izmantotas $7,22 \pm 0,55$ den smalkas un 64 ± 4 mm garas PLA šķiedras (šķiedru tips *SLN 2660D*, kas piegādātas no uzņēmuma *Ingeo*).

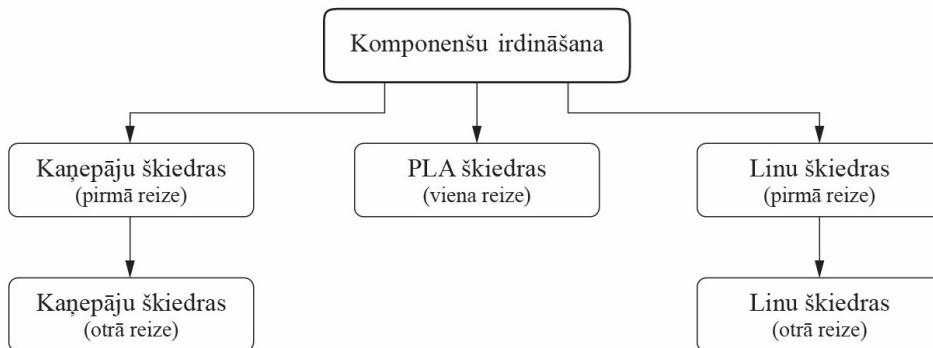
Šķiedru irdināšana

Visu darba ietvaros izmantoto šķiedru irdināšana veikta uz *ITA* laboratorijā esošās *TRÜTZSCHLER CVT3 1200* šķiedru irdināšanas, jaukšanas mašīnas ar trim paralēli izkārtotiem darba veltņiem (2.3. att.). Irdināšanas skaits piemērots atkarībā no šķiedru veida un ir atšķirīgs: linu un kaņepāju šķiedrām 2 reizes, PLA – vienu reizi (2.4. att.). Irdināšanas reižu skaitu ietekmēja šķiedru spēja atdalīties vienai no otras. Ar katru irdināmo šķiedru atkārtotu ievietošanas reizi iekārtā, šķiedras tiek vairāk atdalītas. Tehniskās kaņepāju šķiedras irdināšanas laikā papildus attīrītas no vēl pilnībā neattīrītajiem spaljiem.



2.3. att. TRÜTZSCHLER CVT3 1200 šķiedru irdināšanas, jaukšanas iekārtas darbības princips [102].

Iekārtas tehnisko īpatnību dēļ, irdināšanas procesā šķiedras izkārtojamas uz padeves siksas centrālās ass, aptuveni 10 cm platā joslā.



2.4. att. Šķiedru irdināšanas procesu shēma.

Šķiedru sajaukšana un šķiedru klājuma izveide ar zemspiediena iekļāšanas (*airlaid*) metodi

Abu kompozīciju paraugu vidējās šķiedru klājuma kārtas veidotas no divu veidu šķiedru maisījuma. Šajās kārtās šķiedru maisījums sajaukts un šķiedru klājums veidots šķiedru irdināšanas, jaukšanas mašīnai *TRÜTZSCHLER CVT3 1200* klāt pievienotajā vertikālajā vakuuma tunelī, kas nodrošina šķiedru atdalīšanos vienai no otras un vienmērīgu izkārtošanos dažādos, nejaušos virzienos. Ar katru atkārtotu sajaukamo šķiedru maisījumu ievietošanu iekārtā, šķiedras vienmērīgāk sajaucas. Šī iekārta izmantota kaņepāju un PLA šķiedru vienmērīgai sajaukšanai kaņepāji-PLA šķiedru klājumiem un linu un PLA šķiedru vienmērīgai sajaukšanai lini-PLA šķiedru klājumiem. *Hemp_nw* un *Flax_nw* NM šķiedru masas sadalījums pēc to veidojošajām kārtām parādīts 2.2. un 2.3. tabulās.

Pēc līdzības ar šķiedru irdināšanu, arī šķiedru maisījuma jaukšanas procesā, šķiedras izkārtojamas uz padeves siksnas centrālās ass, aptuveni 10 cm platā joslā. Kvalitatīvākai divu veidu šķiedru sajaukšanai, šķiedras uz padeves siksnas novietojamas pamīšus: 1 doza dabisko šķiedru, 1 doza PLA šķiedru, 1 doza dabisko šķiedru utt. (2.5. att., a – Lini-PLA šķiedru jaukšanas pirmā reize). Otrajā šķiedru sajaukšanas reizē vai/un šķiedru klājuma kārtas izgatavošanā iepriekš sajauktais šķiedru maisījums uz padeves siksnas izkārtojas vienmērīgi (2.5. att., b).



a)



b)

2.5. att. Uz irdināšanas iekārtas padeves siksas izkārtotas lina (gaiši brūnā krāsā) un PLA šķiedras (baltā krāsā).

2.2. tabula

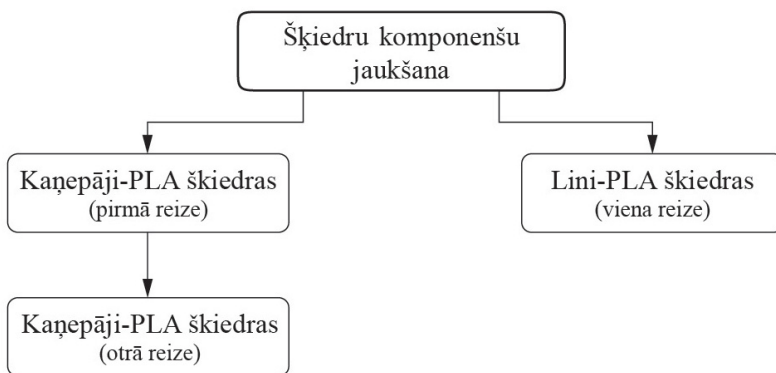
Šķiedru masas sadalījums pa slāņiem *Hemp_nw* NM viena parauga izgatavošanai

Nr.	Šķiedru klājuma kārtā	Šķiedras veids		Kopā (g)
		Kaņepāju šķ. (g)	PLA šķ. (g)	
1.	PLA		87	87
2.	Kaņepāji-PLA	113	86	199
3.	Kaņepāji-PLA	113	86	199
4.	Kaņepāji-PLA	113	86	199
5.	PLA		87	87
Kopā (g):				771

2.3. tabula

Šķiedru masas sadalījums pa slāņiem *Flax_nw* NM viena parauga izgatavošanai

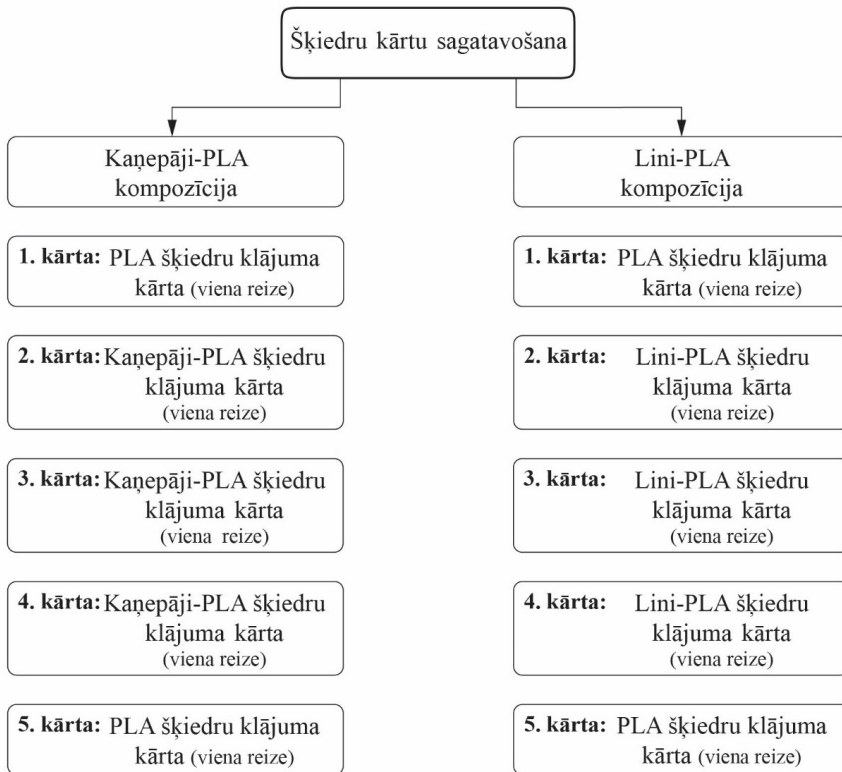
Nr.	Šķiedru klājuma kārtā	Šķiedras veids		Kopā (g)
		Lini šķ. (g)	PLA šķ. (g)	
1.	PLA		88,5	88,5
2.	Lini-PLA	110	88	198
3.	Lini-PLA	110	88	198
4.	Lini-PLA	110	88	198
5.	PLA		88,5	88,5
Kopā (g):				771



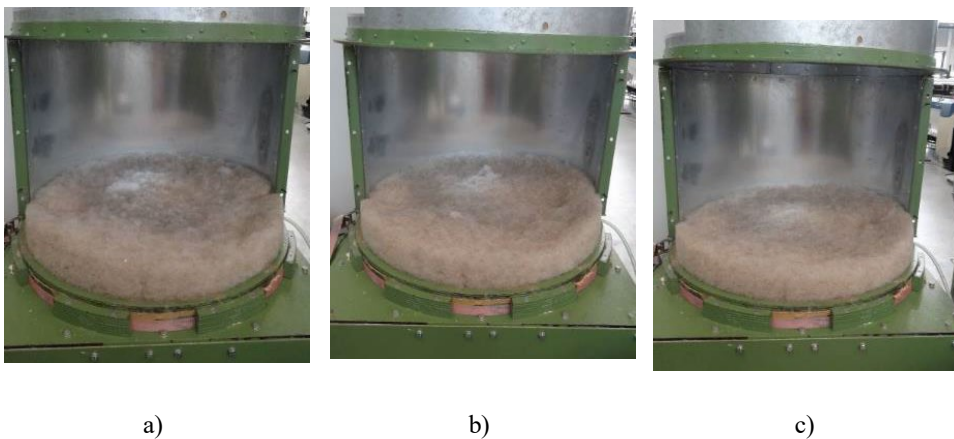
2.6. att. Šķiedru jaukšanas procesa shēma.

Klājumu veidojošo šķiedru sastāvs un sajaucamo šķiedru smalkums ietekmē nepieciešamo apstrādes reižu skaitu mašīnā (2.6. att.) jauktā šķiedru maisījuma pietiekamai sajaukšanai. Pēc šķiedru irdināšanas un jaukto maisījumu iegūšanas, katrai šķiedru klājuma kārtai paredzētais šķiedru apjoms vēl pēdējo reizi tiek ievietots iekārtā, gatavās šķiedru klājuma kārtas iegūšanai. Visu šķiedru klājuma kārtu iegūšanu veic vienā piegājienā (2.7. att.). Tīro PLA šķiedru klājuma kārtu iegūšanai, irdinātās PLA šķiedras mašīnā ievieto vienu reizi. Kaņepāji-PLA šķiedru maisījuma klājuma kārtas iegūšanai, šķiedru maisījums iekārtā tiek ievietots pavisam trīs reizes. Pirmās divas reizes maisījumu ievieto šķiedru vienmērīgai sajaukšanai un trešajā reizē no vertikālā vakuuma tuneļa izņemama gatava šķiedru klājuma kārtā. Lini-PLA šķiedru maisījuma klājuma kārtas iegūšanai šķiedras sajauktas vienu reizi un gatavā šķiedru klājuma kārtā iegūta pēc maisījuma otrajā ievietošanas reizes iekārtā.

Abu kompozīciju paraugu izgatavošanai nepieciešamais šķiedru apjoms sadalījumā pa šķiedru klājuma kārtām atspoguļots 2.2. un 2.3. tabulās.



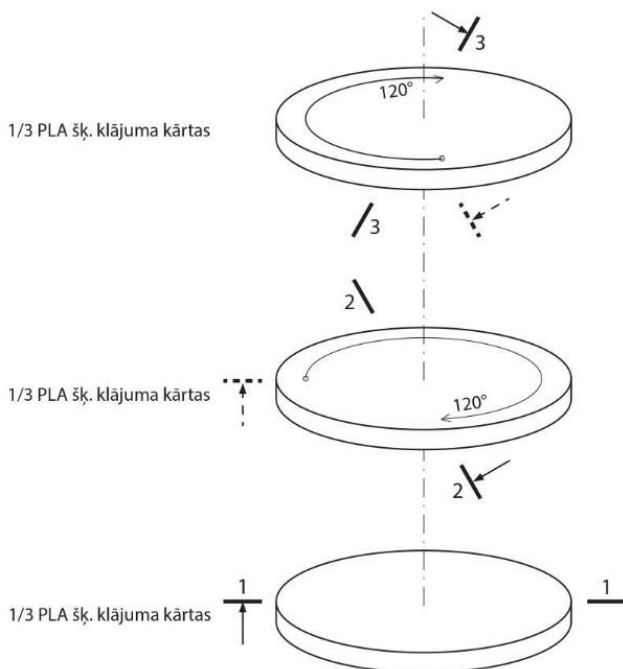
2.7. att. Šķiedru klājuma kārtu sagatavošanas shēma.



2.8. att. Kaņepāji-PLA šķiedru klājuma kārtas veidošana: a) pēc kaņepāju un PLA šķiedru sajaukšanas; b) kaņepāji-PLA šķiedru maisījuma atkārtota sajaukšana; c) kaņepāji-PLA šķiedru klājuma kārtas ieguve.

No vertikālā vakuuma tuneļa izņemtos apļveida formas ($\varnothing = 70\text{--}75\text{ cm}$) šķiedru klājuma kārtas nosver, bet iegūtos rezultātus ieraksta protokolā. 2.8. attēlā redzama kaņepāji-PLA

šķiedru klājuma kārtā pēc trim darbības soļiem: divām šķiedru sajaukšanas reizēm un vienas klājuma kārtas izgatavošanas.



2.9. att. Trīs PLA šķiedru klājuma kārtu savietošana.

Izgatavojot šķiedru klājuma kārtas, respektēta zemspiediena ieklāšanas iekārtas nepilnība – vienas zonas nenoklāšanu ar šķiedrām, kas sevišķi pamanāms šķiedru klājuma kārtās, kuras izgatavotas no maza šķiedru apjoma. Darba ietvaros vismazākais šķiedru apjoms nepieciešams PLA klājuma kārtu izgatavošanai. Lai rezultātā iegūstamajā klājuma kārtā šķiedras būtu klājušās pēc iespējas vienmērīgāk, vienai kārtai paredzētais šķiedru apjoms sadalīts trīs vienādās devās. Katra šķiedru deva ievietota zemspiediena šķiedru ieklāšanas iekārtā un rezultātā iegūstama klājuma kārtā, kas pēc biezuma ir $\frac{1}{3}$ no sākotnēji paredzētās PLA šķiedru klājuma kārtas. Galīgo PLA šķiedru klājuma kārtu iegūst, savstarpēji vienu virs otras savietojot iepriekš iegūtās visas trīs šķiedru klājuma kārtas. Savietojot kārtas vienu virs otras, katrā nākamā kārtā pret iepriekšējo sagriežama 120° leņķī (2.9. att.).

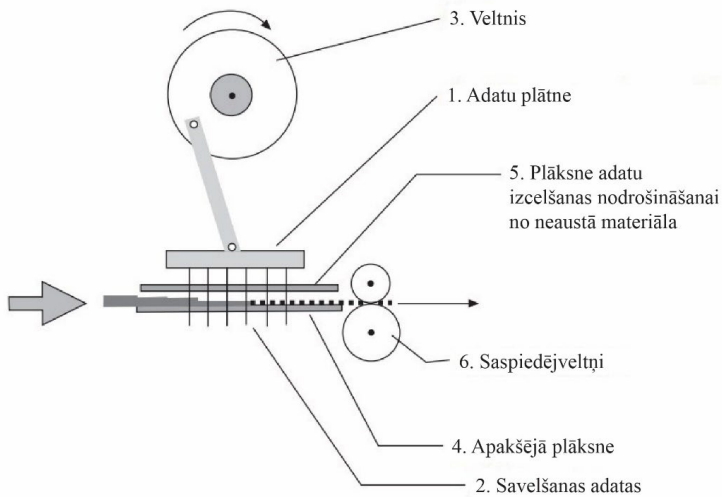
Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana

Lai nodrošinātu sagatavotās šķiedru kārtas pret nejaušu un neapzinātu izjukšanu, tās nofiksē, sagatavojot klājuma struktūru tālākai NM iegūšanai. Kā fiksācijas līdzeklis izmantota mehāniskā cauradatošanas metode. Šķiedru klājuma kārtu fiksācijai cauradatošana veikta vienu reizi un turpmāk darba procesā pieņemta un nosaukta par šķiedru klājuma kārtu pirmo cauradatošanas reizi. Mehāniskā cauradatošana izpildāma šķiedrām esot sausām. Tas padara metodi ekoloģiski draudzīgāku salīdzinājumā ar šķiedru savelšanu ar ūdens strūklām, jo nav nepieciešamība parūpēties par ražošanas procesā izmantotā ūdens attīrīšanu.

Šķiedru klājuma kārtu cauradatošana veikta uz *ITA* laboratorijā esošās *DILO LBM 6* cauradatošanas mašīnas (2.10. att.).



2.10. att. Laboratorijas cauradatošanas iekārta ar vienu vertikālas darbības adatu galda dēli *DILLO LBM 6* [103].

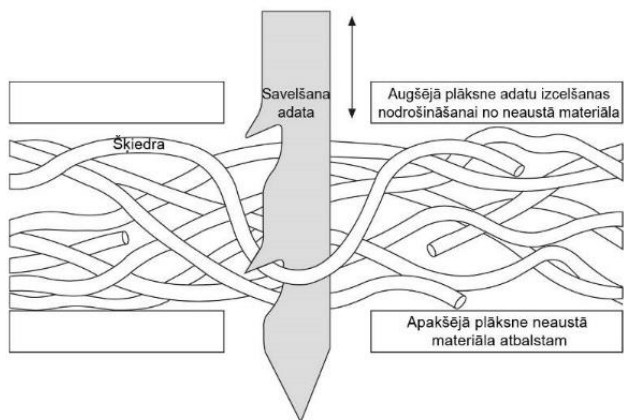


2.11. att. Vienkāršas cauradatošanas iekārtas darbības princips [104].

2.11. att. paskaidro cauradatošanas iekārtas elementu lomu darba procesā. Cauradatošanai sagatavotās šķiedru klājuma kārtas padod uz cauradatošanas darba zonu (platums ir 600 mm). Cauradatošanas plātnē (2.11. att., 1) iestrādātas atskabargainas savelšanas adatas (2000–3000 adatas/m) (2.11. att., 2). Adatu plātne piestiprināta pie augšējā veltņa (2.11. att., 3), tam rotējot, adatu plātne caurdur šķiedru klājumu ar ātrumu 3000 dūrieni/min [105]. Cauradatojamais NM pārvietojas starp divām horizontālām plātnēm: apakšējā plātne (2.11. att., 4) atbalsta cauradotojamo materiālu, augšējā caurumotā plātne (2.11. att., 5) nodrošina adatu

izcelšanu no cauradatojamā materiāla. Gatavo cauradato NM sablīvē divi saspiedējveltni (2.11. att., 6).

Abu kompozīciju NM šķiedru klājuma kārtu fiksēšanai iekārtas vadības panelī darba režīmā iestatīts 55 mm.



2.12. att. Savelšanas adatas darbības princips cauradatojot [104].



2.13. att. *GROZ-BECKERT* cauradatošanas adata.

Cauradatošanas procesā savelšanas adatas caurdur visas šķiedru klājuma kārtas. Adatu plātnei pārvietojoties aiz adatas dzelkšņiem, aizķeras tai ceļā esošās šķiedras, cauršujot vertikāli starp plāksnēm esošo klājumu (2.12. att.). Adatu izvēli nosaka cauradatojamā šķiedru klājuma blīvums, šķiedru veids un šķiedru raupjums. Nepiemērotu adatu izvēles rezultātā adatas cauradatošanas procesā var lūzt, nenodrošinot pilnvērtīgu šķiedru sasaisti NM. Tāpat lūstošo adatu lidošanas virziens nav prognozējams un var apdraudēt iekārtai tuvumā esošos darbiniekus. Nolauztie adatu dzelkšņi, kas ir velšanas adatas galvenā darba daļa, var ieķerties NM struktūrā un tur palikt. Pētījumā cauradatošanai izmantotas speciāli līnām paredzētās, uzņēmumā *GROZ-BECKERT* ražotās adatas *15X18X25X3 1/2 R333 G 3007* (skatīt 2.13. att.).



2.14. att. *GROZ-BECKERT* adatas sakārtotas adatu plātnē.

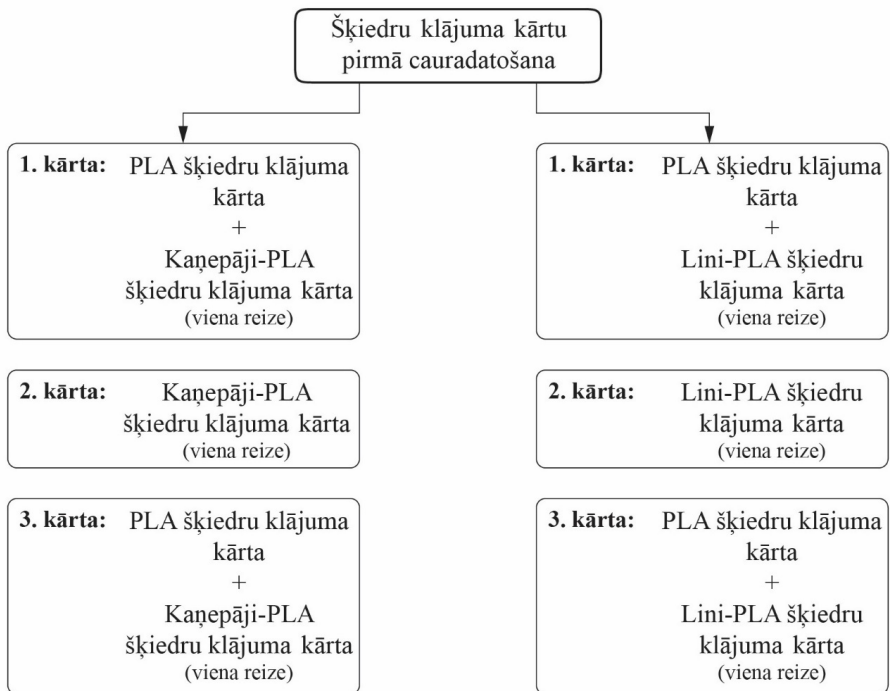
Adatas izkārtotas plātnē (2.14. att.) ar adatu blīvumu 4 adatas uz cm². Iekārtas regulējumā manuāli norādīts adatu garums: 3 ½"; metāla plātņu spraugas atstatums iestatāms, saglabājot paralelītāti starp abām plātnēm: materiāla padeves pusē pa kreisi 24 mm, pa labi 24 mm, gatavā materiāla izvades pusē pa kreisi 25 mm, pa labi 30 mm (2.15. att.) un adatu darba dziļums: 7 mm.



2.15. att. DILO LBM6 cauradatošanas mašīnas sānskats ar redzamu adatu plātņi un apakšējās un augšējās plātnes regulēšanas mehānismiem.

Cauradatošanas mašīnas darba platums ir mazāks nekā šķiedru klājuma kārtu diametrs, tāpēc pirms pirmās cauradatošanas šķiedru kārtas ir speciāli sagatavojamas. Katras šķiedru kārtas parauga vidū atmērīta 25 cm plata josla un abas sānu malas nogrieztas. Lai novērstu varbūtību šķiedrām sasaistīties plānākā kārtā kā NM caurmērā, kaņepāji-PLA un lini-PLA šķiedru maisījuma klājuma kārtas rotē pirms apgriešanas cauradatošanai. Pēc NM struktūras jaukto šķiedru maisījuma kārtas numurē kā 2., 3. un 4. kārtā un rotē sekojoši: 3. klājuma kārtā pagriezta par 120° attiecībā pret 2. klājuma kārtu, 4. klājuma kārtā par 120° attiecībā pret 3. klājuma kārtu.

Katra NM kompozīcijas parauga izgatavošanai paredzētās 5 šķiedru klājuma kārtas pēc pirmās cauradatošanas pārtop 3 kārtās (2.16. att.): ārējo PLA šķiedru klājuma kārtu fiksē kopā ar nākamo augu un PLA šķiedru maisījuma kārtu. Cauradatojot jeb nofiksējot šīs kārtas, ievēro klājuma kārtu secību: apakšpusē kaņepāji-PLA vai lini-PLA šķiedru maisījuma kārtā, virspusē PLA šķiedru klājuma kārtā.



2.16. att. Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana.

Pēc cauradatošanas iegūto flīsa materiālu marķē ar nosaukumu, uz materiāla atzīmē darba virzienu kādā tas izcelts no cauradatošanas iekārtas, nosver un iegūtos masas datus reģistrē protokolā.

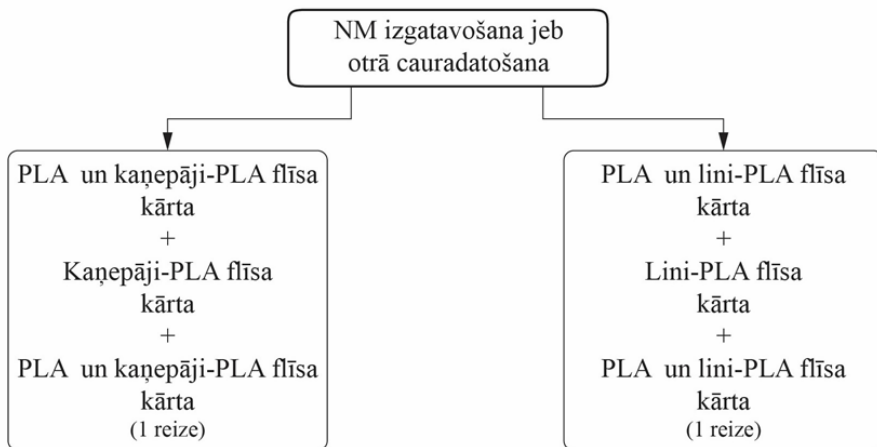
Šķiedru klājuma kārtu otrā cauradatošana

NM cauradatošanu veic uz tās pašas *DILO LBM 6* cauradatošanas iekārtas kā šķiedru klājuma kārtu fiksēšana (skatīt apakšnodaļā šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana) izmantojot tās pašas savelšanas adatas, kas šķiedru klājuma kārtu fiksācijai un iestatot tādus pašus apstrādes parametrus (skatīt apakšnodaļā šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana) kā šķiedru klājumu fiksācijai. Atšķirībā no klājumu fiksācijas, NM cauradatošanai adatas darba dziļums iestatīts 10,50 mm *Hemp_nw* paraugiem un 8 mm *Flax_nw* paraugiem.

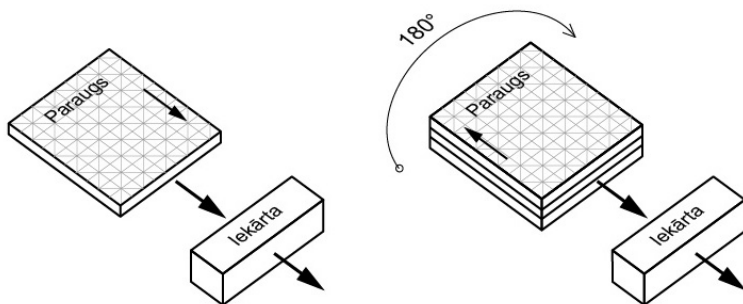
Katrs gatavais NM paraugs sastāv no kopā sastrādātām jeb cauradatotām 3 flīsa kārtām, skatīt 2.17. att. NM izgatavošanas shēma parādīta 2.18. att. Līdzīgi kā pie šķiedru klājuma fiksācijas, tā arī pie paša NM izgatavošanas jānovērš nevienmērīga materiāla biezuma iegūšanas varbūtība. Lai novērstu iespējamu cauradatošanas iekārtas nepilnību, kā rezultātā NM kādā zonā būtu mazāk blīvi vai nevienmērīgi cauradatotā salīdzinājumā ar caurmēra NM, pirms cauradatošanas flīsa kārtas rotējamas. Visas trīs vienu paraugu veidojošās flīsa kārtas pie NM izgatavošanas sagriež jeb rotē par 180° attiecībā pret mašīnas darba virzienu (2.19. att.).



2.17. att. Visu šķiedru klājuma kārtu sagatavošana otrajai cauradatošanai.

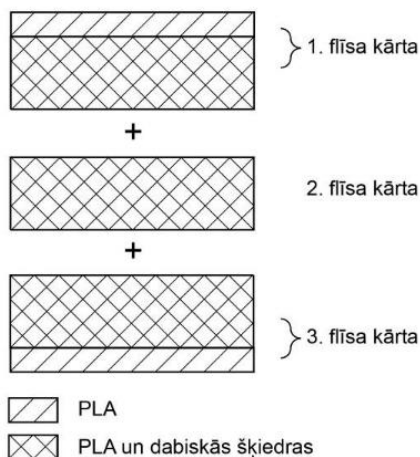


2.18. att. NM izgatavošana.



2.19. att. Paraugu novietojums pret cauradatošanas iekārtu: pa kreisi demonstrēta atsevišķas flīsa kārtas novietojums pret cauradatošanas iekārtu pirms 1. cauradatošanas reizes, pa labi demonstrēts visu trīs flīsa klājuma kārtu novietojums attiecībā pret cauradatošanas iekārtu pēc 180 °C sagriešanu pirms 2. cauradatošanas reizes.

Pēc klājuma kārtu pirmās cauradatošanas (fiksēšanas) materiāla platuma un garuma parametri palielinās, tāpēc arī pirms otrās cauradatošanas reizes jeb NM izgatavošanas cauradatojamais materiāls pielāgots iekārtas darba platumam. Fiksētajām flīsa kārtām mašīnas darba virzienā no materiāla centra uz abām pusēm atmēra 25 cm platu joslu un sānu malas apgriež. Pēc flīsa kārtu apgriešanas tās sakārto otrajai cauradatošanai jeb NM izgatavošanai, apakšā novieto trešo flīsa kārtu (*Hemp_nw* kompozīcijai: PLA cauradatotā kopā ar kaņepāji-PLA šķiedru kārtu; *Flax_nw* kompozīcijai PLA cauradatotā kopā ar lini-PLA šķiedru kārtu) ar PLA pusi uz apakšu, virsū novieto otro flīsa kārtu (kaņepāji-PLA vai lini-PLA), virspusē pirmajai flīsa kārtu (*Hemp_nw* kompozīcijai: PLA cauradatotā kopā ar kaņepāji-PLA šķiedru kārtu; *Flax_nw* kompozīcijai PLA cauradatotā kopā ar lini-PLA šķiedru kārtu) ar PLA pusi uz augšu (2.20. att.).



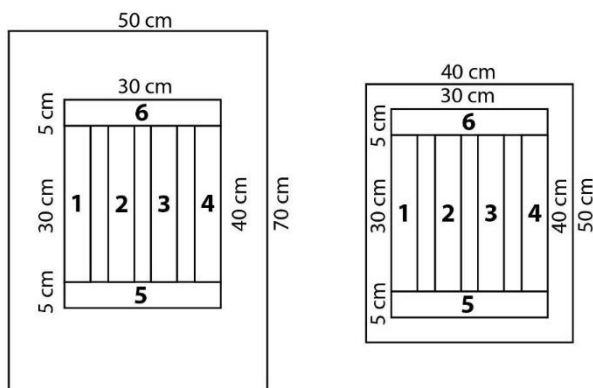
2.20. att. Šķiedru klājuma kārtu sakārtošana otrajai cauradatošanai.

Pēc otrās cauradatošanas jeb NM izgatavošanas no katra iegūtā ģeometriski neregulārā *Hemp_nw* NM centra izgriezts 50 cm x 75 cm liels materiāla paraugs. Darba ietvaros izgatavoti pieci *Hemp_nw* kompozīcijas NM paraugi, kas apzīmēti ar skaitļiem: 1, 2, 3, 4 un 5. No otras

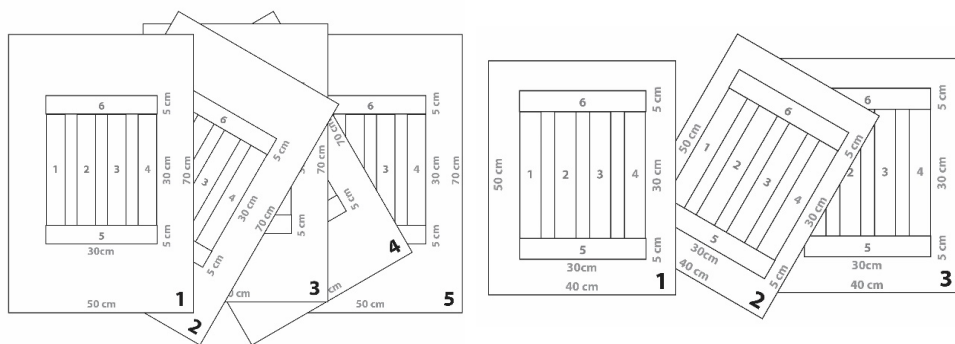
kompozīcijas izgatavoti trīs *Flax_nw* NM, kas marķēti ar skaitļiem: 1, 2 un 3. Tā kā pēc otrās cauradatošanas jeb NM izgatavošanas *Flax_nw* paraugi salīdzinājumā ar *Hemp_nw* NM iegūti ar mazākiem ģeometriskiem izmēriem, tie izgriezti izmēros: 40 cm x 50 cm. Abu kompozīciju materiālu paraugi marķēti, nosvērti un iegūtie mērījumu rezultāti ierakstīti eksperimenta protokolā.

Paraugu izgatavošana neausto materiālu testēšanai un kompozītu veidošanai

Ar presi no katra NM parauga centra ir izcirstas sešas materiāla paraugu sloksnes, katra 5 cm x 30 cm. Atbilstoši abu kompozīciju NM paraugu slokšņu izciršanas shēmām (2.21. att.), četras sloksnes (Nr. 1–4) izcirstas mašīnas darba virzienā, divas (Nr. 5–6) perpendikulāri mašīnas darba virzienam. 2.22. attēlā ir shematiski attēlota slokšņu izciršanas shēma no visiem darbā izgatavotajiem NM paraugiem.



2.21. att. Paraugu slokšņu izciršanas shēma pa kreisi: *Hemp_nw* NM kompozīcijas paraugam, pa labi: *Flax_nw* NM kompozīcijas paraugam.



2.22. att. Paraugu slokšņu izciršanas shēma no visiem izgatavotajiem paraugiem: *Hemp_nw* NM, pa labi: *Flax_nw* NM.

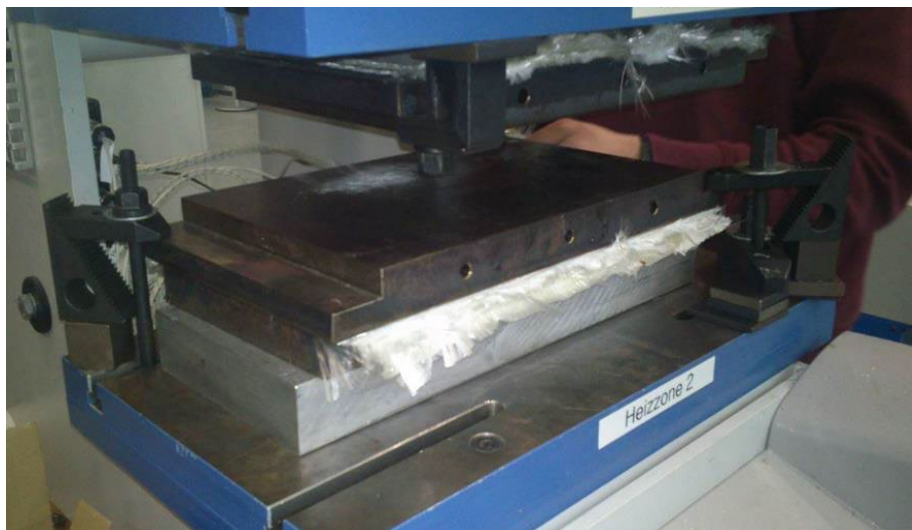
Secinājumi

Ja vienu šķiedru maisījumu plānots izmantot gan NM, gan kompozīta ražošanā, svarīga loma ir struktūras plānošanai. Materiāla struktūru ietekmē NM un kompozīta izgatavošanas

tehnoloģijas. Šajā gadījumā izmantotā šķiedru irdināšanas, jaukšanas mašīnas ar trim paralēli izkārtotiem darba veltniem un iekārtai klāt pievienotais vertikālais vakuuma tunelis ar tajā esošajiem zemspiediena apstākļiem ir piemērota triju secīgu darba operāciju veikšanai: šķiedru irdināšanai, sajaukšanai un gatavo šķiedru klājuma kārtu izgatavošanai. Šķiedru klājuma kārtu fiksēšana un gatavā NM izgatavošana ar mehānisko adatu cauradatošanas metodi ir ražīga un videi draudzīga metode, jo atšķirībā no citām NM izgatavošanas metodēm neizmanto ūdeni.

2.2. Kompozīta izgatavošanas tehnoloģija

Daļa no izgatavotajām NM sloksnēm (mašīnas darba virzienā izcirstās sloksnes Nr. 2 un 4, un perpendikulāri mašīnas darba virzienam izcirstā sloksne Nr. 6) paredzētas kompozītu izgatavošanai. Visi kompozītu paraugi izgatavoti *ITA* laboratorijā ar termisko presi *C Press*. Termiskās preses darba režīmu raksturo trīs uzstādījumi: presēšanas laiks, spiediens un temperatūra. Termiskajā presē paraugus ievieto starp divām horizontālām plātnēm, kas aprīkotas ar sildelementiem (skatīt 2.23. att.).



2.23. att. Termiskā prese *C Press* kompozītu paraugu izgatavošanai.

Iekārtas tehnoloģiskie parametri noteikti eksperimentāli, par pamatu ņemot uzstādījumus, kas noteikti pētījuma *Development of Bio-composites for the Automotive Industry* (izstrādāts *ITA* [99]) ietvaros: abām sildvirsmām iestatāma vienāda temperatūra, kas atkarīga no polimēra kušanas temperatūras. Eksperimentāli piemērojot piemērotākos termopresēšanas tehnoloģiskos parametrus, darba temperatūra variēja no 160–165 °C, spiediens no 3,75–4 bar ar izturēšanas laiku 15 minūtes. Tā kā abu kompozīciju sagatavēs izmantots viens un tas pats polimērs, savukārt abām izmantotajām augu šķiedrām ir līdzīgas fizikālās īpašības, tad darba presēšanas spiediens, temperatūra un presēšanas laiks ir vienāds. Galīgi pieņemtie termiskās preses darba režīmi atspoguļoti 2.4. tabulā.

Termiskās preses tehnoloģiskie parametri

Kompozīta paraugs	Laiks (min.)	Spiediens (bar)	Temperatūra (°C)
<i>Hemp_comp</i>	15	3,75	162
<i>Flax_comp</i>	15	3,75	162

Secinājumi

Materiāla struktūras uzbūvē vērā ņemta kompozīta izgatavošanas metode (termiskā presēšana), jo gan virspusē, gan apakšpusē novietota polimēra šķiedru kārtā. NM termiski presējot, kūstošās PLA šķiedras aptver augu šķiedras un pasargā tās no tiešas saskares ar termiskās preses sildvirsmām.

2.3. Pārbaūžu metodes

Neusto materiālu un kompozītu paraugu ģeometrisko parametru noteikšana

Visas pētījuma ietvaros izgatavotās abu kompozīciju (*Hemp_nw* un *Flax_nw*) NM paraugu sloksnes (arī tās, no kurām izgatavotas kompozītu sloksnes) ar izmēriem 5 cm x 30 cm izcirstas, izmantojot presformas.

Abu kompozīciju (*Hemp_nw* un *Flax_nw*) NM un kompozītu paraugu masa noteikta saskaņā ar standartu *DIN EN 12127:1997* (aktuālā standarta versija latviešu valodā LVS EN 12127:2001 [106]) – tekstilizstrādājumu, audumu standarts masas noteikšanai uz laukuma vienību, izmantojot maza izmēra paraugus.

Hemp_nw un *Flax_nw* NM paraugu sloksnēm, kas izmantotas stiepes testam un visiem kompozītu paraugiem, biezums noteikts ievērojot standartu *DIN EN ISO 9073-2:1995* (*ISO 9073-2:1995* [107]). Šis standarts regulē NM testa metodes, tai skaitā biezuma noteikšanu zem īpaša spiediena.

Akustisko īpašību pētīšanai *Hemp_nw* NM apļa formas paraugu Ø 20 mm biezums izmērīts, izmantojot tekstilmateriāliem paredzētu biezuma noteikšanas iekārtu *SDL Atlas J100*.

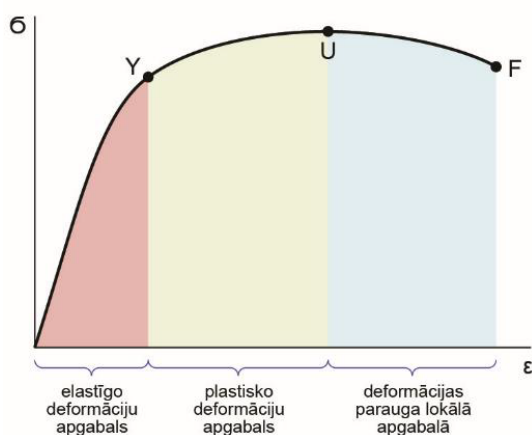
Neusto materiālu un kompozītu paraugu stiepes izturības pārbaude

NM un kompozītu paraugu stiepes izturības pārbaude veikta *ITA* laboratorijā, saskaņā ar standartu *DIN EN 29073-3:1992-08* (tekstilizstrādājumu — NM testa metodes: stiepes izturības un pagarinājuma noteikšana [108]). Stiepes pārbaude veikta ar iekārtu *Z2.5*. Iekārta darbojas ar spēku 2,5 kN spēku visu *Hemp_nw* NM un *Hemp_comp* kompozīta pārbaudē, un visu *Flax_nw* NM pārbaudē. *Flax_comp* kompozīta pārbaudē iekārtas spēks ir 20 kN. Paraugus stiepes laikā pārbauda garenvirzienā ar nemainīgu pagarinājumu. Lai novērstu parauga izslīdēšanu pārbaudījuma laikā, parauga abus galus vienmērīgi visa parauga platumā iespīlē skavās. Augšējais skavas tips: *8379_10 kN*, apakšējais skavas tips: *8379_10 kN*. NM parauga sloksnes garums starp iespīlēšanas skavām ir 200 mm, paraugi stiepē pārbaudīti ar ātrumu 100 mm/min. Pārbaudes laikā slodze vienmērīgi pielikta visā paraugu platumā. Kompozītu parauga garums starp iespīlēšanas skavām ir 100 mm, paraugus stiepē pārbauda ar ātrumu 50 mm/min.

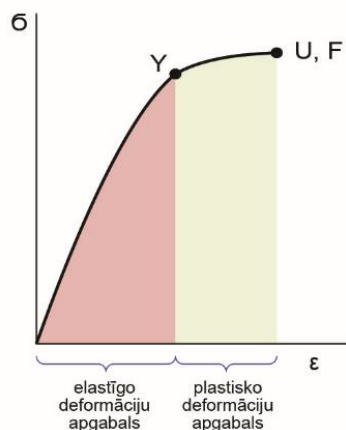
Tradicionāli polimērus saturošo kompozītu mehāniskās īpašības ir jūtīgas pret mehānisku iedarbi, temperatūru un apkārtējās vides ķīmisko ietekmi. Kompozīta maksimālais robežspriegums stiepē un stingrība ir atkarīga no šķiedru satura, veida un izkārtojuma [109].

Abu kompozīciju NM paredzamai stiepes spriegumu-deformācijas līknei jāatbilst plastisku materiālu stiepes spriegumu-deformācijas raksturlīknei (2.24. att.).

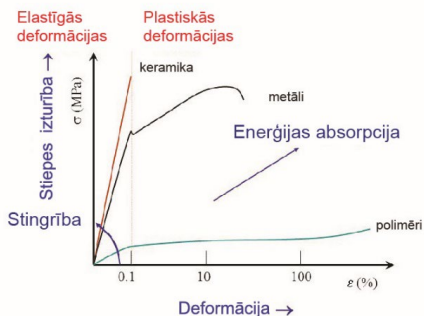
Kompozīta materiāla mehāniskās īpašības ietekmē gala izstrādājuma forma un to veidojošās izejvielas. Abu kompozītu materiālu forma plānota lokšņveida, kurā procentuāli lielāko daļu aizņem polimērs. Šī apstākļa dēļ, abu izstrādāto kompozītu spriegumu-deformācijas raksturlīknē sagaidāmas trauslu materiālu raksturīgās iezīmes (2.25. att.).



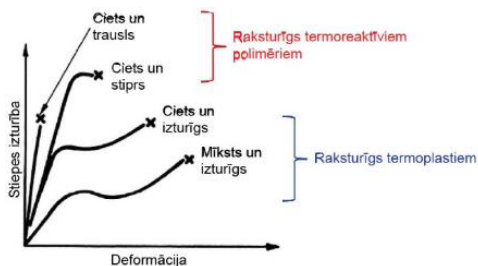
2.24. att. Stiepes spriegumu-deformācijas raksturlīkne plastiskiem materiāliem [110].



2.25. att. Stiepes spriegumu-deformācijas raksturlīkne trausliem materiāliem [110].



2.26. att. Stiepes spriegumu-deformācijas raksturlīknes keramikai, metāliem un polimēriem [111].



2.27. att. Dažādu polimēru stiepes spriegumu-deformācijas raksturlīknes [112].

Ņemot vērā PLA kā galveno komponenti, tad šo abu materiālu spriegumu-deformācijas līkņu raksturā jāpiemīt iezīmēm no polimēra raksturlīknes (2.26. att.) un cietu, un izturīgu termoplastu raksturlīknes (2.27. att.).

Kompozītu paraugu trīs punktu lieces pārbaude

Trīs punktu liecē pārbaudīti abu kompozīciju kompozīti. Tests veikts *ITA* laboratorijā saskaņā ar standartu *DIN EN ISO 14125* (standarta latviešu versija *LVS EN ISO 14125:2001* [113]). Pārbaudēm izmantoti kompozītu paraugi ar izmēriem 40 mm x 25 mm x biezums (atkarībā no kompozīcijas) mm. Trīs punktu lieces pārbaudē paraugu garenvirzienā novieto uz diviem paralēliem adatas balstiem ar $r = 5$ mm. Slogojuma spēks pielikts no augšpusē pret parauga vidu, aizņemot $r = 5$ mm lielu virsmas laukumu. Augšējās skavas tips: *BS ITA 1* ($r = 5$ mm), apakšējais skavas tips: *AL ITA 2* ($r = 5$ mm). Paraugu pārbaude uzsākta ar sākotnējo slogojumu 0,1 MPa, pārbaudes deformācijas ātrums 1 mm/1 min. un lieces elastības sākotnējais modulis 1 mm/1 min. Slogojuma spēks izraisa stiepes spriegumus pārbaudes parauga izliektajā virsmā un spiedes spriegumus ieliektajā virsmā. Trīs punktu liecē slogojuma spēks izraisa bīdes spriegumus gar materiāla centra līniju.

Lieces moduli raksturo materiāla stingrību liektā stāvoklī. Trīs punktu lieces testā mēra spēku, kas nepieciešams, lai sagrautu materiālu atbilstoši trīs punktu nosacījumiem.

Neusto materiālu skaņas absorbcijas pārbaude

Hemp_nw NM paraugiem veikta skaņas absorbcijas koeficienta un skaņas pārnese zudumu koeficienta mērījumi divkameru pilnās pretestības caurulē. Mērījumi veikti pēc standarta *LVS EN ISO 10534-2:2002* (Akustika. Skaņas absorbcijas koeficienta un pilnās pretestības caurulēs. 2. daļa: Pārejas funkcijas metode [114]). Mērījumos izmantota uzņēmuma *Brüel & Kjær* stāvviļņu iekārta (impedances caurule) *Type 4206T*, kas darbojas kopā ar programmatūru *PULSETM Acoustic Material Testing software–Type 7758*. Impedances caurules konstrukciju veido: caurule, skaļrunis, divi mikrofoloni un materiālu parauga turētājs. Pētāmo materiāla paraugu ievieto caurulē. Caurulē esošais skaļrunis raida precīzi kvantificētu skaņu pa cauruli virzienā uz pārbaudāmo materiālu. Daļa skaņas tiek absorbēta un daļa tiek atstarota atpakaļ. Uz caurules iekšējās virsmas ir novietoti abi mikrofoloni, kas mēra skaņas spiediena līmeni materiāla abās pusēs. Pēc atšķirībām starp signāliem programmatūra aprēķina materiāla akustiskās īpašības. Pētāmā parauga absorbcijas koeficients un skaņas pārnese koeficientu mērījumus veic lineārā frekvenču skalā, programmatūra datus pārrēķina 1/3 oktāvu joslās.

Akustiskās īpašības pārbaudītas paraugiem zemas frekvences starojuma diapazonā 50–500 Hz un vidējas frekvences starojuma diapazonā 500–5000 Hz. Pārbaudēm sagatavoti Ø 29 mm lieli paraugi no katras A, B un D paraugu variācijas pa 2 gab.

Akustikas koeficienta zināšana dod iespēju aprēķināt trokšņa samazināšanas koeficientu (TSK). Amerikas standarts *ASTM 423* [115] nodrošina līdzīgus pārbaudes kritērijus kā *EN ISO 354* [116], standartā iekļauta arī TSK aprēķināšanas metodika. Atbilstoši *ASTM 423* trokšņa samazināšanas koeficients aprēķināms pēc sekojošas formulas:

$$TSK = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})/4, \quad (2.3)$$

kur

TSK – aprēķināmais trokšņa samazināšanas koeficients;

- α_{250} – absorbcijas koeficienta vērtība 250 Hz frekvencē;
- α_{500} – absorbcijas koeficienta vērtība 500 Hz frekvencē;
- α_{1000} – absorbcijas koeficienta vērtība 1000 Hz frekvencē;
- α_{2000} – absorbcijas koeficienta vērtība 2000 Hz frekvencē.

Neusto materiālu un kompozītu kvalitātes novērtēšana

NM un kompozītu paraugu novērtēšana veikta ar divām metodēm: ar un bez tehniskiem palīg līdzekļiem. Sākotnēji abu veidu paraugi novērtēti neizmantojot tehniskos palīg līdzekļus – savstarpēji salīdzinot kaņepāju šķiedras saturošos NM paraugus ar linu šķiedrām saturošajiem paraugiem pēc krāsas un šķiedru sasaistīšanās ciešuma. Kompozītu paraugu sākotnējā vizuālā novērtēšanā abu kompozīciju paraugi salīdzināti pēc krāsas un polimēra izkuššanas kvalitātes. Padziļināta NM un kompozītu paraugu vizuāla novērtēšana veikta *ITA* laboratorijā ar optisko mikroskopu *Leica M 205 C*. Mikroskopa darba palielinājuma amplitūda ir no 8 līdz 320 reizēm. Mikroskopa fokusa dziļums ļauj uzņemt skaidrus pētāmā materiāla (objekta) attēlus. Atkarībā no pētāmā materiāla virsmas līdzenuma, mikroskopā *Leica M 205 C* iespējams iestatīt fokusa attāluma sākuma un beigu punktu starp kuriem iestatīt noteiktu skaitu kontroles fotouzņēmumu. Gala versijā lietotāja iegūtais fotoattēls ir dažādos attālumos ar konstantu soli uzņemtu vairāku fotoattēlu apvienojums. Šī pētījuma ietvaros ar mikroskopu iegūti NM un kompozītu paraugu attēli, kas veikti pirms mehānisko un akustisko īpašību pārbaudēm. NM materiālu paraugu virsmā un šķērsgrīzumā ir pētīts šķiedru sasaistīšanās blīvums. Kompozītu paraugu virsmā un šķērsgrīzumā pētīta augu šķiedru sasaiste ar matricu, PLA šķiedru izkuššanas pakāpe, virsmas defekti, kas radušies kompozītu izgatavošanas laikā u. c.

Paraugu padziļināta izpēte ar optisko mikroskopu ir pietiekami informatīva vizuālās novērtēšanas metode, kas var sniegt prognozi arī par abu kompozīciju, piemēram, NM paraugu uzvedības tendenci stiepes izturības un pārskāņas absorbcijas pārbaudēs.

Secinājumi

NM (*Hemp_nw* un *Flax_nw*) un kompozītiem (*Hemp_comp* un *Flax_comp*) veiktā vizuālā novērtēšana, ģeometrisku parametru noteikšana, blīvuma un virsmas blīvuma aprēķināšana un stiepes izturības noteikšana uzskatāmas par standarta materiāla novērtēšanas metodēm. Kompozītiem veiktā trīs punktu lieces pārbaude ir papildus mehānisko īpašību raksturojoša. *Hemp_nw* veiktā akustisko īpašību pārbaude raksturo materiāla piemērotību izmantošanai skaņas absorbcijā, tai skaitā izmantojot automašīnas salona detaļās.

2.4. Neusto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu apkopošanas metodika

Klimata pārmaiņas ir viens no lielākajiem draudiem videi, sociālajai videi un ekonomikai. Ilgtspējīgu kompozītu ražošana līdz šim galvenokārt apskatīta no materiāla sastāva un struktūras skatpunkta – nomainot no naftas produktu ražotās izejvielas pret tādām, kas iegūstamas no atjaunīgajiem resursiem. Jauniegūto materiālu lietderība pārsvarā apskatīta no to veiktspējas un ekonomiskajām izmaksām, bet nepietiekami novērtējot no vides aizsardzības aspekta. Šajā pētījuma daļā salīdzināta *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu ietekme uz vidi,

salīdzinot dažādus slāpekļa (N) mēslošanas scenārijus augu izcelsmes (kaņepāju un linu) šķiedru ieguves procesā. Mēslošanas scenāriju variācijas apskatītas, jo lauksaimniecības nozare rada 10,55 % [117] siltumnīcas efekta gāzes (SEG) no visām saražotajām emisijām ES. Pasākumi, kas veicina efektīvu mēslojumu lietošanu (precīza minerālmēslu lietošana, plānošanu, tieša organiskā mēslojuma iestrāde augsnē) atzīta par efektīvāko [118] no septiņpadsmit SEG samazināšanas pasākumiem Latvijas teritorijā.

Precīzai mēslošanas plāna izstrādei un ieviešanai, atbilstošu iekārtu iegādei ir 50 % [119] CO₂ emisiju samazināšanas potenciāls. Enerģētikas nozare ir atbildīga par 77,01% no kopējā siltumnīcefekta gāzu emisiju apjoma 2019. gadā, aptuveni trešdaļa no kurām ir radījusi transporta [117].

Kaņepāju šķiedrām (364–406 kg CO₂ ekviv. t kaņepāju) un linu šķiedrai (349 kg CO₂ ekviv. t linu šķiedru) [120] oglekļa pēdas nospiedums ir daudz mazāks, kā to ekvivalentiem, piemēram, stikla šķiedrai (1,8–4,6 t CO₂ ekviv. t stikla šķiedrai) [121]. Samazinātās oglekļa pēdas nospieduma dēļ, kaņepāju un linu šķiedru lietošana kompozītos veicina gan siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājumu un atjaunīgo resursu izmantošanu, gan pēc masas vieglāka produkta iegūšanu.

Metodes

Šī pētījuma veikšanā izmantota dzīves jeb aprites cikla analīzes (DCA) metodoloģija, kas ir standartizēta procedūra, lai novērtētu piedāvāto produktu sistēmu ietekmi uz vidi [122]. Pētījums veikts saskaņā ar standartiem *ISO 14040:2006* [123] un *14044:2006*. Šī pētījuma DCA aprēķina modelis par ieejas un izvades sistēmām izveidots, izmantojot SimaPro 8.5.2 DCA programmatūru, kas ir apvienota ar *Ecoinvent v3* datu bāzi, kas nodrošina pilna aprēķina veikšanai nepieciešamos procesu datus. Datu bāzē trūkstošie dati kombinēti no citu pētnieku iepriekš veiktajiem pētījumiem, audzētāju sniegtajām intervijām un ievadīti manuāli. Kopējā ietekme uz vidi tika novērtēta, izmantojot *CML-IA* bāzes līnijas (*CML-IA-baseline*) metodi [124]. Šī metode nosaka potenciālu kaitējumu videi no gaisa, šķidro un cieto vielu emisijām, izmantojot atbilstošus ekvivalences koeficientus atlasītajiem savienojumiem uz vairākām ietekmes kategorijām: globālās sasilšanas potenciāls (*GSP*), paskābināšanās potenciāls, eitrofikācijas potenciāls, troposfēras ozona un fotoķīmiskā smoga veidošanās potenciāls, stratosfēras ozona noārdīšanās potenciāls, ekotoksicitātes potenciāls). Globālās sasilšanas potenciāls 100 gadu ilgam periodam novērtēts ar *IPCC 2013 GWP 100a* metodi [125].

Aprites cikla pētījuma mērķis

Šis pētījums ir salīdzinoša DCA, ar mērķi izpētīt produkta ražošanas procesu, lai salīdzinātu tā ietekmi uz vidi ar analoga produkta ietekmi uz veicamo funkciju, bet atšķirīgu pēc sastāva. Konkrēti šī pētījuma daļas mērķis ir novērtēt kompozītu *Hemp_comp* un *Flax_comp*, kuri iegūti no šo pašu kompozīciju NM. Abi kompozīti salīdzināti ar tirgū esošu kompozītu, kura sastāvā ir poliamīds 66 un 30 mas. % stikla šķiedras (*PA66/GF*).

Izmantojot šo pētījumu, potenciālie dabiskās izcelsmes šķiedru kompozītu ražotāji var novērtēt *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu ietekmes uz vidi un atrast veidus kā, un kuras ietekmes mazināt. Par šķiedru iegūvi atbildīgie audzētāji un šķiedras pārstrādātāji var novērtēt, kā attiecīgais process ietekmē kompozīta kopējās īpašības un identificēt, kuri no ražošanas

procesiem tehnoloģiski maināmi vai uzlabojami. Savukārt dizaineri var izvēlēties piemērotākos kompozītus ilgtspējīgu dizaina risinājumu realizēšanā.

Aprites cikla funkcionālā vienība

Pētījumā aplūkotas divas funkcionālās vienības. Abos gadījumos funkcionālā vienība ir 1000 mm x 500 mm liela laukuma kompozīts, kura laukums ir līdzīgs vidējam automašīnas bagāžas plaukta panelim, ar biežumu kā mainīgo vienību. Pirmajā funkcionālās vienības gadījumā, materiāla biežumu (2.5. tabula) ietekmē bagāžas paneli iestrādātā kompozīta spēju izturēt 4,1 kN lielu slodzi stiepē. Konkrētā izturība izvēlēta, jo tāda stiepes izturība ir konstatēta pārbaudot tirgu esošu *Citröen C5* (2007) bagāžas plauktu, iepriekš no slodzi nesošās kārtas noīrot dekoratīvo apdares kārtu. Tirdzīnā esošais kompozīts izgatavots no *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras, šis kompozīts, abu funkcionālo vienību gadījumā, izmantots salīdzināšanai ar *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītiem. *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu robežsprieguma vērtības plašāk aprakstītas eksperimentālajā daļā, un iegūtie dati apobēti pētījumos [126, 127].

2.5. tabula

Funkcionālā vienība pie izturības 4,1 kN

Kompozīts	Biezums (mm)	Masa (kg)	Blīvums (kg/m ³)
<i>Hemp_comp HN90</i>	3,0	0,98	646,1
<i>Flax_comp FN40</i>	1,8	0,58	637,6
<i>PA66/GF</i>	4,5	1,50	667,5

Otrajā funkcionālās vērtības gadījumā par materiāla biežumu pieņemts 4,5 mm (2.6. tabula), kas ir pielīdzināts pārbaudītajam tirdzīnā esošajam bagāžas paneļa biežumam bez dekoratīvās apdares kārtas.

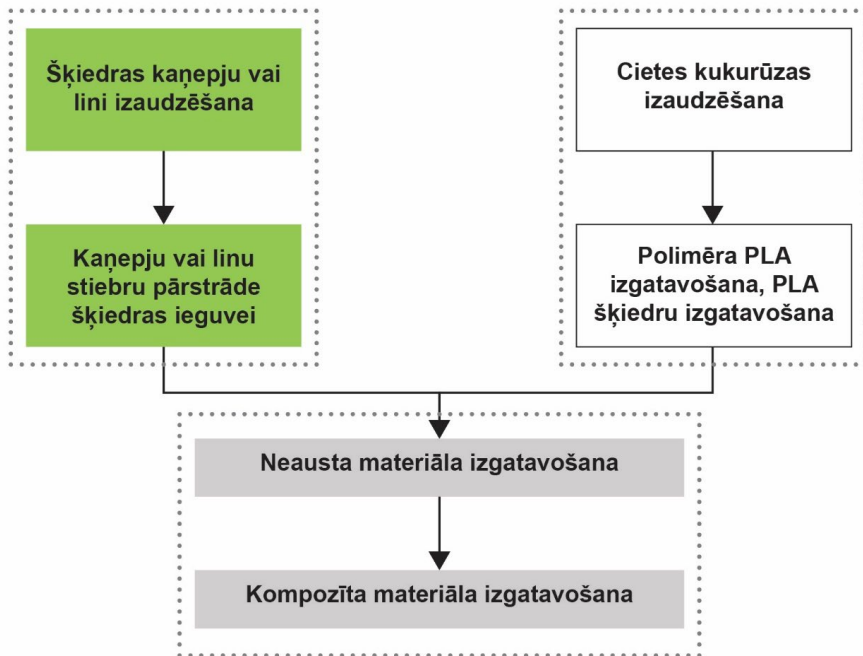
2.6. tabula

Funkcionālā vienība pie 1000 mm x 500 mm x 4,5 mm

Kompozīts	Robežspriegums (MPa)	Masa (kg)	Blīvums (kg/m ³)
<i>Hemp_comp HN90</i>	27,1	1,45	646,1
<i>Flax_comp FN40</i>	45,2	1,43	637,6
<i>PA66/GF</i>	18,2	1,50	667,5

Aprites cikla sistēmas robežas un datu kvalitāte

Hemp_comp un *Flax_comp* kompozītu DCA aprēķina salīdzināšanai pielietota starpposma aprites cikla pieeja *cradle to gate*, t.i. no izejvielu iegūšanas (“šūpulis”) līdz gatavā produkta izvades no ražotnes (“vārtiem”) (2.28. att.). Šajās pētījuma robežās ietilpst sekojoši ražošanas procesi: šķiedras kaņepju audzēšana (kaņepāju šķiedru saturošā materiāla gadījumā) un šķiedras linu (linu šķiedru saturošā materiāla gadījumā) audzēšana, šķiedras pārstrāde, neaustā materiāla izgatavošana un kompozīta izgatavošana. Pētījuma ietvaros netiek analizēts lietošanas un beigu posms.



2. 28. att. Kompozīta ražošanas galvenie etapi no to veidojošo šķiedru ieguves līdz gatavam produktam.

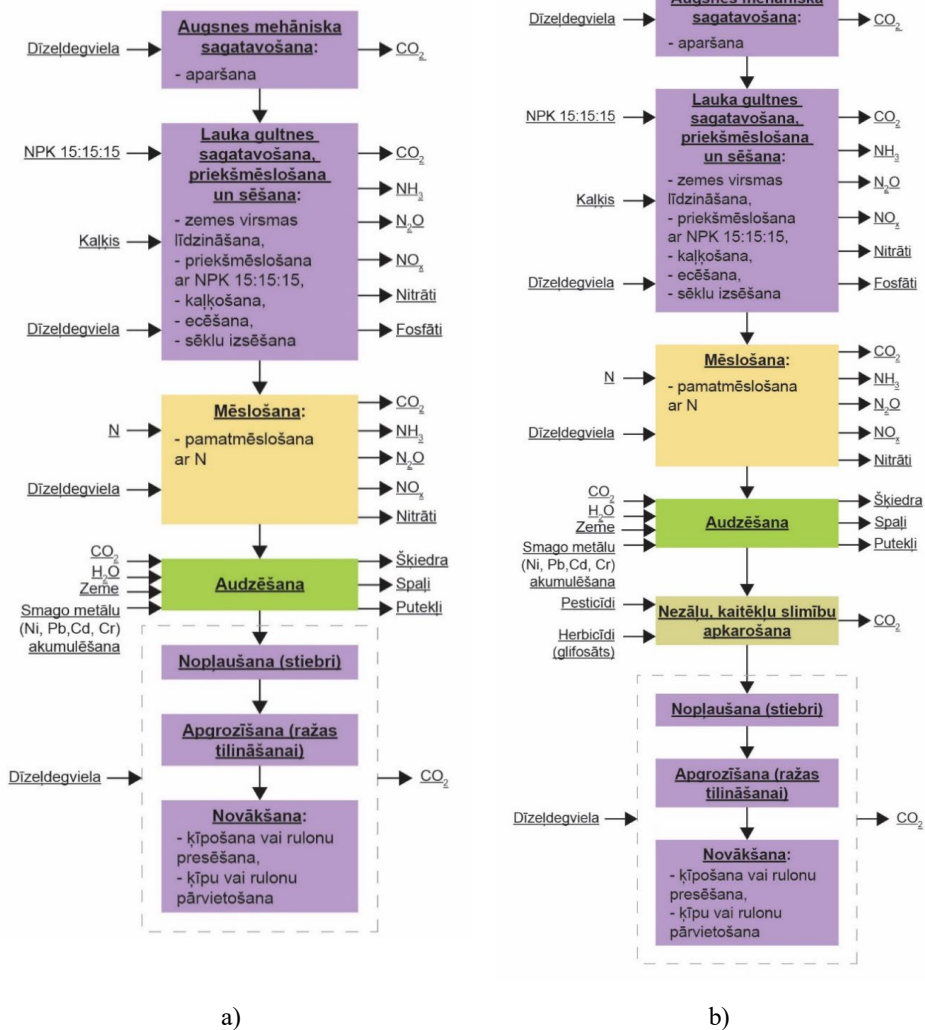
Datu pieņēmumi un inventarizācijas datu apraksts katram posmam

Kaņepāju un lina šķiedru ieguve. Kaņepju un lina audzēšanas ieguve sākot no sēšanas brīža līdz šķiedras ieguvei, pieņemta, ka ražošana veicama Zemgales reģionā. Abu šķiedru saražošanas aprēķinos lietotie dati par sēklām, pesticīdu lietošanu un šķiedras pārstrādi izmantoti no *Barth* [55] veiktā pētījuma. *Barth* pētījumā inventarizācijas dati saistīti ar lauksaimniecības sistēmas apstākļiem 2013./2014. gadā. Saskaņā ar iepriekš minēto pētījumu, aprēķinā izmanto sēklu izsējas norma ir 50 kg/ha kaņepēm un 110 kg/ha linaiem. Šķiedras augu N mēslošanas variācijas linaiem un no tās sagaidāmā raža aprēķināta ņemot vērā Kārkliņa [128] sastādīto Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvu. Atšķirībā no šķiedras linaiem, saskaņā ar 23.12.2014. MK noteikumos Nr. 834 “Prasības ūdens, augsnes un gaisa aizsardzībai no lauksaimnieciskās darbības izraisīta piesārņojuma” šķiedras kaņepēm (vispār kaņepēm) nav atsevišķi izstrādātas ieteicamās N mēslošanas normas kultūraugiem. Kaņepēm attiecināms šo pašu noteikumu punkts par to, ka uz vienu lauksaimniecībā izmantojamo zemes ha, slāpekļa daudzums gadā nedrīkst pārsniegt 170 kg. Lai pētījumā parādītu mēslojuma dažādo scenāriju ietekmi ne tikai uz sagaidāmo ražu, bet CO₂ emisiju apjomu, tad izmantoti dati no Latvijā veiktajiem pētījumiem, kas veikti SIA “Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrs” *V. Stramkales* vadībā [129, 130]. Pārējās pētījumā veiktās darbības par zemes apstrādi, lauka mēslošanu, ražas novākšanu, pārstrādāto šķiedru transportēšanu rēķinātas, izmantojot datus no 2018./2019. gada sezonas Latvijas teritorijas robežās. Kaņepāju šķiedru audzēšanā izvērsti scenāriji, kas variē ar N mēslošanas devām gadā 0 kg/ha, 30 kg/ha, 60 kg/ha un 90 kg/ha

(turpmāk tekstā šos mēslošanas scenārijus secīgi no mazākā dozas apjoma līdz lielākajai apzīmējot ar marķējumiem HN0, HN30, HN60 un HN90). Linu šķiedru audzēšanā apskatīti N mēslošanas scenāriji ar devu 0 kg/ha, 20 kg/ha, 30 kg/ha, 35 kg/ha, 40 kg/ha (turpmāk tekstā FN0, FN20, FN30, FN35 un FN40).

Inventarizācijas dati par 2018./2019. gada lauksaimniecības sezonas balstītas uz anonīmām intervijām ar zemniekiem [131]. Bez N, kaņepes vēl mēslojas ar komplekso pamatmēslojumu (NPK) 15:15:15 300 kg/ha [132], tāpat augsne reizi četros gados tiek kaļķota (200 kg/ha) [55]. Liniem papildus minerālmēslojums izmantots pēc Lauku mēslošanas normatīva, atbilstoši N dozaī: 35–60 kg P₂O₄, 80–150 kg K₂O [129] un 60 kg CaCO₃ uz hektāru [55]. Liniem mēslojumu līdz 20 kg ha⁻¹ N iestrādā pamatmēslojumā, pārējo – papildmēslojumā.

Kaņepes un lini lietoti kā rotācijas augs pēc graudaugu kultūrām. Abu augu secīgs procesu shematiskais attēlojums demonstrēts 2.29. att. Lauka apstrāde sāka ar aparšanu rudenī, pēc iepriekšējā rotācijas auga ražas novākšanas. Nākamajā pavasarī lauks virskārta tiek līdzināta un nepieciešamības gadījumā kaļķota. Kaļķošana veicama atsevišķā gājienā (reizi piecos gados kaņepēm [55] un katru gadu liniem). Pirms sēšanas veicama lauku mēslošana, kaņepju gadījumā ar komplekso minerālmēslojuma pamatmēslojumu, linu gadījumā slāpekļa, fosfora un kālija minerālmēslojumu. Kaņepēm “egļītes” fāzē. Papildmēslojumā lieto N atbilstoši dozas variācijai: 0, 30, 60 vai 90 kg/ha, liniem pamatmēslojumā lieto 20 kg/ha (atskaitot 0 N un 20 N kg/ha scenārijus), pārējo “egļītes” fāzē kā papildmēslojums. Pēc pamatmēslošanas lauku vienā gājienā ecē, vago un apsēj. Atšķirībā no kaņepēm, linus to augšanas laikā miglo ar pesticīdiem un herbicīdiem. Stiebru ražai nogatavojoties, to nopļauj vālos un atstāj uz lauka žūt. Stiebru ražu apgriež. Gatavo stiebru ražu presē ruļļos un transportē uz šķiedru pārstrādes vietu, abos virzienos kopējai distancei nepārsniedzot 60 km. Saskaņā ar literatūras avotiem, CO₂ uzkrājums uz 1 kg novākto ražu pieņemts 1,63 kg CO₂ kaņepēm [133] un 1,49 kg CO₂ liniem [134].



2. 29. att. Kaņepju (a) un linu (b) audzēšanas procesa ievadņu un izvadņu procesu secīgs shematisks attēlojums.

Visa traktortehnika, kas iesaistīta iepriekšminētajās lauksaimniecības operācijās, ir iedalīta divās grupās: A – traktori, B – pārējā lauksaimniecības tehnika.

Atsevišķi apskatītas ar minerālmēsļu lietošanu saistītās emisijas, ko aprēķina programma neņem vērā. Amonjaka emisijas no amonija nitrāta mēslojuma aprēķinātas pēc *ECETOC* [135]. Emisijas factors (EF) 0,02 kg NH_3 -N uz kg N. Pēc *Mosier* [136] pieņemts, ka nitrātu slāpekļa zudums (NO_3 -N) gruntsūdeņos ir ap 40 kg/ha. Šajā pētījumā NO_3 -N gruntsūdeņos aprēķināts proporcionāli lietotajai *Mosier* pētījumā N dozi un iegūtajiem nitrātu slāpekļa zudumiem gruntsūdeņos. No slāpekļa oksīda slāpekļa (N_2O -N) emisija aprēķināta saskaņā ar *Mosier*: tiešajām emisijām no augsnes emisijas EF ir 0,0125 kg N_2O -N uz kg N minerālmēslojuma, kas iestrādāts pēc amonjaka iztvaikošanas. Netieši izraisītu emisiju EF ir 0,01 kg N_2O -N uz kg NH_3 -

N un 0,025 kg N₂O-N uz kg NO₃-N. Slāpekļa oksīda slāpekļa (NO_x-N) emisijas aprēķinātas saskaņā ar *Rossier* [137] 10% apmērā no N₂O-N emisijām.

Notece no PO₄-P uz virszemes ūdeņiem ir aprēķināta pēc *Rossier* [137], pieņemot EF 0,01 kg PO₄-P uz 1 kg P iestrādātajiem mēslošanas līdzekļiem.

Emisijas no Cd, Cu, Ni un Pb ietekme uz augsni ir aprēķināta saskaņā ar bilances pieeju, ņemot vērā ieguldījumu no mēslošanas un izvadi caur novākto produkciju. Smago metālu saturs daudzums minerālmēslos ir balstīts *Rossier* [137]. Atsauce uz smago metālu uzņemšanu ir balstīta no datiem uz 6800 kg/ha kviešu ražas graudu, kas saturēja 0,12 mg uz 1 kg Cd, 5,9 mg uz 1 kg Cu, 0,22 mg uz 1 kg Ni un 0,2 mg uz 1 kg no Pb [136].

Kaņepāju un linu pārstrāde. Kaņepāju un linu pārstrāde sākas pēc stiebru nopļaušanas un salmiņu žāvēšanas, tillināšanās uz lauka. Sausā stiebru raža sapresēta ruļļos, tad ar frontālā pacēlāja traktoru iekrauti smagajā mašīnā, lai vestu 30 km attālumā (turp un atpakaļ 60 km) uz šķiedru pārstrādes vietu. Kaņepāju un lini salmiņu pārstrādē ievērota vienāda tehnoloģija. Salmiņi tiek pārstrādāti uz automātiskas pārstrādes līnijas. Materiālu padod uz padeves galda, kam seko ruļļu atvērējs. Tam seko kulstītājs, kas apstrādā salmus, tos salaužot. Lai no šķiedrām atdalītu spaļus, ar pedāļu vibratoriem spaļi tiek atdalīti no šķiedrām. Šķiedras tiek padotas tālāk uz atvēršanas līniju. Visa procesa laikā tiek veikta putekļu nosūkšana [138].

Šādas pārstrādes līnijas kapacitāte normālā režīmā ir 1 t/h. Nominālā jauda visai līnijai ir aptuveni 150 kW (ķīpu atvērējs 3 kW, vibratori 30 kW, kulstītājs 105 kW, putekļu izvadīšana un šķiedras transportēšana 12 kW). Normālas darbības jauda tiek lēsta 75% no nominālās vērtības. Tādējādi elektroenerģijas patēriņš uz vienu tonnu salmiņu tiek lēsts aptuveni 112 kWh [138]. Elektroenerģiju piegādā no publiskā sadales tīkla.

PLA šķiedru izgatavošana un transportēšana. PLA granulu izgatavošanas un PLA šķiedru ekstrūzijas dati ņemti no Ecoinvent datu bāzes. PLA šķiedru pilna transportēšana no polimēra ražošanas vietas līdz kompozīta ražošanas vietai ietver trīs transportēšanas posmus: 436 km ar kravas transportu no PLA ražotnes Haipointā (*High Point, USA*) līdz ostai, 4210 jū ar kravas konteineru kuģi no ostas Čārlstonā (*Charleston, SC, USA*) līdz ostai Zēbrigē (*Zeebrugge, Belgium*), 1980 km ar kravas transportu no ostas Zēbrigē līdz neaustā materiāla-kompozīta ražotnei Jelgavas apkaimē.

Neausto materiālu izgatavošana. Abu kompozīciju *Hemp_nw* un *Flax_nw* NM izgatavošanas nominālā jauda visai līnijai ir aptuveni 55,5 kW (šķiedru irdinātājs 7,5 kW, šķiedru plīvura kārtosšanas iekārta 6 kW, cauradatošanas iekārta 36 kW, neaustā materiāla uzgriešanas un uztīšanas iekārta 6 kW, apgaismojuma nodrošināšana 7 kW). Normālas darbības jauda tiek lēsta 75% no nominālās vērtības. Tādējādi elektroenerģijas patēriņš uz vienu tonnu neaustā materiāla tiek lēsts aptuveni 47 kWh. Elektroenerģiju piegādā no publiskā sadales tīkla.

Kompozītu izgatavošana. Kompozītu izgatavošanas līnijas kapacitāte normālā režīmā ir neaustā materiāla izgatavošanas līnijas kapacitāte, kas summēta kopā ar karstās presēšanas-termoformēšanas iekārtu ar nominālo darbības jaudu 55 kW. Kopējā kompozīta izgatavošanas līnijas kapacitāte nominālā režīmā ir 117,5 kW un 88,1 kW normālā režīmā.

Salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums

Kaņepāju un linu stiebru pārstrādē šķiedra uzskatāma par galveno produktu, spaļi un putekļi kā blakusprodukti. Tā kā arvien pieaug spaļu izmantošana gan kompozītu, gan pakaišu

ražošanā, tad arī no šī blakusprodukta apsaimniekošanas ir iespējams gūt saimniecisku labumu. No kaņepāju salmu pārstrādes iegūtais produktu daudzumu no masas ņemts pēc 2012. gadā “Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā” veikto pētījumu datiem par kaņepāju šķiedras šķirni *Bialobrzесьkie* [132]. Informācija par linu salmu pārstrādi balstīta no Latvijas Lauku kultūraugu mēslošanas normatīviem [128]. Abiem kultūraugiem ekonomiskais sadalījums nedaudz variē atkarībā no N mēslošanas dozas – pieaugot mēslojuma apjomam, pieaug zaļās masas raža un līdz ar to arī iegūtais šķiedru daudzums. Kaņepājiem vidējais ekonomiskais sadalījums (2.7. tabula) šķiedrām ir 76,1 % un spaļiem 23,9 %. Liniem vidējais ekonomiskais sadalījums (2.8. tabula) šķiedrām ir 86,6 % un spaļiem 13,4 %.

2.7. tabula

Kaņepāju salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums

Produkts	Iegūtais daudzums (% no masas)	Cena (EUR/kg)	Sadalījuma faktors (%)			
			HN0	HN30	HN60	HN90
Šķiedra	35,5–43,7 [132]	1,55 [139–141]	75,3	76,1	76,3	76,5
Spaļi	51,1–59,7 [132]	0,35 [139–141]	24,7	23,9	23,7	23,5

2.8. tabula

Linu salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums

Produkts	Iegūtais daudzums (% no masas)	Cena (EUR/kg)	Sadalījuma faktors (%)				
			FN0	FN20	FN30	FN35	FN40
Šķiedra	24,5 [120]	2,68 [139, 140, 142]	86,6	86,6	86,6	86,6	86,6
Spaļi	51 [120]	0,20 [139, 140, 142]	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4

Pie NM ražošanas neizbēgama ir atgriezumų rašanās. Šos atgriezumus pēc atkārtotas kāršanas, sagatavojot šķiedras masu, var izmantot kāda cita neaustā materiāla izgatavošanā. Kaņepāju šķiedras saturošajam NM ekonomiskais sadalījums galvenajam produktam ir 77 % un atgriežumiem 23 %. Linu šķiedras saturošajam NM galvenajam produktam ekonomiskais sadalījums ir 87 % un atgriežumiem 13 %.

Secinājumi

Aprites cikla pētījuma mērķis ir izpētīt produkta ražošanas cikla ietekmi uz vidi un novērtēt videi draudzīgākos kaņepāju un linu šķiedru audzēšanas alternatīvos scenārijus. Divu dažādo funkcionālo vienību noteikšana ļauj salīdzināt ietekmi uz vidi starp abiem pētījumā

izstrādātajiem kompozītiem un tirgū esošu automašīnas bagāžas plaukta kompozītu. Funkcionālās vienības ietvaros visi kompozīti pielīdzināti vienādā biezumā 4,5 mm (tirgū esošā bagāžas plaukta biezums), gan pēc stiepes izturības – visiem kompozītiem pieņemot stiepes izturību 4,1 kN (atbilstoši tirgū esošā bagāžas plaukta izturībai).

Funkcionālās vienības ietvaros visi kompozīti pielīdzināti gan pēc stiepes izturības – visiem kompozītiem pieņemot stiepes izturību 4,1 kN (atbilstoši tirgū esošā bagāžas plaukta izturībai), gan pēc biezuma 4,5 mm (tirgū esošā bagāžas plaukta biezums).

Otrās nodaļas kopsavilkums

Kā alternatīva automašīnas salonā izmantojamu tekstilmateriālu izgatavošanā, līdz šim izmantotie polimēri tādi kā PET, PP, PA un PE tiek aizstāti ar no kaņepāju (40 mas. %) un PLA (60 mas. %) šķiedru maisījumu un tam paralēli izstrādātu līnu (40 mas. %) un PLA (60 mas. %) šķiedru maisījumu. Stiegrojumam izvēlētas kaņepāju un līnu šķiedras, kā arī matricai izvēlētais bioloģiski noārdošais PLA polimērs, ir 100 % dabīgas izcelsmes izejvielas. Kaņepes un līni ir ikgadēji iegūstami resursi. Gan kaņepāju, gan līnu šķiedru ieguve, to augšanas laikā ir saistāma ar CO₂ piesaisti no apkārtējās vides.

Gan izvēlētas augu šķiedras, gan PLA polimēršķiedra ir piemērotas NM izgatavošanai ar mehānisko adatu cauradatošanas metodi. Mehāniskā adatu cauradatošana ir ātrāzīga, bet atšķirībā no citām NM izgatavošanas metodēm ar daudz mazāku ietekmi uz vidi, jo neparedz ūdens resursu tērēšanu.

Promocijas darbā izvēlēto šķiedru maisījuma proporcija un NM struktūra izveidota tā, lai no NM ar termiskās presesēšanas metodes palīdzību iegūtu kompozītu. Termiskā presēšana, kā kompozīta izgatavošanas metode ir ietekmējusi NM struktūru. Materiāla ārējās plānotas tīra PLA šķiedru klājuma kārtas, lai siltuma ietekmē PLA polimēra šķiedras izkustu un aptvertu augu šķiedras, aizsargājot tās no tiešas sildvirsmu ietekmes. Kompozīta izgatavošanā ar presēšanu, svarīgi ir pareizi izvēlēti iekārtas tehnoloģiskie darba iestatījumi, tādi kā spiediens (3,75 bar), temperatūra (162 °C) un laiks (15 min.).

Gatavajiem NM un kompozītu paraugiem veikta blīvuma un virsmas blīvuma aprēķināšana un stiepes izturības noteikšana, kuri uzskatāmi par standarta materiāla novērtēšanas metodēm. Kompozītiem veiktā trīs punktu lieces pārbaude papildus raksturo mehāniskās īpašības. *Hemp_nw* veiktā akustisko īpašību pārbaude raksturo materiāla piemērotību izmantošanai skaņas absorbcijai, tai skaitā tos izmantojot automašīnas salona detaļās.

Aprites cikla pētījuma mērķis ir izpētīt produkta ražošanas cikla ietekmi uz vidi un novērtēt videi draudzīgākos kaņepāju un līnu šķiedru audzēšanas alternatīvos scenārijus. Promocijas darbā izstrādāto *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu un tirgū esošā automašīnas bagāžas plaukta poliamīda un stikla šķiedras kompozīta (*PA66/GF*) savstarpējai salīdzināšanai izmantotas divas funkcionālās vienības. Pirmās funkcionālās vienības gadījumā visiem kompozītiem pieņemta vienāda stiepes izturība – 4,1 kN (atbilstoši tirgū esošā bagāžas plaukta izturībai). Otrās funkcionālās vienības ietvaros visi kompozīti salīdzināti vienādā biezumā 4,5 mm (tirgū esošā bagāžas plaukta biezums).

3. Eksperimentālā daļa

3.1. Neausto materiālu īpašību salīdzinoša analīze

Apakšnodaļā ir apkopoti kaņepāju un PLA šķiedru saturošo NM (turpmāk tekstā *Hemp_nw*) un linu un PLA šķiedru saturošo NM (turpmāk tekstā *Flax_nw*) vizuālo, fizikālo un mehānisko īpašību salīdzinošas analīzes rezultāti. *Hemp_nm* novērtētas akustiskās īpašības.

Neausto materiālu salīdzinoša vizuāla analīze

Abu kompozīciju – *Hemp_nw* un *Flax_nw* NM paraugu vizuāla novērtēšana veikta:

- 1) bez tehniskiem palīgīdzekļiem,
- 2) ar optisko mikroskopu.

Abu kompozīciju NM ir gaišā krāsā, ko nodrošina baltās PLA šķiedras ar tumšākas krāsas iesegumiem, ko rada augu šķiedras. Uz visām paraugu sloksņu virsmām cauradatošanas procesa darba virzienā labi redzamas regulāras formas adatu dūrienu pēdas, kas ar regulāri atkārtjošu intervālu veido iedobju līnijas. Pēc materiāla virsmā iestrādātajām adatu iedobju līnijām – to garumu attiecībai pret parauga sloksni ir nosakāms tā izciršanas virziens. Paraugu 1. un 3. sloksnes izcirstas materiālā paralēli mašīnas darba virzienam (0°), adatu iestrādātas regulāri atkārtjošās iedobju līnijas ir paralēlas sloksņu garākajām malām, 5. sloksnes izcirstas perpendikulāri mašīnas darba virzienam (90°) – regulāri atkārtjošās iedobju līnijas ir paralēlas sloksnes īsākajai malai (3.1. un 3.2. att.). Materiāla cauradatošana veikta no vienas materiāla puses, no šīs puses cauradatošanas procesā radušās darba līniju iedobes vairāk redzamas nekā adatas darba virzienam pretējā virsmas pusē. Virsējā slānī, no cauradatošanas adatu dēļa darba virziena puses šķiedras caursūtas blīvāk.



a)



b)



c)



d)



e)

3.1. att. *Hemp_nw* paraugu: a) *Hemp_nw_1*; b) *Hemp_nw_2*; c) *Hemp_nw_3*, d) *Hemp_nm_4* un e) *Hemp_nm_4* sloksnes.

Hemp_nw paraugi (3.1. att.) ir viendabīgāk cauradototi, jo to virsmā redzami kaņepāju šķiedru iesegumi. Vizuāli redzams, ka *Hemp_nw* ir plānāki nekā *Flax_nw*. Cauradatošanas labāka kvalitāte nodrošina lielāku materiāla stingrību. *Flax_nw* paraugu virsma ir gaišāka (3.2. att.) un to krāsojums vienmērīgāks. *Flax_nw* gaišais tonis liecina ne tikai demonstrē, ka

linu šķiedras ir gaišākas par kaņepāju šķiedrām, bet arī par ne tik blīvu šķiedru mehānisku sasaisti. Tā kā NM ārējos slāņos ir PLA šķiedras, tad tās ietekmē arī NM kopējo krāsu.



a)



b)

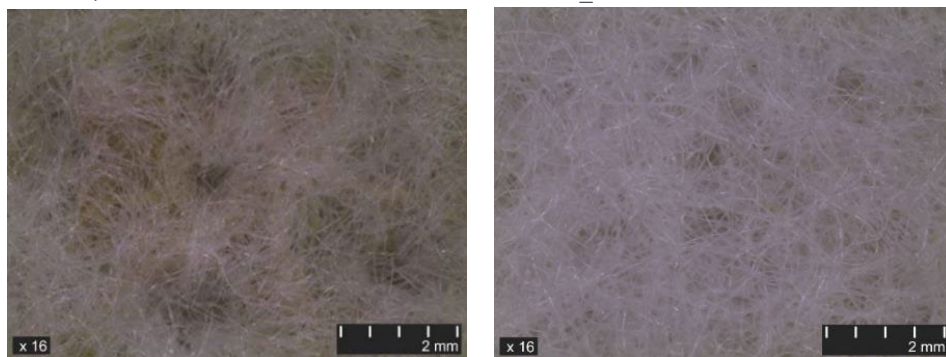


c)

3.2. att. *Flax_nw* paraugu: a) *Flax_nw_1*; b) *Flax_nw_2* un c) *Flax_nw_3* sloksnes.

Adatu atstātās iedobes materiāla virsmā labi redzamas arī abu kompozīciju NM paraugu optiskā mikroskopa 16 reižu lielā palielinājumā (*Hemp_nw* 3.3. att. un *Flax_nw* 3.4. att.). Abu kompozīciju materiālu gadījumā adatu atstātās iedobes izteiktāk redzamas cauradatošanas adatu darba virzienā. Paraugu virsmā pretēji cauradatošanas adatu dēļa darba virzienam adatu atstātās

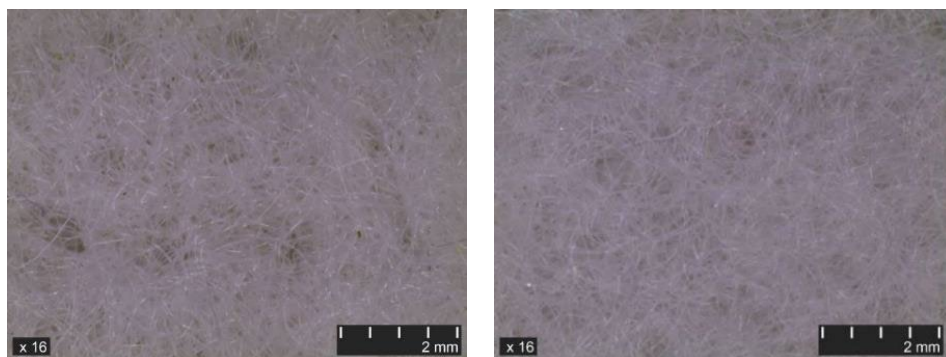
iedobes sastopamas retāk un ir mazākas pēc izmēra. Hemp_nw virsmā, kas pretēja adatu darba virzienam, adatu atstātās iedobes ir izteiktākas nekā *Flax_nw*.



a)

b)

3.3. att. *Hemp_nw* NM parauga virsma: a) cauradatošanas adatu darba virzienā; b) pretēji cauradatošanas adatu darba virzienam.

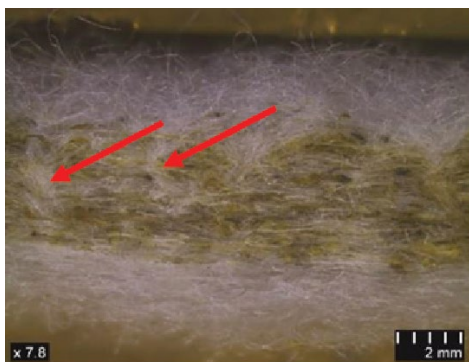


a)

b)

3.4. att. *Flax_nw* NM paraugu virsma: a) cauradatošanas adatu darba virzienā; b) pretēji cauradatošanas adatu darba virzienam.

Optiskajā palielinājumā NM paraugu šķērs griezumā ataino materiāla daudzslāņu (*sendvičtipa*) uzbūvi: ārējos slāņus veido PLA šķiedru klājuma kārtas (šķiedras baltā krāsā), iekšpusē atrodas jaukto šķiedru (augu un PLA) klājuma kārtas. Šķērs griezumā redzami vertikālie baltas krāsas, galvenokārt PLA, šķiedru iesegumi parāda cauradoto adatu darba ceļu. Abu kompozīciju šķērs griezumā 3.5. att. izteiktāk redzams, kā adatas no PLA augšējās šķiedru klājuma kārtas aizķer šķiedras un vertikāli cauršuj augu un PLA šķiedru klājuma kārtu. Apakšējās PLA šķiedru klājuma kārtas caursūta vājāk. Šķērs griezumā redzams, ka *Flax_nw* NM lina šķiedras un materiāla tonis ir vienmērīgāks nekā kaņepāju (kaņepāju šķiedrām ir plašāka toņu variācija) šķiedras otrā materiālā.



a)



b)

3.5. att. NM šķērs griezumi: a) *Hemp_nw* paraugs; b) *Flax_nw* paraugs.

Neausto materiālu tehniskās īpašības

Precizēti NM paraugu ģeometriskie parametri, masa, blīvums un virsmas blīvums, kas sakopoti 3.1.–3.6. tabulās. *Hemp_nw* paraugu *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3*, *Hemp_nw_5* vidējais biezums variē no 7,0–8,8 mm jeb nepilnu 25 % robežās, skatīt 3.1. tabulu.

3.1. tabula

Hemp_nw NM paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības

Paraugs	Sloksne	Garums (mm)	Platums (mm)	Biezums (mm)	Virsmas laukums (mm ²)	Masa (g)
<i>Hemp_nw_1</i>	1	300	50	8,9	15000	13,4
	3	300	50	8,5	15000	13,8
	5	300	50	8,7	15000	12,7
	vid	300	50	8,7	15000	13,3
<i>Hemp_nw_2</i>	1	300	50	9,2	15000	13,4
	3	300	50	8,2	15000	13,1
	5	300	50	7,6	15000	11,9
	vid	300	50	8,3	15000	12,8
<i>Hemp_nw_3</i>	1	300	50	8,8	15000	14,4
	3	300	50	8,8	15000	13,9
	5	300	50	8,7	15000	13,4
	vid	300	50	8,8	15000	13,9
<i>Hemp_nw_5</i>	1	300	50	7,0	15000	13,4
	3	300	50	7,2	15000	12,7
	5	300	50	6,9	15000	12,9
	vid	300	50	7,0	15000	13,0

Flax_nw paraugiem *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2*, *Flax_nw_3* vidējais biežums variē amplitūdā no 13,6–14,9 mm jeb nepilnu 10 % robežās, skatīt 3.2. tabulu. *Flax_nw* paraugi ir 1,9 (apakšējā robeža) reizes un 1,7 (augšējā robeža) reizes biežāki par *Hemp_nw*.

3.2. tabula

Flax_nw NM paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības

Paraugšs	Sloksne	Garums (mm)	Platums (mm)	Biezums (mm)	Virsmas laukums (mm ²)	Masa (g)
<i>Flax_nw_1</i>	1	300	50	14,6	15000	18,9
	3	300	50	12,6	15000	18,5
	5	300	50	13,5	15000	17,0
	vid	300	50	13,6	15000	18,1
<i>Flax_nw_2</i>	1	300	50	13,1	15000	18,3
	3	300	50	14,7	15000	18,3
	5	300	50	14,0	15000	16,0
	vid	300	50	13,9	15000	17,5
<i>Flax_nw_3</i>	1	300	50	15,5	15000	17,7
	3	300	50	14,4	15000	18,4
	5	300	50	14,7	15000	17,1
	vid	300	50	14,9	15000	17,7

Abu kompozīciju NM izgatavošanai izmantota vienāda kopējā šķiedru masa, ievērojot vienādu augu un PLA šķiedru proporciju. Saskaņā ar veiktajiem mērījumiem, *Hemp_nw* paraugu slokšņu (50 mm x 300 mm) vidējā masa (starp paraugu sloksnēm *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3*, *Hemp_nw_5*) variē no 12,8–13,9 g jeb nepilnu 9 % robežās (3.1. tabula). Kompozīcijas *Flax_nw* NM paraugu (starp paraugu sloksnēm *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2*, *Flax_nw_3*) vidējā masa variē no 17,5–18,1 g jeb 3 % robežās (3.2. tabula). Salīdzinot abu kompozīciju NM paraugus, lielāka masa un blīvums ir *Flax_nw* paraugiem. *Flax_nw* paraugi ir vismaz par 34 % smagāki par *Hemp_nw*.

Hemp_nw blīvuma vērtības (3.3. tabula) paraugu sloksnēm mašīnas darba virzienā (ārmalās un vidū) un perpendikulāri mašīnas darba virzienam ir tuvas – blīvuma vērtības variē 2 % robežās. Lai arī blīvuma vērtību amplitūda atkarībā no parauga izgatavotā darba virziena ir neliela, tomēr materiāla vidējā relatīvā kļūda ir uzskatāma par diezgan augstu – 5,5 %. Blīvuma faktiskās vērtības liecina par *Hemp_nw* struktūru vienmērīgumu neatkarīgi no sloksnes atrašanās vietas paraugā. *Hemp_nw* vidējais blīvums 108,3 kg/m³ ir ~ 28 % blīvāks par *Flax_nw* vidējo blīvumu (84,4 kg/m³).

Hemp_nw NM paraugu blīvums

<i>Hemp_nw</i> paraugi	Ārmala darba virzienā (1. sloksne) (kg/m ³)	Vidus darba virzienā (3. sloksne) (kg/m ³)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (5. sloksne) (kg/m ³)	Kopējais vid. (kg/m ³)
<i>Hemp_nw_1</i>	100,8	108,6	97,6	
<i>Hemp_nw_2</i>	96,6	106,4	103,8	
<i>Hemp_nw_3</i>	108,8	105,2	102,6	
<i>Hemp_nw_5</i>	127,0	118,3	124,3	
Vid. blīvums	108,3	109,6	107,1	108,3
Vid. vērtējuma intervāls	108±16	110±7	107±19	108±6
Relatīvā kļūda	14,7 %	6,4 %	17,5 %	5,5 %

Flax_nw blīvuma rezultātos (3.4. tabula) redzama atšķirība starp paraugiem, kas iegūti perpendikulāri mašīnas darba virzienam un paraugiem mašīnas darba virzienā variē ~ 12 % robežās. Kopējā materiāla vidējā relatīvā kļūda ir 6,3 % un ir par aptuveni 15 % lielāka par *Hemp_nw* kopējo vidējo relatīvo kļūdu. Salīdzinājumā ar kaņepāju kompozīciju, linu šķiedras saturošā NM kompozīcijā blīvuma vērtības ir 5,2 reizes mainīgākas.

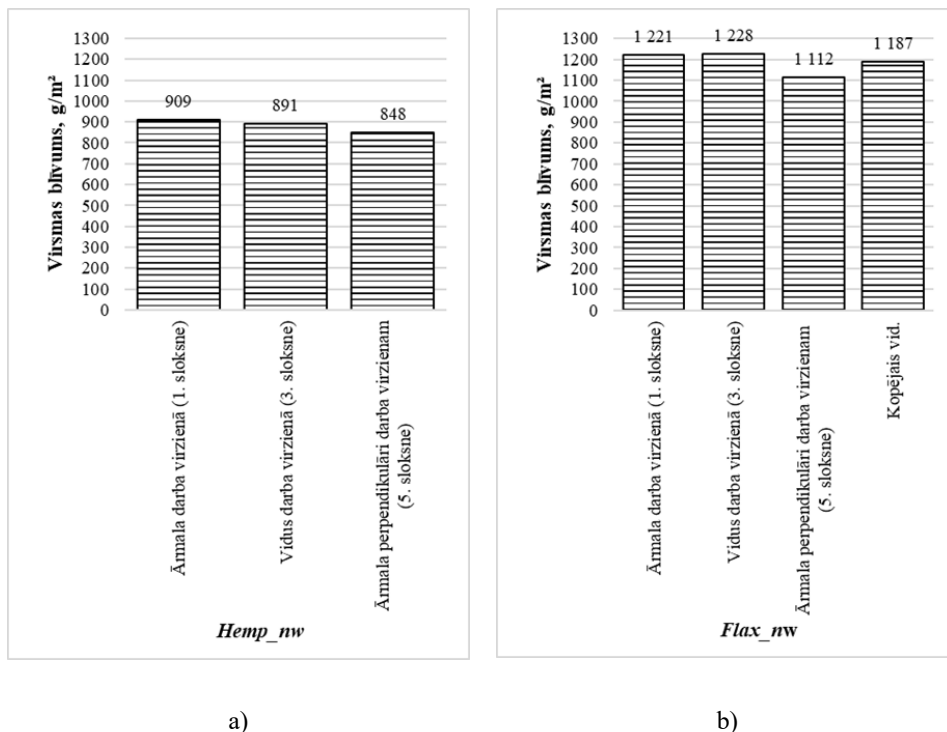
3.4. tabula

Flax_nw NM paraugu blīvums

<i>Flax_nw</i> paraugi	Ārmala darba virzienā (1. sloksne) (kg/m ³)	Vidus darba virzienā (3. sloksne) (kg/m ³)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (5. sloksne) (kg/m ³)	Kopējais vid. (kg/m ³)
<i>Flax_nw_1</i>	86,5	97,7	83,7	
<i>Flax_nw_2</i>	92,9	83,2	76,3	
<i>Flax_nw_3</i>	76,0	85,6	77,4	
Vid. blīvums	85,1	88,9	79,1	84,4
Vid. vērtējuma intervāls	85±13	89±11	79±10	84±5
Relatīvā kļūda	14,9 %	12,9 %	12,6 %	6,3 %

3.6. attēla diagrammas demonstrē NM virsmas blīvuma atkarību no darba virziena, kurā paraugi izcirsti. Diagrammās ir uzskatāmi redzamas, ka abu materiālu gadījumā izteikti zemākas vērtības ir tiem paraugiem, kas atrodas ne tikai materiāla ārmalā, bet arī to izgatavošanas darba virziens ir perpendikulārs mašīnas darba virzienam. *Hemp_nw* perpendikulāri mašīnas darba virzienam paraugu virsmas blīvuma vērtības, salīdzinot ar šī paša

materiāla paraugiem mašīnas darba virzienā, ir zemākas 5–7 % robežās, *Flax_nw* NM gadījumā atšķirība ir lielāka — paraugu vērtības perpendikulāri mašīnas darba virzienam ir 10 % robežās. Pēc paraugu izciršanas virziena no materiāla, *Hemp_nw* visaugstākā virsmas blīvuma vērtība sastopama ārmalas paraugos mašīnas darba virzienā. *Flax_nw* gadījumā paraugu virsma visblīvākā ir vidū esošam paraugam mašīnas darba virzienā.



3.6. att. NM virsmas blīvuma atkarība no parauga izciršanas virziena: a) kaņepāju un PLA šķiedras saturošais *Hemp_{nw}*; b) linu un PLA šķiedras saturošais *Flax_{nw}*.

Ņemot vērā virsmas blīvuma vērtību atšķirības starp paraugu sloksnēm mašīnas darba virzienā un perpendikulāri mašīnas darba virzienam, ir lietderīgi aprēķināt katras kompozīcijas NM vidējo virsmas blīvumu. Abu kompozīciju salīdzinājumā, *Hemp_{nw}* materiāla vidējā virsmas blīvuma vērtība (detalizēts vērtību izklāsts 3.5. tabulā) ir par 35 % mazāka nekā *Flax_{nw}* (detalizēts vērtību izklāsts 3.6. tabulā) kompozīcijas materiālam.

Hemp_nw NM virsmas blīvums

Hemp_nw paraugi	Ārmala darba virzienā (1. sloksne) (g/m²)	Vidus darba virzienā (3. sloksne) (g/m²)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (5. sloksne) (g/m²)	Kopējais vid. (g/m²)
<i>Hemp_nw_1</i>	895	918	849	
<i>Hemp_nw_2</i>	891	873	792	
<i>Hemp_nw_3</i>	959	924	892	
<i>Hemp_nw_5</i>	891	848	859	
Vid. virsmas blīvums	909	891	848	883
Vid. vērtējuma intervāls	909±39	891±43	848±66	883±26
Relatīvā kļūda	4,3 %	4,8 %	7,8 %	2,9 %

3.6. tabula

Flax_nw NM virsmas blīvums

Flax_nw paraugi	Ārmala darba virzienā (1. sloksne) (g/m²)	Vidus darba virzienā (3. sloksne) (g/m²)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (5. sloksne) (g/m²)	Kopējais vid. (g/m²)
<i>Flax_nw_1</i>	1261	1233	1133	
<i>Flax_nw_2</i>	1221	1222	1066	
<i>Flax_nw_3</i>	1181	1229	1139	
Vid. blīvums	1 221	1 228	1 112	1 187
Vid. vērtējuma intervāls	1221±59	1228±8	1112±101	1187±45
Relatīvā kļūda	4,8 %	0,6 %	9,1 %	3,8 %

Hemp_nw NM virsmas blīvuma vidējā relatīvā kļūda ir ~ 1,9 reizes mazāka par šī paša materiāla blīvuma vidējo relatīvo kļūdu. *Flax_nw* virsmas blīvuma relatīvā kļūda attiecībā pret šīs kompozīcijas blīvuma relatīvo kļūdu ir ~ 1,7 reizes mazāka.

Neausto materiālu stiepes izturības īpašības

Stiepes izturības un deformācijas testiem pakļautas abu kompozīciju NM 1. un 3. sloksnes (mašīnas darba virzienā) un 5. sloksnes (perpendikulāri mašīnas darba virzienam) paraugos: *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3*, *Hemp_nw_5*, *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2* un *Flax_nw_3*. Kur paraugi ar marķējumu *Hemp_nw* ir kaņepāju un PLA šķiedru saturošie NM, bet *Flax_nw*

ir linu un PLA šķiedru saturošie NM. Stiepes izturības testu rezultāti atspoguļoti 3.7. tabulā *Hemp_nw* NM kompozīcijai un 3.8. tabulā *Flax_nw* NM kompozīcijai.

3.7. tabula

Hemp_nw NM stiepes izturība

<i>Hemp_nw</i>							
Sloksnes kods	Parauga šķērs-griezuma laukums	Maks. spēks (F_{max})	Maks. robežspriegums stiepē (σ_{max})	Sagraušanas spēks (F_s)	Sagraušanas robežspriegums stiepē (σ_s)	Stiepes deformācija pie maks. spēka (ϵF_{max})	Sagraušanas stiepes deformācija (ϵ_s)
	(mm ²)	(N)	(MPa)	(N)	(MPa)	(%)	(%)
<i>Hemp_nw_1-1</i>	444	23	0,05	6	0,01	31,8	42,2
<i>Hemp_nw_1-3</i>	423	25	0,06	6	0,01	28,7	36,3
<i>Hemp_nw_1-5</i>	435	21	0,05	5	0,01	40,2	47,3
<i>Hemp_nw_2-1</i>	461	23	0,05	6	0,01	35,9	45,4
<i>Hemp_nw_2-3</i>	410	23	0,06	6	0,01	29,4	38,0
<i>Hemp_nw_2-5</i>	382	21	0,05	5	0,01	41,6	50,7
<i>Hemp_nw_3-1</i>	441	29	0,07	7	0,02	37,1	46,2
<i>Hemp_nw_3-3</i>	439	26	0,06	7	0,01	31,7	39,1
<i>Hemp_nw_3-5</i>	435	23	0,05	6	0,01	45,6	51,6
<i>Hemp_nw_5-1</i>	415	35	0,10	9	0,02	35,6	46,2
<i>Hemp_nw_5-3</i>	351	31	0,09	8	0,02	39,4	45,1
<i>Hemp_nw_5-5</i>	359	27	0,08	7	0,02	35,7	47,1

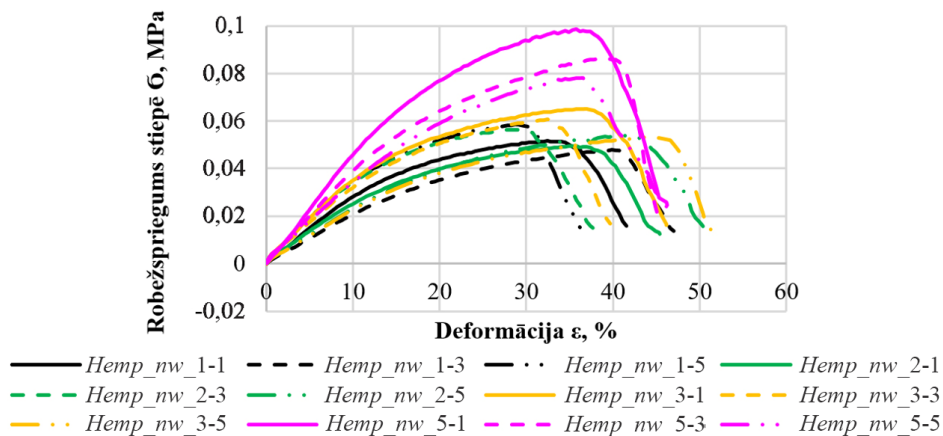
Hemp_nw paraugiem mašīnas darba virzienā σ_{max} variē amplitūdā no 0,05 MPa–0,1 MPa, stiepes izraisītais pagarinājums jeb materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ variē robežās no ~ 29–39 %. Salīdzinājumam, perpendikulāri mašīnas darba virzienam šīs pašas kompozīcijas NM paraugu σ_{max} variē no 0,05–0,08 MPa. Perpendikulāri mašīnas darba virzienam materiāla pagarinājuma amplitūda jeb $\epsilon_{F_{max}}$ variē ~ 36–46 %. Analizējot iegūtos σ_{max} rezultātus var secināt, ka abu NM izturības rādītājus ietekmē mašīnas darba virziens, kādā ir izcirstas paraugu sloksnes – mašīnas darba virzienā šim pašam materiālam stiepes izturība ir augstāka. NM σ_{max} mašīnas darba virzienā ir 25 % augstāka par šīs pašas kompozīcijas materiāliem perpendikulāri mašīnas darba virzienam. *Hemp_nw* paraugiem orientētiem mašīnas darba virzienā materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ apakšējā robeža ir par 25 % mazāks nekā tādām pašām materiālam perpendikulāri mašīnas darba virzienā. Savukārt materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ augšējā robeža par 16 % augstāka ir materiālam perpendikulāri mašīnas darba virzienā.

Flax_nw NM stiepes izturība

<i>Flax_nw</i>							
Sloksnes kods	Parauga šķērs-griezums a laukums (mm ²)	Maks. spēks (F _{max}) (N)	Maks. robež - spriegums stiepē (σ _{max}) (MP)	Sagraušanas spēks (F _s) (N)	Sagraušanas robežspriegums stiepē (σ _s) (MPa)	Stiepes deformācija pie maks. spēka (ε _{Fmax}) (%)	Sagraušanas stiepes deformācija (ε _s) (%)
<i>Flax_nw_1-1</i>	729	38	0,05	9	0,01	56,2	68,5
<i>Flax_nw_1-3</i>	631	42	0,07	10	0,02	55,5	67,6
<i>Flax_nw_1-5</i>	676	36	0,05	9	0,01	39,9	47,0
<i>Flax_nw_2-1</i>	658	35	0,05	9	0,01	56,5	67,7
<i>Flax_nw_2-3</i>	734	41	0,06	10	0,01	59,0	67,1
<i>Flax_nw_2-5</i>	698	28	0,04	7	0,01	42,4	52,1
<i>Flax_nw_3-1</i>	777	25	0,03	6	0,01	49,0	59,6
<i>Flax_nw_3-3</i>	718	40	0,06	10	0,01	55,8	66,6
<i>Flax_nw_3-5</i>	736	31	0,04	8	0,01	46,6	55,4

Flax_nw paraugiem mašīnas darba virzienā σ_{max} variē 0,03–0,07 MPa amplitūdā, stiepes izraisītais pagarinājums jeb materiāla ϵ_{Fmax} variē robežās no ~ 49–59 %. Salīdzinājumam, perpendikulāri mašīnas darba virzienam šīs pašas kompozīcijas NM σ_{max} variē no 0,04 MPa–0,05 MPa, materiāla ϵ_{Fmax} amplitūda variē no ~ 40–47 %. *Flax_nw* NM σ_{max} apakšējā robeža par 28 % augstāka paraugiem perpendikulāri mašīnas darba virzienā, savukārt augšējā robeža par 25 % augstāka ir materiālam mašīnas darba virzienā. Pretstatā *Hemp_nw* NM kompozīcijai, *Flax_nw* NM mazāks materiāla ϵ_{Fmax} novērots paraugam perpendikulāri mašīnas darba virzienam – apakšējā robeža zemāka par 23 %, augšējā robeža zemāka par 27 %.

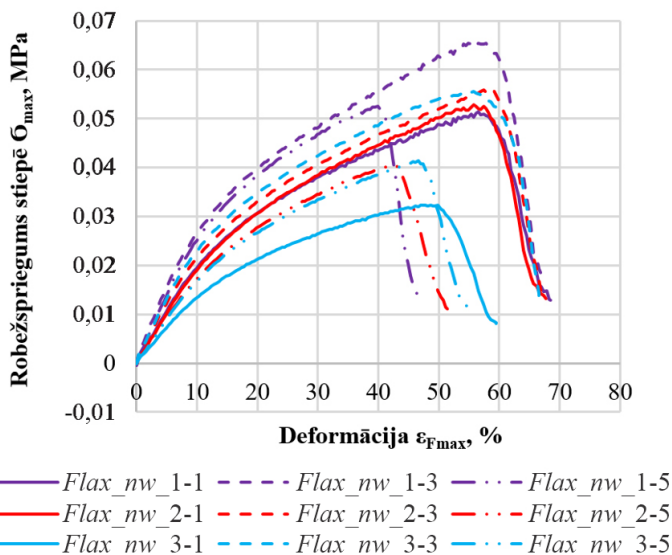
Savstarpējā abu kompozīciju salīdzinājumā *Hemp_nw* NM σ_{max} ir par ~ 1,6 reizēm augstāks robežsprieguma vērtību apakšējā robežā un par 1,5 reizēm augstāka augšējo vērtību diapazonā. Savukārt savstarpējā materiālu ϵ_{Fmax} salīdzinājumā, lielāku materiāla pagarinājumu uzrāda *Flax_nw* kompozīcija – apakšējā robeža lielāka par 39 %, augšējā robeža lielāka par 29 %.



3.7. att. *Hemp_nw* robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugos: *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3* un *Hemp_nw_5*.

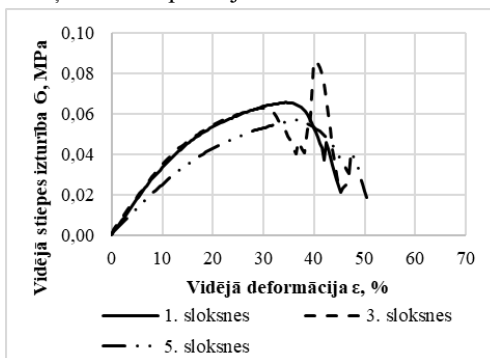
Iepriekš ar skaitliskām vērtībām aprakstītos *Hemp_nw* σ_{\max} un materiāla $\varepsilon_{F_{\max}}$ grafiski demonstrē stiepes robežspriegumu-deformācijas līknes (3.7. attēls). No grafika redzams, ka uz kopējo stiepes izturības rezultātu fona izceļas *Hemp_nw_5* parauga stiepes robežsprieguma-deformāciju līknes, savukārt *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_3* paraugu stiepes robežspriegumu-deformācijas līknes izkārtotas līdzīgā vērtību diapazonā. Attiecībā pret materiāla ε nav redzama kāda konkrēta parauga dominēšana ar izteikti zemām vai augstām vērtībām. Visciešākā $\varepsilon_{F_{\max}}$ rezultātu amplitūda sastopama *Hemp_nw_5* parauga līknēm.

Flax_nw paraugu stiepes izturības rezultātu atšķirības un tendenču attēlojums demonstrēts 3.8. attēla stiepes robežspriegumu-deformācijas līkņu diagrammās. Neatkarīgi no parauga izgatavošanas mašīnas darba virziena, robežsprieguma stiepes-deformācijas līknes gan pēc σ_{\max} , gan ε iedalāmas divās grupās. Pirmajā grupā paraugi ar zemākām vērtībām, kur σ_{\max} variē $\sim 0,03\text{--}0,04$ MPa amplitūdā, bet $\varepsilon_{F_{\max}} \sim 46\text{--}60$ % amplitūdā. Otrajā grupā paraugi ar augstākām vērtībām, kur σ_{\max} variē $\sim 0,05\text{--}0,07$ MPa amplitūdā, bet $\varepsilon_{F_{\max}}$ ap 67 %.

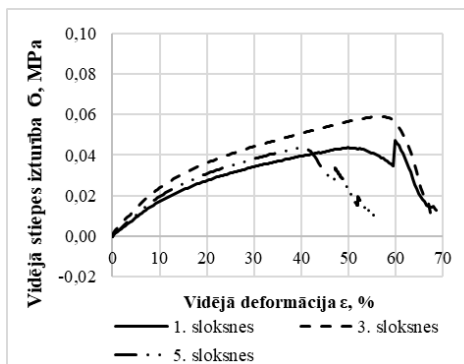


3.8. att. *Flax_nw* robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2* un *Flax_nw_3*.

Savstarpēji salīdzinot abu kompozīciju NM (3.9. un 3.10. att.) vidējās vērtības, augstāka $\sigma_{\max \text{ vid}}$ un mazāka materiāla $\epsilon_{F\max \text{ vid}}$ novērojama *Hemp_nw* mašīnas darba virzienā izcirstajām paraugu sloksnēm. *Hemp_nw* $\sigma_{\max \text{ vid}}$ vērtība ir 0,06 MPa jeb par 28 % augstāka nekā *Flax_nm*. Kaņepājus saturošajai NM kompozīcijai ir ~ 36 % liela $\epsilon_{\text{vid } F\max}$ un tas ir par 42 % mazāk nekā lina šķiedru kompozīcijai.



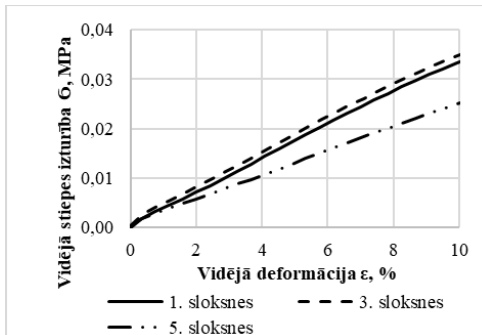
3.9. att. *Hemp_nw* vidējais robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3* un *Hemp_nw_5*.



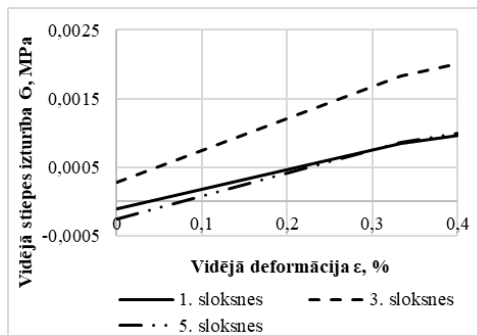
3.10. att. *Flax_nw* vidējais robežspriegums stiepē 1., 3. un 5. slokšņu paraugiem: *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2* un *Flax_nw_3*.

Hemp_nw, salīdzinājumā ar *Flax_nw*, šķiedras ir ciešāk sasaistītas – to apstiprina ne tikai vizuāla novērtēšana, bet arī stiepes izturības rezultāti. *Hemp_nw* ciešāka šķiedru sasaiste ir atstājusi zemāku ietekmi uz materiāla $\epsilon_{F\max \text{ vid}}$. Iepriekšminētais apstiprina cauradatošanas laikā radušos ciešākas šķiedru sasaistīšanās ietekmi uz $\sigma_{\max \text{ vid}}$ rezultātiem. Salīdzinājumam *Flax_nw* uzskatāmi vājāka šķiedru sasaiste izskaidro lielāku materiāla pagarinājumu un līdzīgo $\sigma_{\max \text{ vid}}$ sloksnēm abos mašīnas darba virzienos.

Kā prognozēts metodiskajā daļā, abu kompozīciju NM stiepes robežspriegumu-deformācijas līknei piemīt plastisku materiālu stiepes spriegumu-deformācijas raksturlienes raksturs. Atbilstoši plastisko materiālu raksturlienes raksturam, arī Hemp_nw un Flax_nw stiepes robežspriegumu līknes iedomājami sadalāmas elastīgas deformācijas apgabalā, plastisko deformāciju apgabalā un parauga kakliņa plastiskās deformācijas apgabalā.

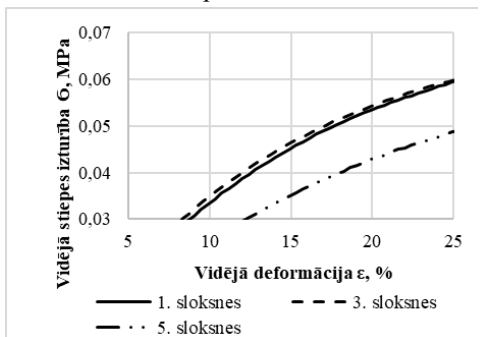


3.11. att. *Hemp_nw* vidējais maksimālais robežspriegums stiepē – elastīgas deformācijas apgabalā 1., 3. un 5. sloksņu paraugiem: *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3* un *Hemp_nw_5*.

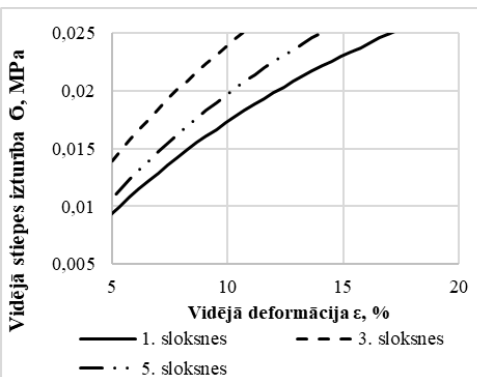


3.12. att. *Flax_nw* vidējais maksimālais robežspriegums stiepē – elastīgas deformācijas apgabalā 1., 3. un 5. sloksņu paraugiem: *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2* un *Flax_nw_3*.

Elastīgas deformācijas apgabalā $\sigma_{\max \text{ vid}}$ izturības tendence (3.11. un 3.12. att.) demonstrē, ka *Hemp_nw* stiepes $\sigma_{\max \text{ vid}}$ amplitūda, kurās noris elastīgās deformācijas, ir lielāka par *Flax_nw*. *Hemp_nw* stiepes robežsprieguma-deformācijas līknes demonstrē, ka elastības robeža novērojama aptuveni pie $\sigma_{\max \text{ vid}}$ 0,01–0,02 MPa, kas sasniegta pie aptuveni 5 % lielas materiāla $\varepsilon_{F_{\max \text{ vid}}}$ vērtības. *Flax_nw* elastības robeža variē amplitūdā no aptuveni $\sigma_{\max \text{ vid}}$ 8,00E-0,4 MPa līdz 1,80E-0,3 MPa pie materiāla $\varepsilon_{F_{\max \text{ vid}}}$ līdz 0,4 %.



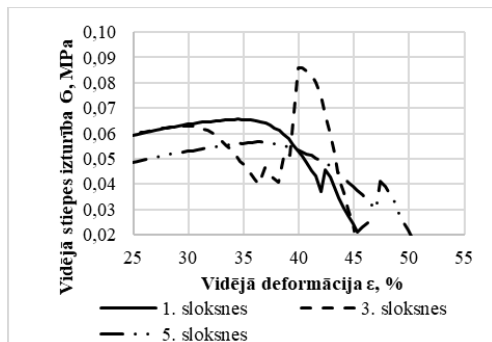
3.13. att. *Hemp_nw* vidējais robežspriegums stiepē – plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. sloksņu paraugiem: *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3* un *Hemp_nw_5*.



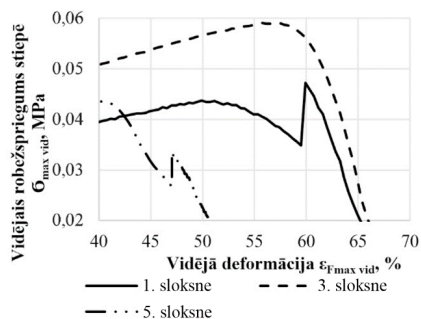
3.14. att. *Flax_nw* vidējais robežspriegums stiepē – plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. sloksņu paraugiem: *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2* un *Flax_nw_3*.

Atšķirības starp abiem NM materiāliem skaidrāk redzamas plastisko deformāciju apgabalā (3.13. un 3.14. att.). Vidējā tecēšanas robeža plastisko deformāciju apgabalā *Hemp_nw* salīdzinājumā ar *Flax_nw* turpina palielināties un variē aptuvenā amplitūdā no $\sigma_{\max \text{ vid}}$ 0,03–

0,04 MPa jeb materiāls ir izturīgāks par 67 % apakšējā robežā un 40 % augšējā robežā. Vidējā materiāla $\epsilon_{F_{max}} \text{ vid}$ vērtības salīdzinājumā ar otras kompozīcijas NM samazinās un variē amplitūdā no 8–12 %, kas attiecībās pret līnu šķiedras saturošo kompozīciju ir mazāk par 13 % apakšējā robežā un 8 % augšējā robežā. $Flax_nw$ vidējā tecēšanas robeža variē no $\sigma_{max \text{ vid}}$ 0,02–0,03 MPa, sasniedzot 9–13 % lielu materiāla $\epsilon_{F_{max}} \text{ vid}$.



3.15. att. *Hemp_nw* vidējais robežspriegums stiepē – kakliņa plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. sloksņu paraugiem: *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2*, *Hemp_nw_3* un *Hemp_nw_5*.



3.16. att. *Flax_nw* vidējais robežspriegums stiepē – kakliņa plastisko deformāciju apgabalā 1., 3. un 5. sloksņu paraugiem: *Flax_nw_1*, *Flax_nw_2* un *Flax_nw_3*.

Abu NM salīdzinājumā galvenās atšķirības parādās parauga lokālajā apgabalā. 3.15. un 3.16. attēlos demonstrētas neviemērīgas vidējās vērtības pa paraugu sloksņu veidiem, kas veidojās pēc materiāla maksimālo sagraušanas robežspriegumu stiepē sasniegšanas. *Hemp_nw* vidējie $\sigma_{max \text{ vid}}$ sasniegti amplitūdā no 0,05–0,07 MPa un vidējā materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ variē no 30–36 %. Salīdzinājumam *Flax_nw* vidējā $\epsilon_{F_{max}} \text{ vid}$, sasniedzot $\sigma_{max \text{ vid}}$ variē 0,04–0,06 MPa amplitūdā, un tas ir par 16 % apakšējā robežā un 19 % augšējā robežā mazāk nekā kaņepāju šķiedras saturošajam NM. Vidējā materiāla $\epsilon_{F_{max}} \text{ vid}$ *Flax_nw* ir amplitūdā no ~ 40–56 % jeb vairāk par 33 % apakšējā robežā un 56 % augšējā robežā kā *Hemp_nw*.

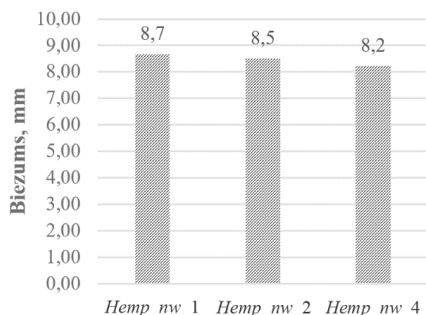
Secinājumi par stiepes izturības īpašībām: abu NM izturības rādītājus ietekmē mašīnas darba virziens, kādā ir orientētas pārbaudītās paraugu sloksnes — mašīnas darba virzienā materiālam stiepes izturība ir augstāka. *Hemp_nw* paraugiem orientētiem mašīnas darba virzienā materiāla σ_{max} variē 0,05–0,1 MPa amplitūdā, perpendikulāri mašīnas darba virzienam σ_{max} variē no 0,05–0,08 MPa. Stiepes izraisītais pagarinājums jeb materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ paraugiem, kuri orientēti mašīnas darba virzienā, variē robežās no ~ 29–39 %, perpendikulāri mašīnas darba virzienam $\epsilon_{F_{max}}$ variē ~ 36–46 %. *Flax_nw* paraugiem mašīnas darba virzienā σ_{max} variē amplitūdā no 0,03–0,07 MPa, bet perpendikulāri mašīnas darba virzienam σ_{max} variē no 0,04–0,05 MPa. *Flax_nw* materiāla pagarinājums paralēli mašīnas darba virzienam $\epsilon_{F_{max}}$ variē robežās no ~ 49–59 %, perpendikulāri mašīnas darba virzienam $\epsilon_{F_{max}}$ variē no ~ 40–47 %.

Savstarpēji salīdzinot *Hemp_nw* un *Flax_nw* vidējās vērtības, augstāka sprieguma $\sigma_{max \text{ vid}}$ un mazāks materiāla pagarinājums $\epsilon_{F_{max}} \text{ vid}$ novērojams kaņepāju šķiedras saturošajam NM mašīnas darba virzienam paralēli izcirstajām paraugu sloksnēm. *Hemp_nw* NM $\sigma_{max \text{ vid}}$ vērtība ir 0,06 MPa jeb par 28 % augstāka nekā *Flax_nw*. Kaņepju šķiedras saturošajai NM

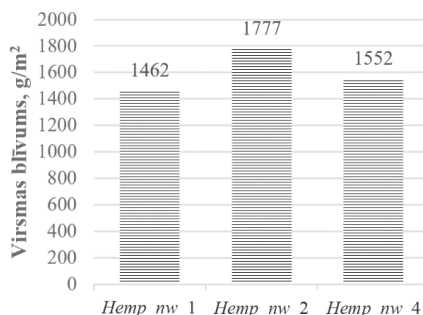
kompozīcijai materiāla pagarinājums $\epsilon_{\text{vid } F_{\text{max}}}$ ir $\sim 36\%$ liels un tas ir par 42% mazāks nekā *Flax_nw*.

Neusto materiālu akustisko īpašību salīdzinoša analīze

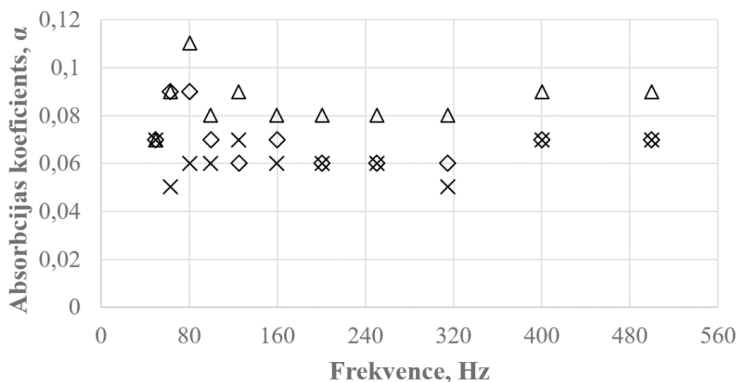
Šajā apakšnodaļā aprakstīta *Hemp_nw* akustisko īpašību apkopojums. Kā redzams no grafikiem 3.17. un 3.18. attēlos, tad, lai arī *Hemp_nw_1* un *Hemp_nw_2* paraugiem biežumu vērtības ir tuvas (2%), tomēr atšķirība starp to struktūrām ir vērtīga – virsmas blīvums *Hemp_nw_2* variantam ir 20% lielāks par *Hemp_nw_1* un 6% lielāks par *Hemp_nw_4* varianta paraugu.



3.17. att. *Hemp_nw* paraugu biežumi.



3.18. att. *Hemp_nw* paraugu virsmas blīvums.



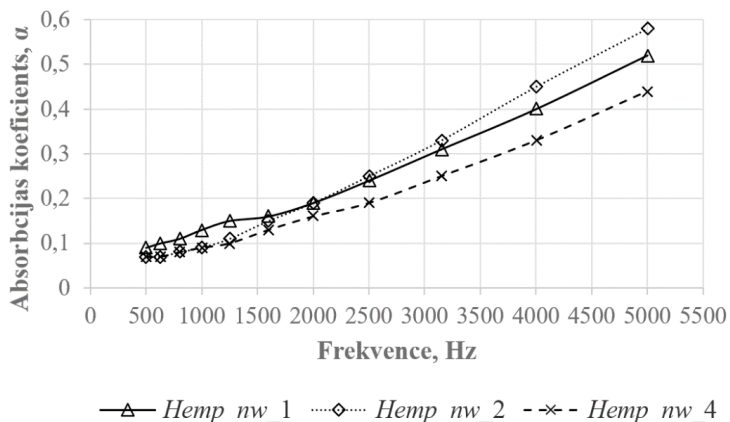
Δ *Hemp_nw_1* \diamond *Hemp_nw_2* \times *Hemp_nw_4*

3.19. att. *Hemp_nw* paraugu absorbcijas koeficientu vērtības zemas frekvences starojuma diapazonā.

Hemp_nw NM paraugi *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_4* testēti frekvenču joslā no 50–5000 Hz. Kā jau minēts iepriekš, tad automašīnās ir svarīga trokšņu absorbcija zemajās frekvencēs līdz 500 Hz, kas ir tuva skaņas starojumam no dzinēja, iekļūdes un izplūdes sistēmām. Otra izplatīta trokšņu frekvenču josla ir no 500–2000 Hz ar maksimumu pie 1000 Hz – riepu-ceļa trokšnis. NM paraugiem *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_4* gandrīz visā

zemo frekvenču amplitūdā (3.19. attēlā un 3.9. tabulā) un frekvenču amplitūdā līdz 800–1000 Hz ir zemas skaņas absorbcijas koeficienta vērtības un tās visiem paraugiem variē līdzīgā amplitūdā.

Skaņas frekvenču diapazonā virs 1000 Hz skaņu labāk absorbē parauga *Hemp_nw_1* NM. Visiem pārbaudītajiem NM paraugiem šajā diapazonā α atbilst E klases apakšējai robežai (3.20. att., 3.9. tabula). Frekvenču diapazonā virs 1250 Hz visu paraugu skaņas absorbcijas spēja uzlabojas. Frekvences diapazonā līdz 2000 Hz paraugs *Hemp_nw_1* dominē pār pārējiem abiem paraugiem. Parauga *Hemp_nw_1* α frekvenču diapazonā virs 1250 Hz atbilst E klasei, bet pie frekvences 3150 – D klasei. Nedaudz sliktāka ir paraugu *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_4* absorbcijas spēja.



3.20. att. *Hemp_nw* paraugu absorbcijas koeficientu vērtības vidējās frekvences starojuma diapazonā.

3.9. tabulā apkopotās absorbcijas koeficienta vērtības norāda, ka visi testējamā materiāla paraugi, frekvenču amplitūdā virs 2000 Hz atbilst C un D akustikas klasēm. NM demonstrē tendenci, pieaugot skaņas frekvencei, pieaug skaņas absorbcijas koeficients (pieaug skaņas absorbcijas klase).

3.9. tabula

Absorbcijas koeficientu un skaņas pārvades zudumu vērtības

Variants	<i>Hemp_nw_1</i>		<i>Hemp_nw_2</i>		<i>Hemp_nw_4</i>	
	α	SPZK (dB)	α	SPZK (dB)	α	SPZK (dB)
Frekvence (Hz)						
50	0,07	1,20	0,07	1,90	0,07	0,79
63	0,09	1,20	0,09	2,00	0,05	0,76
80	0,11	1,30	0,09	2,10	0,06	0,84
100	0,08	1,40	0,07	2,20	0,06	0,96
125	0,09	1,40	0,06	2,30	0,07	1,10
160	0,08	1,50	0,07	2,40	0,06	1,15
200	0,08	1,50	0,06	2,50	0,06	1,18

Variants	<i>Hemp_nw_1</i>		<i>Hemp_nw_2</i>		<i>Hemp_nw_4</i>	
	α	SPZK	α	SPZK	α	SPZK
Frekvence (Hz)		(dB)		(dB)		(dB)
250	0,08	1,50	0,06	2,50	0,06	1,25
315	0,08	1,50	0,06	2,50	0,05	1,31
400	0,09	1,60	0,07	2,60	0,07	1,36
500	0,09	1,70	0,07	2,60	0,07	1,43
630	0,10	1,70	0,07	2,70	0,07	1,51
800	0,11	1,80	0,08	2,80	0,08	1,57
1000	0,13	1,70	0,09	2,80	0,09	1,58
1250	0,15	1,80	0,11	2,80	0,10	1,63
1600	0,16	2,00	0,15	2,90	0,13	1,75
2000	0,19	2,10	0,19	3,10	0,16	1,86
2500	0,24	2,20	0,25	3,20	0,19	1,97
3150	0,31	2,40	0,33	3,30	0,25	2,10
4000	0,40	2,50	0,45	3,50	0,33	2,25
5000	0,52	2,80	0,58	3,90	0,44	2,52

Absorbcijas klases α vērtībām

A 0,90; 0,95; 1,00

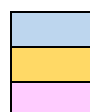
B 0,80; 0,85

C 0,60; 0,65; 0,70; 0,75

D 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55

E 0,15; 0,20; 0,25

Neklasificējas 0,00; 0,05; 0,10



Neklasificējas

E

D

Saskaņā ar 3.10. tabulā parādītām aprēķinātajām trokšņa samazināšanas koeficienta vērtībām, no visiem trim testētajiem paraugiem, augstāko skaņas absorbciju frekvenču diapazonā no 250–2000 Hz demonstrē paraugs *Hemp_nw_1*. Skaņas absorbcijas spēju var palielināt, lietojot NM vairākās kārtās (vismaz divās).

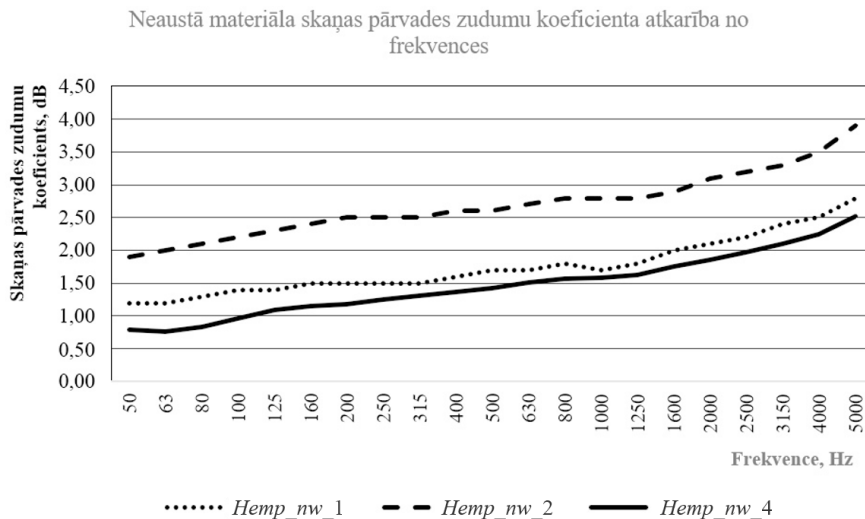
3.10. tabula

NM paraugu trokšņa samazināšanas koeficienta vērtības

	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	Trokšņa samazināšanas koeficients
<i>Hemp_nw_1</i>	0,08	0,09	0,13	0,19	0,12
<i>Hemp_nw_2</i>	0,06	0,07	0,09	0,19	0,10
<i>Hemp_nw_4</i>	0,06	0,07	0,09	0,16	0,10

Skaņas pārnesei zudums (SPZ) raksturo materiāla spēju ierobežot nevēlamo skaņu iekļūšanu auto salonā – jo augstāks ir SPZ, jo labāk materiāls ierobežo skaņu. Pārbaudāmajā frekvenču diapazonā no 50–5000 Hz SPZ variē 0,76 (paraugs *Hemp_nw_4* pie 63 Hz)–3,90 (paraugs *Hemp_nw_2* pie 5000 Hz) dB amplitūdā (skatīt 3.9. tabulā).

3.21. attēlā redzama skaņas pārvades zudumu pieaugšanas tendence visos paraugos, pieaugot skaņas frekvencei. Savstarpēji salīdzinot skaņas pārvades zudumu koeficientu, visaugstākās vērtības ir parauga variantam *Hemp_nw_2*, kas arī bija sagaidāms, ņemot vērā parauga lielāko virsmas blīvumu. Lai palielinātu skaņas pārvades zudumus arī zemo frekvenču zonā, jāpalielina materiāla virsmas blīvums. *Hemp_nw* porainā struktūra piemērota skaņas absorbcijai, laminējot materiāla ārmaļās esošo PLA, palielinātos gan materiāla SPZ, gan formas noturība.



3.21. att. *Hemp_nw* skaņas pārvades zudumu koeficienta atkarība no frekvences.

Materiāla relatīvā akustiskā pretestība nosaka, kādā mērā skaņa tiks atstarota vai absorbēta. Mērījumu rezultāti atspoguļo tendenci, ka augstākie akustiskās pretestības rezultāti sasniegti frekvences amplitūdā no 63–1000 Hz (*Hemp_nw_1* paraugam līdz 500 Hz). Šajā frekvenču amplitūdā akustiskā pretestība ir augstāka par 40. Palielinoties frekvencei, materiāla akustiskā pretestība samazinās, piemēram, 3150 Hz visu paraugu impedances ir augstāka par 10.

Normāla krišanas leņķa skaņas refrakcijas koeficients raksturo skaņas izplatīšanās maiņu neviendabīgā vidē, kur skaņas ātrums mainās pakāpeniski. Pārbaudīto paraugu vidējais normāla krišanas leņķa skaņas refrakcijas koeficients 1/3 oktāvu joslās ir 0,90, kas vismazāk mainās frekvenču diapazonā 50–800 Hz. Šajā frekvenču diapazonā šis koeficients ir ~ 0,90. Pārbaudāmo frekvenču diapazonam pieaugot, koeficients samazinās. Pie maksimālās frekvences 5000 Hz ir sasniegtas normālas krišanas leņķa skaņas refrakcijas koeficienta minimālās vērtības, kas variē no 0,42–0,56.

Secinājumi

PLA šķiedru klātbūtnes ietekmē abu kompozīciju NM iegūti gaišāki nekā katras augu šķiedras dabiskā krāsa. Paraugu virsmās redzami NM izgatavošanas laikā atstātās cauradatošanas adatu iedobes, kuras izteikti redzamas tajā materiāla virsmā, kuru cauršauj cauradatošanas iekārtas adatu plātnes. Pēc adatas atstātajām iedobēm abu NM paraugiem var noteikt virzienu, kādā sloksnes izcirstas – mašīnas vai perpendikulāri mašīnas darba virzienam.

Hemp_nw paraugi ir plānāki (7,0–8,8 mm) un šķiedras ciešāk sasaistītas nekā linu šķiedras saturošajā NM (13,6–14,9 mm).

Salīdzinot *Hemp_nw* blīvumu, atrasts, ka tas ir par ~ 28 % blīvāks (vidējais blīvums 108,3 kg/m³) nekā *Flax_nw* (vidējais blīvums 84,4 kg/m³). Salīdzinot virsmas blīvumu, novērojam, ka *Hemp_nw* (883 g/m²) ir par 35 % mazāks virsmas blīvums nekā *Flax_nw* (1187 g/m²).

Hemp_nw ciešāku šķiedru sasaisti apliecina arī stiepes izturības rezultāti, kuros *Hemp_nw* $\sigma_{\max \text{ vid}}$ ir 0,06 MPa jeb par 28 % augstāka nekā *Flax_nw* ($\sigma_{\max \text{ vid}}$ ir 0,05 MPa). Pie šīs stiepes izturības vērtības *Hemp_nw* materiāla pagarinājums $\epsilon_{F_{\max \text{ vid}}}$ ir ~ 36 % un tas ir par 42 % mazāk nekā *Flax_nw* $\epsilon_{F_{\max \text{ vid}}}$ ir ~ 51 %.

Mehāniskā adatu cauradatošanas metode nodrošina gaisa tukšumus NM struktūrā. Šiem gaisa ieslēgumiem ir pozitīva ietekme uz materiāla spēju izolēt skaņu. *Hemp_nw* akustisko veikspēju absorbēt skaņu vislabāk raksturo 1250–5000 Hz frekvences apgabals, savukārt augstākie akustiskās pretestības rezultāti sasniegti frekvences amplitūdā 63–1000 Hz.

3.2. Kompozītu īpašību salīdzinoša analīze

Apakšnodaļā ir apkopoti *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu vizuālo, fizikālo un mehānisko īpašību salīdzinošas analīzes rezultāti un veikta aprites cikla inventarizācijas datu analīze.

Kompozītu salīdzinoša vizuāla analīze

Abu kompozīciju – *Hemp_comp* un *Flax_comp* paraugu vizuāla novērtēšana veikta:

- 1) bez tehniskiem palīgīdzekļiem,
- 2) ar optisko mikroskopu.



a)



b)



c)



d)

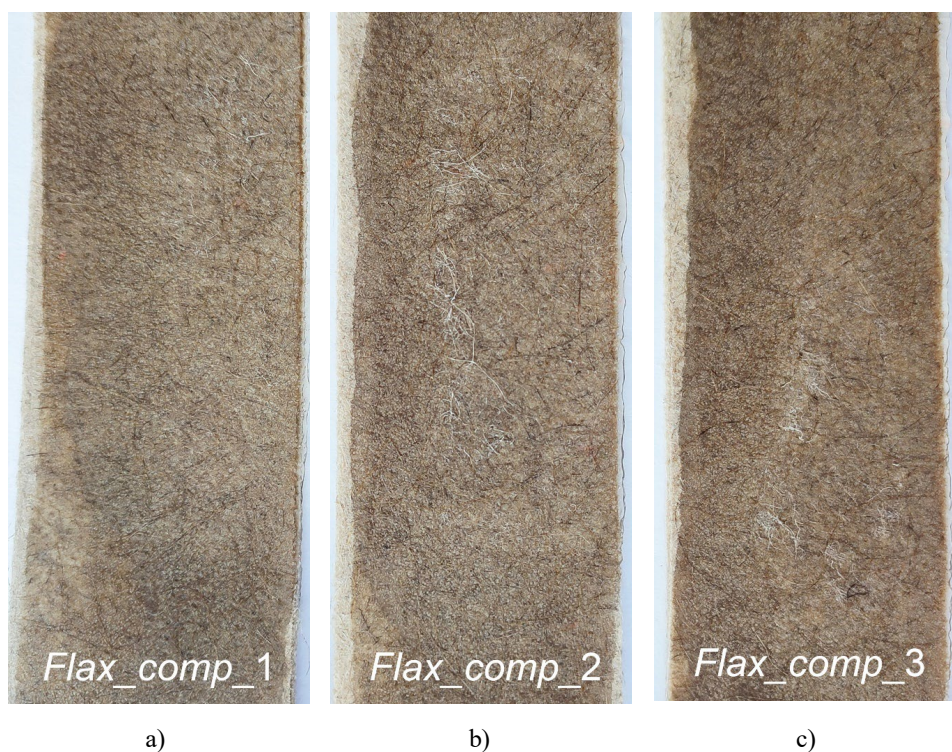


e)

3.22. att. *Hemp_comp* kompozīta paraugu: a) *Hemp_comp_1*; b) *Hemp_comp_2*; c) *Hemp_comp_3*; d) *Hemp_comp_4* un e) *Hemp_comp_5* sloksnes.

Abu kompozīciju kompozītu paraugi pēc termiskās apstrādes (C presē) kļuvuši tumšāki (salīdzinājumā ar to pašu NM kompozīciju), pieņemot dabisko šķiedru krāsu. Termiskās apstrādes ietekmē PLA polimēra šķiedras pēc izkušanas veido caurspīdīgu masu. Jau iepriekš, pie kompozītu dimensiju rezultātu aprakstīšanas, izskaidrots, kāpēc iegūstamie gatavie kompozītu paraugi ir īsāki par 30 cm (NM parauga sloksņu izgatavotais garums). No iegūtajiem kompozītiem par kvalitatīvu materiāla uzskatāma sloksnes vidusdaļa, jo tajā polimērs izkūsis pilnībā. Visās paraugu sloksnēs iegūtajai kvalitatīvajai kompozīta daļai ir līdzīgas aprises (3.22. un 3.23. att.).

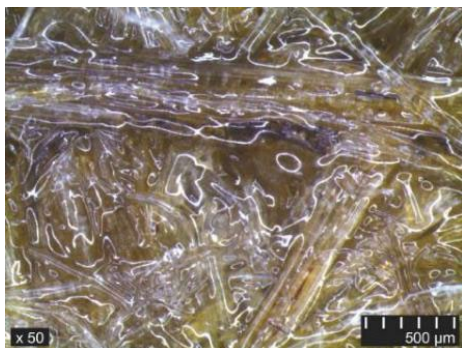
Hemp_comp un atsevišķām *Flax_comp* paraugu sloksnēm novērojama izkusušā PLA daļēja izplūšana ārpus materiāla. *Hemp_comp* kompozīta paraugu virsma pēc taustes ir raupjāka par *Flax_comp* kompozītu. Virsmas raupjumu var izskaidrot ar *Hemp_comp* kompozīta izgatavošanā izmantotajām tehniskajām šķiedrām, kas pēc smalkuma ir rupjākas par otras kompozīcijas kompozīta izgatavošanā izmantotajām linu šķiedrām.



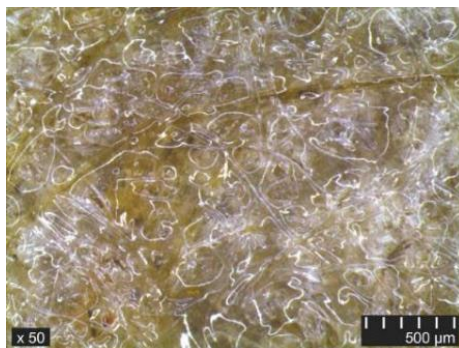
3.23. att. *Flax_comp* kompozīta paraugu: a) *Flax_comp_1*; b) *Flax_comp_2* un c) *Flax_comp_3* sloksnes.

Flax_comp paraugu gaišā krāsa novērojama dažādās toņu intensitātēs, kas liecina par nevienmērīgu PLA polimēra šķiedru izkušanu.

Optiskajā 50 reīzu palielinājumā aplūkotās abu kompozīciju kompozītu paraugu virsmas zonas, kurās PLA šķiedras ir pilnībā izkusušas. Abu kompozītu gadījumos redzams, ka izkusušī PLA matrica aptver dabiskās šķiedras (3.24. att.), kas apstiprina optimāli izvēlētas temperatūras un spiediena apstākļus termiskajā C presē.



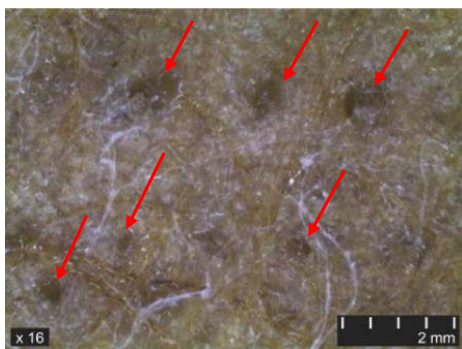
a)



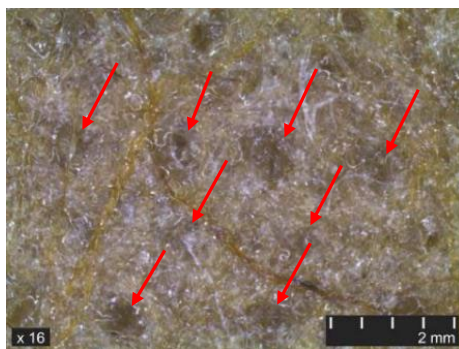
b)

3.24. att. Kompozītu virsma adatu cauradatošanas darba virzienā: a) *Hemp_comp* paraugs; b) *Flax_comp* paraugs.

Līdzīgi kā NM gadījumā, arī kompozīta virsmā redzamas cauradatošanas adatu atstātās punktveida iedobes – optiskajā palielinājumā redzams, kā izkususi PLA matrica aizpilda adatu atstātās iedobes, no tiem uzskatāmāk *Flax_comp* paraugos (3.25. att.).



a)



b)

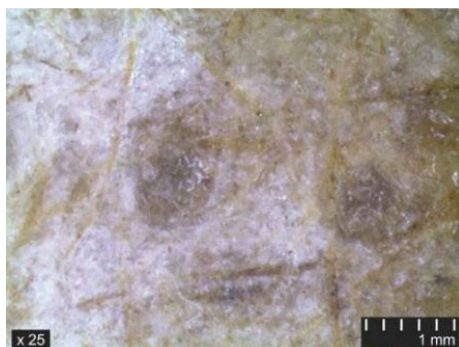
3.25. att. *Flax_comp* virsma pretēji adatu cauradatošanas virzienam: a) sloksne *Flax_comp_1-4*; b) sloksne *Flax_comp_3-4*.

Aplūkojot kompozīta paraugus ar optisko mikroskopu, pamanīti sekojoši defekti:

- 1) šķiedru sasaistīšanās defekti. Ar optisko mikroskopu pētīta pārejas zona starp gatavo kompozītu un zonu, kurā polimērs nav pilnībā izkusis. Šajā pārejas zonā polimērs daļēji saglabājis šķiedru formu (redzams baltā krāsā). Kompozītu virsmā no cauradatošanas adatu darba virziena pilnīgi izkusušo PLA šķiedru saskare ar daļēji izkusušām un neizkusušām PLA šķiedrām redzama 3.26. att. Šajos attēlos palielinājumā redzamās tumšās iedobes ir adatu atstātās iedobes.



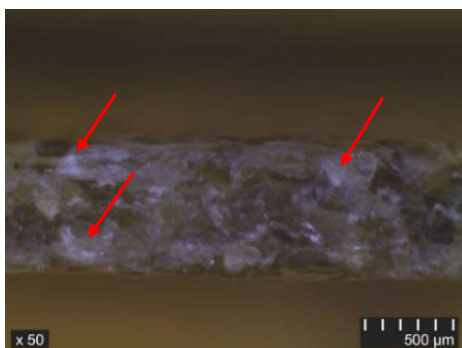
a)



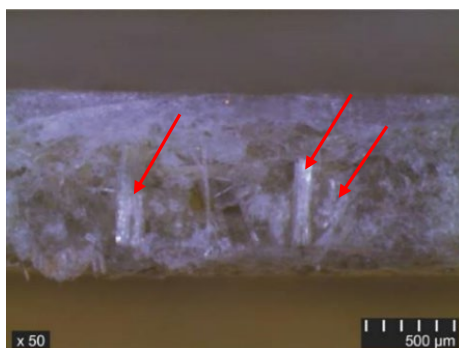
b)

3.26. att. Daļēji izkusušas un neizkusušas PLA šķiedras kompozītu virsmā cauradatošanas adatu darba virzienā: a) *Hemp_comp* paraugs; b) *Flax_comp* paraugs.

3.27. att. redzami abu kompozīciju kompozītu paraugu šķērs griezumi. Šajos kompozītu šķērs griezumos nav redzamas plaisas, kas varētu liecināt par sliktu šķiedru sasaisti. Vēl kompozītu šķērs griezumos dažādās pozīcijās redzamas baltas zonas, kuras veido pilnībā neizkusušais PLA. Neizkusušais PLA *Flax_comp* šķērs griezumā ir saglabājis daļēji kristāliskāku struktūru un tas to atšķir no otras kompozīta kompozīcijas. Pilnībā neizkusušās PLA polimēra šķiedras ieraugāmas arī *Flax_comp* malās, skatīt 3.28. att. Atsevišķās šīs kompozīcijas kompozītu virsmās konstatēta ažūra struktūra, kuru veido šķiedras formu daļēji saglabājušais PLA polimērs, skatīt 3.29. att. Defekts radies, deformējot pilnībā neizkusušas un izkusušas PLA šķiedras, atbrīvojot kompozītu paraugus no piedegumdroša un karstumizturīga papīra uzreiz pēc to izgatavošanas.

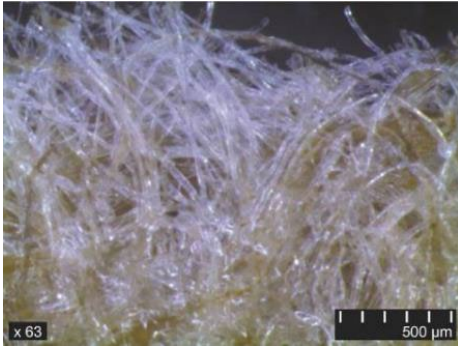


a)

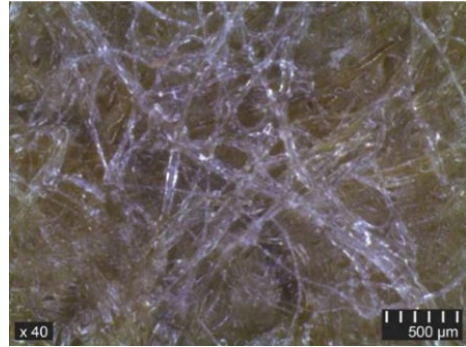


b)

3.27. att. Kompozītu šķērs griezumi: a) *Hemp_comp*, b) *Flax_comp*.



3.28. att. *Flax_comp* ārējā malā pilnībā neizkusušās PLA šķiedras.

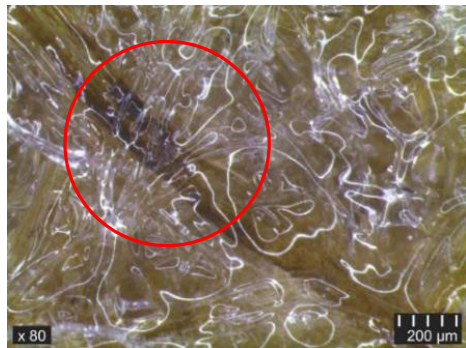


3.29. att. Ažūra struktūra *Flax_comp* kompozīta virsmā.

- 2) Kompozītu sastāvā esošo šķiedru defekti. Gan uz kaņepju, gan linu šķiedrām novēro tumšākus plankumus, kas nav neparasta parādība. Tumšo plankumu izcelsmi var skaidrot arī ar augu šķiedru sastāvā esošo biopolimēru lignīnu, kas ir gaišdzeltēni brūnā krāsā. Plankumi uz šķiedru virsmas novērojami arī gatavajos kompozītos, skatīt 3.30. att. Kompozītos tumšākas krāsas plankumi novērojami uz dabisko šķiedru virsmas, bet to sedzošā, izkusušī PLA matrica ir bez pamanāmām toņu maiņām.



a)



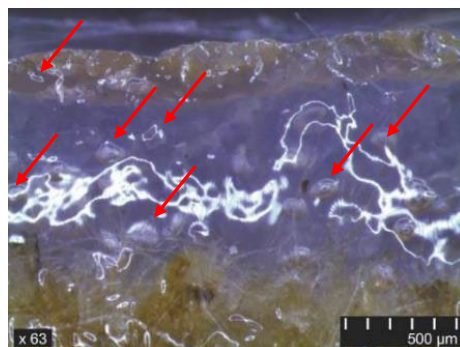
b)

3.30. att. Kompozītos iestrādātās dabiskās šķiedras: a) kaņepāju šķiedra *Hemp_comp*; b) linu šķiedra *Flax_comp*.

- 3) porainība un tukšumi. Abu kompozīciju kompozītu tukšumi (ar gaisu pildīti slēgti dobumi) novērojami ārpus kompozīta malām izplūdušajā PLA polimērā (3.31. att.).



a)

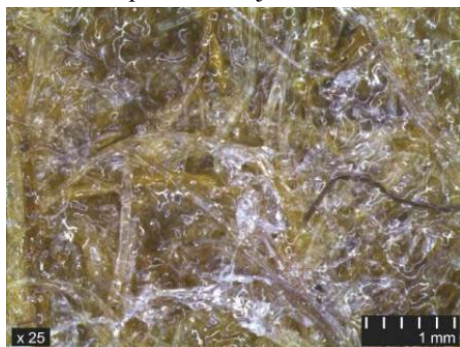


b)

3.31. att. Ar gaisu pildīti dobumi ārpus kompozīta robežām izplūdušajā PLA: a) *Hemp_comp*; b) *Flax_comp*.

Kvantitatīvi gaisa tukšumi vairāk sastopami *Hemp_comp*, tajos tie ir dažāda izmēra un formas. *Flax_comp* ārpus materiāla robežām izejošajā polimērā ieslēgtie gaisa tukšumi galvenokārt ir sfēriski un maza izmēra.

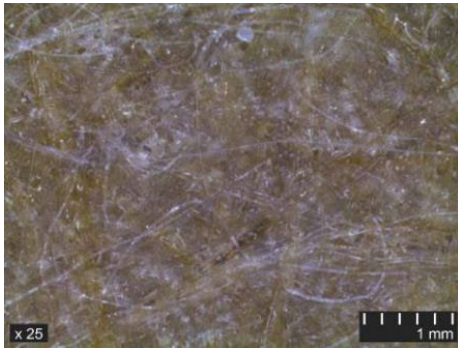
- 4) Kompozīta izgatavošanas laikā radušies defekti – radušies, atbrīvojot paraugus no piedegumdroša un karstumizturīga papīra. Šis defekts būtu novēršams piedegumdroša un karstumizturīga papīra vietā izmantojot teflona antiadhezīvu. Šajā gadījumā defekti galvenokārt parādās polimēra matricā – šķidrā vai daļēji šķidrā stāvoklī esošā polimēra matricā pielīp pie piedegumdroša un karstumizturīga papīra. Papīra noņemšanas laikā polimēra šķiedras izvelkas (ekstrudē) un apkārtējās atmosfēras ietekmē strauji atdziest. Defekti nevienmērīgi izveidojušies uz visu paraugu virsmām (3.32.–3.35. att.). Polimēra šķiedru izvilkuma defektiem galvenokārt ir vizuāls raksturs, tiem nav būtiska ietekme uz kopējiem materiālu stiprības rādītājiem.



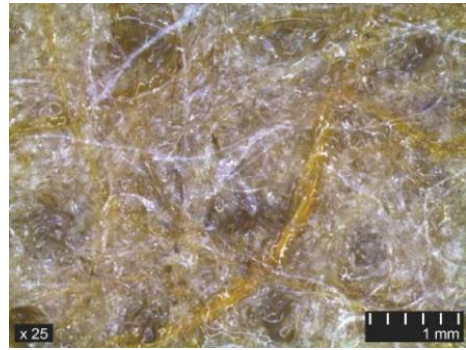
3.32. att. *Hemp_comp* virsma ar PLA šķiedru defektiem.



3.33. att. *Flax_comp* virsma ar PLA šķiedru defektiem.



3.34. att. *Flax_comp* virsma ar PLA šķiedru defektiem.



3.35. att. *Flax_comp* virsma ar PLA šķiedru defektiem.

Kompozītu paraugu tehniskās īpašības

2. nodaļā aprakstīts, ka no visu paraugu NM 2. un 4. sloksnēm (mašīnas darba virzienā) un 6. sloksnes (perpendikulāri mašīnas darba virzienam) izgatavoti kompozīta paraugi. *Hemp_comp* kompozīcijai papildus izgatavots vēl viens NM paraugs *Hemp_nw_4* un tā 2. un 4. sloksnes (mašīnas darba virzienā) un 6. sloksnes (perpendikulāri mašīnas darba virzienam) izmantotas kompozītu izgatavošanai. Saskaņā ar veiktajiem mērījumiem, visu *Hemp_comp* un *Flax_comp* paraugu sloksnes pēc termiskās presēšanas procesa saglabājušas vienādu platuma dimensiju, tā ir tāda pati kā NM sloksnēm – 50 mm. Garums *Hemp_comp* sloksnēm variē no 232–244 mm, *Flax_comp* garums variē no 233–242 mm. Iegūtie *Hemp_comp* un *Flax_comp* ir līdzīgā garuma amplitūdā, tādēļ līdzīgi ir arī abu kompozītu paraugu virsmas laukumi. *Hemp_comp* virsmas laukums ir diapozonā no 11 600–12 200 mm², *Flax_comp* paraugu virsmas laukums variē no 11 650–12 100 mm². Detalizētu informāciju par *Hemp_comp* kompozīta dimensiju mērījumu rezultātiem skatīt 3.11., 3.13. un 3.15. tabulās, analogiskus datus par *Flax_comp* skatīt 3.12., 3.14. un 3.16. tabulās.

Hemp_comp sloksņu (no paraugiem *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4*, *Hemp_comp_5*) vidējais biezums variē no 1,3–1,6 mm jeb 21 % robežās (3.11. tabula), paralēli izgatavotā *Flax_comp* sloksņu (no paraugiem *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2*, *Flax_comp_3*) vidējais biezums ir vienmērīgāks un variē no 1,7–1,9 mm jeb 11 % robežās (3.12. tabula). Abu kompozīciju kompozītu esošās biezuma atšķirības vizuāli demonstrētas 4.6. att. *Flax_nw* biezuma pārsvars pār *Hemp_nw* pēc termo presēšanas sarūk. *Flax_comp* paraugi ir 1,3 apakšējā robeža (1,9 reizes NM) un 1,2 augšējā robeža (1,7 reizes NM) reizes biežāki par *Hemp_comp* paraugiem.

3.11. tabula

Hemp_comp kompozīta paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības

Paraugs	Sloksne	Garums (mm)	Platums (mm)	Biezums (mm)	Virsmas laukums (mm ²)	Masa (g)
<i>Hemp_comp_1</i>	2	241	50	1,6	12050	10,7
	4	238	50	1,8	11900	10,8
	6	241	50	1,0	12050	9,8
	vid	240	50	1,5	12000	10,4
<i>Hemp_comp_2</i>	2	243	50	1,5	12150	10,7
	4	236	50	1,7	11800	10,5
	6	240	50	1,5	12000	10,6
	vid	240	50	1,6	11983	10,6
<i>Hemp_comp_3</i>	2	234	50	1,2	11700	10,5
	4	236	50	1,6	11800	11,0
	6	236	50	1,1	11800	10,1
	vid	235	50	1,3	11767	10,5
<i>Hemp_comp_4</i>	2	232	50	1,3	11600	11,1
	4	237	50	1,3	11850	10,8
	6	235	50	1,4	11750	10,5
	vid	235	50	1,3	11733	10,8
<i>Hemp_comp_5</i>	2	232	50	2,0	11600	9,7
	4	244	50	1,4	12200	10,7
	6	237	50	0,9	11850	9,8
	vid	238	50	1,4	11883	10,0

3.12. tabula

Flax_comp kompozīta paraugu slokšņu ģeometriskie parametri un tehnoloģiskās īpašības

Paraugs	Sloksne	Garums (mm)	Platums (mm)	Biezums (mm)	Virsmas laukums (mm ²)	Masa (g)
<i>Flax_comp_1</i>	2	240	50	1,9	12000	14,3
	4	242	50	2,0	12100	14,9
	6	237	50	1,6	11850	12,6
	vid	240	50	1,8	11983	13,9
<i>Flax_comp_2</i>	2	233	50	1,8	11650	14,2
	4	235	50	2,3	11750	14,2
	6	236	50	1,7	11800	13,6
	vid	235	50	1,9	11733	14,0
<i>Flax_comp_3</i>	2	240	50	1,8	12000	12,6
	4	236	50	1,9	11800	14,0
	6	234	50	1,4	11700	12,1
	vid	237	50	1,7	11833	12,9

Visu *Hemp_comp* paraugu vidējā masa 10,5 g (variē no 10,0–10,8 g jeb 8 % robežās) un tā ir zemāka par *Flax_comp* paraugu vidējo masu, kas ir 13,6 g (variē no 12,9–14,0 g jeb variē 8 % robežās). Abu kompozīciju salīdzinājumā *Flax_comp* kompozīta paraugi ir ~ 30 % smagāki, jo to biežums ir lielāks.

3.13. tabula

Hemp_comp kompozīta blīvums

<i>Hemp_comp</i> kompozīta paraugi	Ārmala darba virzienā (4. sloksne) (kg/m ³)	Vidus darba virzienā (2. sloksne) (kg/m ³)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (6. sloksne) (kg/m ³)	Kopējais vid. (kg/m ³)
<i>Hemp_comp_1</i>	499,1	543,3	816,4	
<i>Hemp_comp_2</i>	530,4	607,0	573,4	
<i>Hemp_comp_3</i>	591,3	747,6	792,5	
<i>Hemp_comp_4</i>	692,9	721,8	654,5	
<i>Hemp_comp_5</i>	610,2	426,3	884,0	
Vid. blīvums	584,8	609,2	744,2	646,1
Vid.vērtējuma intervāls	585±76	609±133	744±157	646±67
Relatīvā kļūda	13,0 %	21,9 %	21,1 %	10,4 %

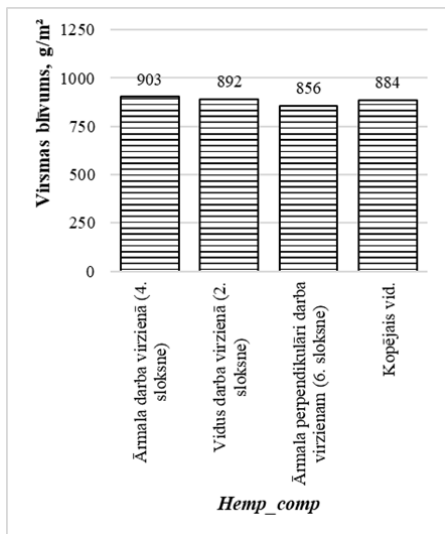
3.14. tabula

Flax_comp kompozīta blīvums

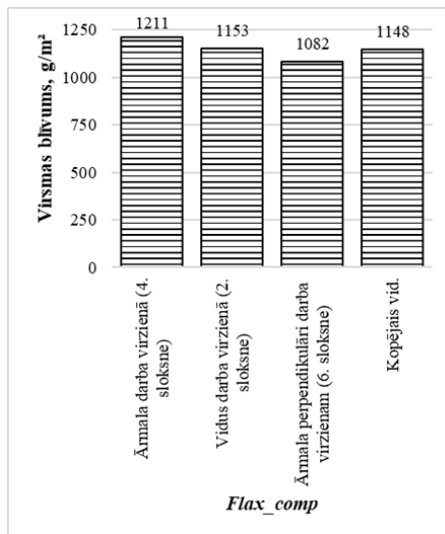
<i>Flax_comp</i> kompozīta paraugi	Ārmala darba virzienā (4. sloksne) (kg/m ³)	Vidus darba virzienā (2. sloksne) (kg/m ³)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (6. sloksnes) (kg/m ³)	Kopējais vid. (kg/m ³)
<i>Flax_comp_1</i>	621,0	641,1	645,1	
<i>Flax_comp_2</i>	527,7	681,6	674,9	
<i>Flax_comp_3</i>	610,7	585,9	750,9	
Vid. blīvums	586,4	636,2	690,3	637,6
Vid.vērtējuma intervāls	586±76	636±71	690±136	638±45
Relatīvā kļūda	12,9 %	11,2 %	19,6 %	7,1 %

Atšķirībā no konstatētā *Hemp_nw*, *Hemp_comp* augstāka vidējā blīvuma vērtība (3.13. tabula) ir paraugu sloksnēm perpendikulāri mašīnas darba virzienam un ir par 27 % augstāka par vidējām blīvuma vērtībām šī paša materiāla paraugiem mašīnas darba virzienā. Arī *Flax_comp* augstākas vidējā blīvuma vērtības (3.14. tabula) sastopamas paraugiem

perpendikulāri mašīnas darba virzienam. Vidējā blīvuma vērtību pārsvars paraugiem perpendikulāri mašīnas darba virzienam pār paraugiem mašīnas darba virzienā ir 18 %. Abu kompozītu variāciju vidējās blīvuma vērtības ir tuvu – 1 % robežās, salīdzinājumam *Hemp_comp* ($646,1 \text{ kg/m}^3$) ir blīvuma pārsvaru pār *Flax_comp* ($637,6 \text{ kg/m}^3$). Termo presēšanas process materiālu padara blīvāku – *Hemp_comp* vidējais blīvums pieaudzis par nepilnām 6 reizēm, *Flax_comp* vidējais blīvums pieaudzis 7,6 reizes.



a)



b)

3.36. att. Kompozītu virsmas blīvuma atkarība no sākotnēji izgatavotā NM parauga izciršanas virziena: a) *Hemp_comp*, b) *Flax_comp*.

3.15. tabula

Hemp_comp kompozīta virsmas blīvums

<i>Hemp_comp</i> paraugi	Ārmala darba virzienā (4. sloksne) (g/m ²)	Vidus darba virzienā (2. sloksne) (g/m ²)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (6. sloksne) (g/m ²)	Kopējais vid. (g/m ²)
<i>Hemp_comp_1</i>	905	887	816	
<i>Hemp_comp_2</i>	889	883	885	
<i>Hemp_comp_3</i>	937	897	860	
<i>Hemp_comp_4</i>	909	956	895	
<i>Hemp_comp_5</i>	873	836	826	
Vid. virsmas blīvums	903	892	856	884
Vid. vērtējuma intervāls	903±24	892±43	856±44	884±20
Relatīvā kļūda	2,7 %	4,9 %	5,1 %	2,3 %

3.36. attēla diagrammās redzama abu izgatavoto kompozīciju kompozītu virsmas blīvuma atkarība no darba virziena kādā izcirstas kompozītu izgatavošanai izmantotās NM paraugu sloksnes. NM virsmas blīvuma aprēķini demonstrē lielāku virsmas blīvumu NM paraugu sloksnēm, kas izcirstas mašīnas darba virzienā. Šis novērojums atkārtojas arī kompozītu gadījumā. *Hemp_comp* virsmas blīvums (3.15. tabula) mašīnās darba virzienā ir par aptuveni 5 % lielāks, bet *Flax_comp* gadījumā par 12 % lielāks nekā paraugiem, kuri izcirsti perpendikulāri mašīnas virzienam.

3.16. tabula

Flax_comp kompozīta virsmas blīvums

<i>Flax_comp</i> paraugi	Ārmala darba virzienā (4. sloksne) (g/m ²)	Vidus darba virzienā (2. sloksne) (g/m ²)	Ārmala perpendikulāri darba virzienam (6. sloksne) (g/m ²)	Kopējais vid. (g/m ²)
<i>Flax_comp_1</i>	1235	1190	1059	
<i>Flax_comp_2</i>	1208	1215	1153	
<i>Flax_comp_3</i>	1189	1052	1035	
Vid. virsmas blīvums	1211	1153	1082	1148
Vid. vērtējuma intervāls	1211±34	1153±130	1082±155	1148±56
Relatīvā kļūda	2,8 %	11,3 %	14,3 %	4,9 %

Abu kompozīciju kompozītu vidējais virsmas blīvums mašīnas darba virzienā ārmalā ir lielāks nekā šī paša virziena vidū izcirstajām paraugu sloksnēm. *Hemp_comp* novērots 1,2 % virsmas blīvuma pārsvars, *Flax_comp* – 5 %. Salīdzinot virsmas blīvuma vērtības kompozītu paraugiem abos mašīnas darba virzienos, *Hemp_comp* gadījumā tas ir mazāk atšķirīgs nekā *Flax_comp* kompozīcijai.

Savstarpēji salīdzinot *Flax_comp* kompozīta vidējā virsmas blīvuma vērtības (3.16. tabula) ir par gandrīz 30 % augstākas nekā *Hemp_comp*.

Salīdzinājumā ar NM vidējiem virsmas blīvuma rezultātiem, *Hemp_comp* kompozīcijai starp NM un kompozītu vērtībām starpība ir mazāka par 1 %. Lielāka starpība ir starp *Flax_comp* kompozīcijas materiāliem – NM variācijai vidējais virsmas blīvums ir par 3 % augstāks nekā kompozītam.

Kompozītu stiepes izturības īpašības

Abu kompozīciju kompozītu paraugiem (no katra parauga 2. un 4. sloksnes) noteikta stiepes izturība. *Hemp_comp* pārbaudītie paraugi *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4*, *Hemp_comp_5* un *Flax_comp* pārbaudītie paraugi *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2* un *Flax_comp_3* izgatavoti no mašīnas darba virzienā izcirstām NM paraugu sloksnēm. Stiepes izturības testu rezultāti atspoguļoti 3.17. tabulā *Hemp_comp* kompozīcijai un 3.18. tabulā *Flax_comp* kompozīcijai.

Hemp_comp paraugiem mašīnas darba virzienā σ_{\max} variē amplitūdā no 19,3–34,0 MPa, stiepes izraisītais materiāla $\varepsilon_{F_{\max}}$ pagarinājums variē robežās no 2,2–2,7 %. Ja salīdzina σ_{\max}

vērtības atkarībā no sloksnes orientācijas paraugā – mašīnas darba virziena vidū vai ārmaļā, augstāka stiepes izturība par 8,6 % un materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ par 3 % ir vidus paraugiem.

Termo presēšanas process ievērojami paaugstina abu kompozīciju materiālu izturību. Stiepes izturības atšķirības *Hemp_nw* un *Hemp_comp* ir augstas, un variē plašā amplitūdā. Kompozītam σ_{max} ir 195–680 reizes lielāks (NM variē no 0,05–0,10 MPa). Atšķirībā no NM kompozīcijas, stiepes izturības pārbaudē *Hemp_comp* σ_{max} sakrīt ar σ_s . Materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ pagarinājums salīdzinājumā ar *Hemp_nw* materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ pagarinājumu ir ~ 10–17 reizes lielāks nekā $\epsilon_{F_{max}}$ kompozīta gadījumā.

3.17. tabula

Hemp_comp kompozīta stiepes izturība

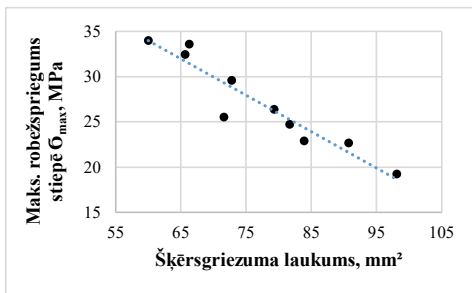
<i>Hemp_comp</i> paraugi					
Sloksnes kods	Parauga šķērsgrīzuma laukums (mm ²)	Virsmas blīvums (g/m ²)	Maks. spēks (F _{max}) (N)	Maks. robežspriegums stiepē (σ _{max}) (MPa)	Stiepes deformācija pie maks. spēka (ε F _{max}) (%)
<i>Hemp_comp_1-2</i>	82	905	2022	24,8	2,3
<i>Hemp_comp_1-4</i>	91	887	2058	22,7	2,3
<i>Hemp_comp_2-2</i>	73	883	2155	29,6	2,4
<i>Hemp_comp_2-4</i>	84	889	1922	22,9	2,2
<i>Hemp_comp_3-2</i>	60	897	2041	34,0	2,6
<i>Hemp_comp_3-4</i>	79	937	2095	26,4	2,4
<i>Hemp_comp_4-2</i>	66	956	2228	33,6	2,6
<i>Hemp_comp_4-4</i>	66	909	2131	32,5	2,7
<i>Hemp_comp_5-2</i>	98	836	1890	19,3	2,5
<i>Hemp_comp_5-4</i>	72	873	1830	25,6	2,5

Flax_comp paraugiem mašīnas darba virzienā σ_{max} variē amplitūdā no 39,6–48,4 MPa, stiepes izraisītais materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ pagarinājums variē amplitūdā no 3,6–4,3 % (3.18. tabula). Salīdzinot stiepes izturības rezultātus atkarībā no sloksnes orientācijas kompozīta paraugā – mašīnas darba virziena vidū vai ārmaļā, augstāka stiepes izturība par 10 %. *Flax_comp* materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ neietekmē pārbaudāmās sloksnes atrašanās vieta parauga vidū vai ārmaļā, par ko liecina rezultātu atšķirības mazāk nekā 1 % robežās. *Flax_comp* zemākās σ_{max} vērtības sakrīt ar sasniegto augstāko materiāla $\epsilon_{F_{max}}$. *Flax_comp* kompozīcijas gadījumā kompozīta σ_{max} vērtību attiecība pret NM ir vēl augstāka nekā kaņepāju šķiedru saturošai kompozīcijai. Stiepes izturības pārbaudē σ_{max} *Flax_comp* sakrīt ar σ_s . *Flax_comp* σ_{max} ir 600–1511 reizes augstāks nekā NM (σ_{max} variē no 0,03–0,07 MPa). Materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ attiecībā pret *Flax_nw* un *Flax_comp* ir līdzīga kā kaņepāju šķiedru saturošo kompozīciju gadījumā. *Flax_nw* materiāla $\epsilon_{F_{max}}$ pagarinājums ir ~ 11–17 reizes lielāks nekā attiecīgam kompozītam.

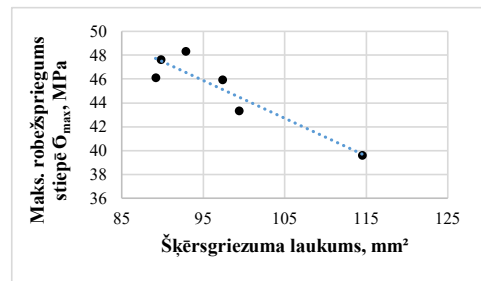
Flax_comp kompozīta stiepes izturība

<i>Flax_comp</i> paraugi					
Sloksnes kods	Parauga šķērsgriezuma laukums (mm ²)	Virsmas blīvums (g/m ²)	Maks. spēks (F _{max}) (N)	Maks. robežspriegums stiepē (σ _{max}) (MPa)	Stiepes deformācija pie maks. spēka (ε F _{max}) (%)
<i>Flax_comp</i> _1-2	93	1190	4489	48,4	4,0
<i>Flax_comp</i> _1-4	99	1235	4310	43,4	3,6
<i>Flax_comp</i> _2-2	89	1215	4113	46,1	3,6
<i>Flax_comp</i> _2-4	115	1208	4536	39,6	4,3
<i>Flax_comp</i> _3-2	90	1052	4283	47,7	4,1
<i>Flax_comp</i> _3-4	97	1189	4475	46,0	3,9

Savstarpēji salīdzinot abu kompozīciju kompozītu σ_{\max} vērtības, *Flax_comp* vidējais σ_{\max} (45,2 MPa) ir par 66 % augstāks nekā *Hemp_comp* (27,1 MPa). To, acīmredzot, nosaka atšķirīgie stiepes stiprības rādītāji līnīm un kaņepēm. Zināms, ka līnu elastības modulis [143] stiepē ir lielāks nekā kaņepēm. *Flax_comp* augstāka ir arī spēka izraisītā materiāla vidējā $\epsilon_{F_{\max}}$ – 3,9 %, *Hemp_comp* vidējā $\epsilon_{F_{\max}}$ ir 2,5 %. Salīdzinot *Flax_comp* un *Hemp_comp*, materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$, līnu šķiedras saturošā kompozīta $\epsilon_{F_{\max}}$ ir par 60 % lielāka par kaņepāju šķiedras saturošo kompozītu. Novērtējot materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$ rādītājus, jāņem vērā, ka tā sasniegta pie atšķirīgām stiepes sprieguma vērtībām.



3.37. att. *Hemp_comp* maksimālais robežspriegums stiepē atkarībā no šķērsgriezuma laukuma.



3.38. att. *Flax_comp* maksimālais robežspriegums stiepē atkarībā no šķērsgriezuma laukuma.

Hemp_comp un *Flax_comp* novērota tendence, ka palielinoties paraugu vidējam šķērsgriezuma laukumam, samazinās vidējās σ_{\max} vērtības. Tradicionāli kompozītiem un citiem cietiem materiāliem pieaugot šķērsgriezuma laukumam, pieaug materiāla pretestība stiepē [144]. Šķērsgriezuma laukuma atkarība no stiepes izturības grafiski attēlota 3.37. un 3.38. att. Abu kompozīciju gadījumos materiāla šķērsgriezuma laukuma un robežsprieguma stiepē sakarību raksturo lineāra funkcija. *Hemp_comp* gadījumā funkcija izsakāma ar vienādojumu 3.1., *Flax_comp* ar vienādojumu 3.2.

$$y=58,109-0,4023x, \quad (3.1)$$

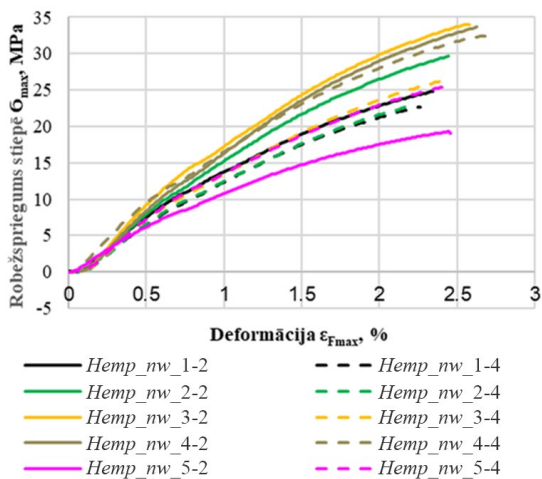
kur y – Hemp_comp maksimālais robežspriegums stiepē, MPa;
 x – kompozīta šķērsriezuma laukums, mm².

$$y= 75,989-0,317x, \quad (3.2)$$

kur y – Flax_comp maksimālais robežspriegums stiepē, MPa;
 x – kompozīta šķērsriezuma laukums, mm².

Sakarības, kad pieaugot šķērsriezuma laukumam, samazinās σ_{max} vērtības, rašanos abos kompozītos varētu izskaidrot ar kompozītu izgatavošanas procesu. Šķērsriezuma laukums ir atkarīgs no materiāla biezuma. Šķērsriezuma samazināšanās pieaugot σ_{max} varētu liecināt, ka viena un tā paša biezuma NM presējot C presē, iegūtajam kompozītam šķiedras temperatūras un spiediena ietekmē ir saspīestas ciešāk. Daļa PLA šķiedras izkūst un pārvēršas par polimēra matricu, kas aptver dabas šķiedras un veicina slodzes pārneši uz armējošo komponenti – kaņepāju vai linu šķiedrām. Mazākā šķērsriezuma laukumā ciešāk sasaistīto šķiedru dēļ tie spēj izturēt augstāku stiepes izturību. Šīs sakarības rezultāti pieļauj nelielu spiediena palielināšanu kompozītu izgatavošanas laikā.

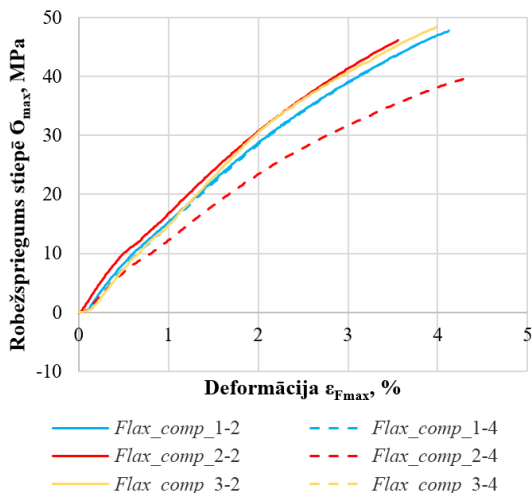
Polimēru stiepes un deformācijas līkne nav lineāra. Stiepes spriegumu-deformācijas atkarība *Hemp_comp* grafiski attēlota 3.37. att. diagrammās. Diagrammās redzams, ka pieliktā slodze dažādi iedarbojas uz *Hemp_comp* paraugiem un atspoguļo iepriekš aprakstīto stiepes izturības variācijas amplitūdu paraugiem un paraugu sloksnēm mašīnas darba virzienā. Vizuāli redzams, ka stiepes deformācijas vērtības nevariē tik plašā amplitūdā, cik stiepes izturības vērtības.



3.39. att. *Hemp_comp* robežsprieguma stiepē līdz materiāla sagrūšanai 2. un 4. sloksņu paraugiem: *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4* un *Hemp_comp_5*.

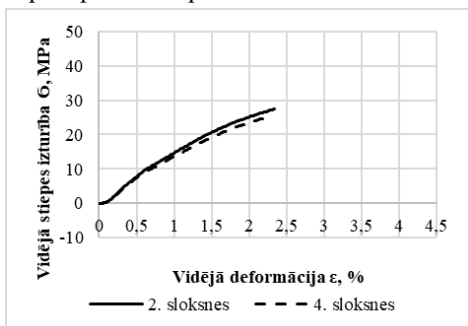
Flax_comp stiepes spriegumu-deformācijas atkarība attēlota 3.40. att. diagrammās. Šī kompozīta stiepes spriegumu-deformācijas līknēs novērojama viena parauga (*Flax_comp_2*)

ārējā malā izvietotās sloksnes *Flax_comp_2-4* vizuāla nodalīšanās no pārējām sloksnēm pēc σ_{max} vērtībām.

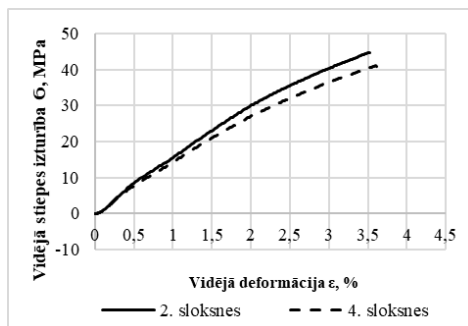


3.40. att. *Flax_comp* robežsprieguma stiepē līdz materiāla sabrukumam 2. un 4. slokšņu paraugiem: *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2* un *Flax_comp_3*.

Abu veidu kompozītu stiepes spriegumu-deformācijas līknes demonstrē līdzīgu tendenci. Katras kompozīcijas ietvaros spriegumu vērtību atšķirības starp paraugiem palielinās, pieaugot stiepes spēkam un palielinoties materiāla ϵ_{Fmax} .

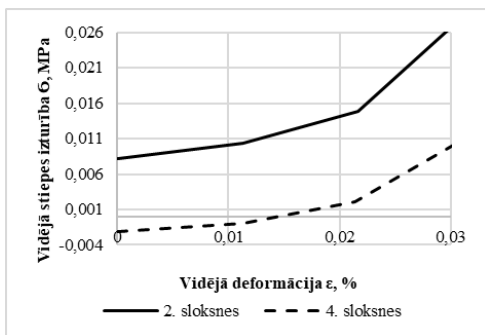


3.41. att. *Hemp_comp* vidējais robežspriegums stiepē 2. un 4. slokšņu paraugiem: *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4* un *Hemp_comp_5*.



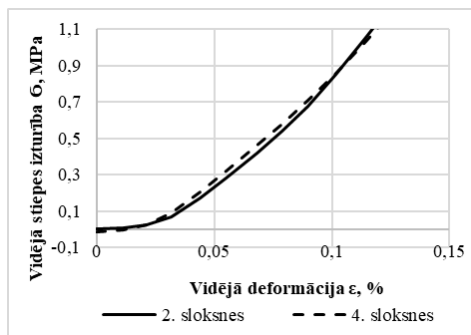
3.42. att. *Flax_comp* vidējais robežspriegums stiepē 2. un 4. slokšņu paraugiem: *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2* un *Flax_comp_3*.

Ar šķiedrām pastiprinātos polimēra matricas kompozītos, šķiedrām parasti ir augsta izturība un zems blīvums, savukārt matrica var būt plastiska vai trausla [109]. *Hemp_comp* vidējās stiepes spriegumu-deformācijas līknes (3.41. att.) vidus un ārējās sloksnes pie ~ 1,5 % evid un tālāk visā deformācijas apgabalā demonstrē vienmērīgu stiepes izturības rezultātu atšķirības palielināšanos. 3.42. att. diagrammā attēlotās *Flax_comp* stiepes spriegumu-deformācijas līknes visā stiepes pārbaudes apgabalā demonstrē tendenci, pieaugot slogojuma slodzei, palielinās vidējās stiepes izturības atšķirības starp parauga vidū un ārējās sloksnēm.



3.43. att. *Hemp_comp* vidējais robežspriegums stiepē elastīgas deformācijas apgabala sākumposmā 2. un 4. sloksņu paraugiem:

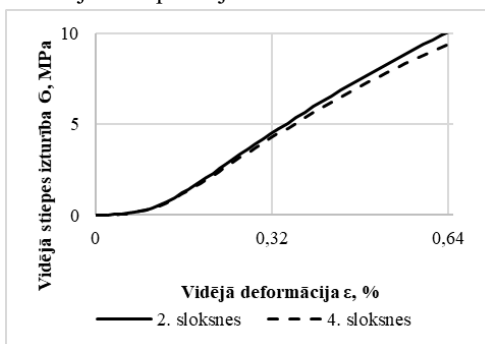
Hemp_comp_1, Hemp_comp_2,
Hemp_comp_3, Hemp_comp_4 un
Hemp_comp_5.



3.44. att. *Flax_comp* vidējais robežspriegums stiepē elastīgas deformācijas apgabala sākumposmā 2. un 4. sloksņu paraugiem:

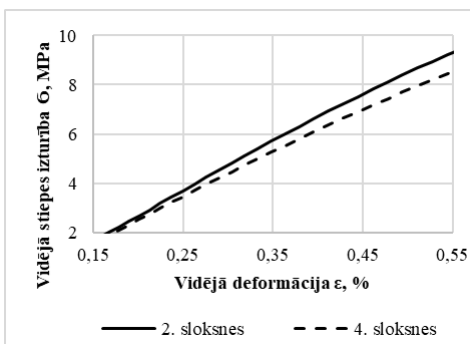
Flax_comp_1,
Flax_comp_2 un *Flax_comp_3.*

Hemp_comp un *Flax_comp* paraugu sloksņu stiepes spriegumu-deformācijas līknes iedomāti sadalāmas elastīgas robežas, tecēšanas robežas un maksimālās izturības un galīgās stiepes izturības robežu apgabalos. Izstrādātajiem kompozītiem, salīdzinājumā ar tādu izteiktu traušu materiālu kā keramika, elastīgo deformāciju apgabalu no plastisko deformācijas apgabala nošķirt grūtāk. Elastīgas deformācijas apgabalā vidējā stiepes izturība-deformācijas līknes abiem materiāliem ir līdzīgas pēc rakstura. Elastības deformācijas apgabala sākuma posmā līkne ir parabola (3.43. att. *Hemp_comp* un 3.44. att. *Flax_comp*). *Hemp_comp* parabola pāriet taisnē aptuveni no $\sigma_{\max \text{ vid}}$ 0,01–0,03 MPa, kas sasniegta pie aptuveni 0,03 % lielas materiāla $\epsilon_{F\max \text{ vid}}$. *Flax_comp* līknes pāriešana no parabolas taisnē variē amplitūdā no aptuveni $\sigma_{\max \text{ vid}}$ 0,08 MPa pie materiāla $\epsilon_{F\max \text{ vid}}$ līdz 0,1 %. *Flax_comp* parabolas līkne sasniegta pie 3–8,8 reizes augstākā $\sigma_{\max \text{ vid}}$ un 3,3 reizes lielākas materiāla $\epsilon_{F\max \text{ vid}}$ kā kaņepāju šķiedras saturošajai kompozīcijai.



3.45. att. *Hemp_comp* vidējais robežspriegums stiepē elastības deformācijas apgabalā 2. un 4. sloksņu paraugiem:

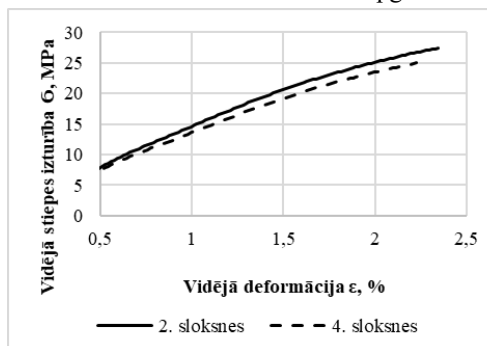
Hemp_comp_1, Hemp_comp_2,
Hemp_comp_3, Hemp_comp_4 un
Hemp_comp_5.



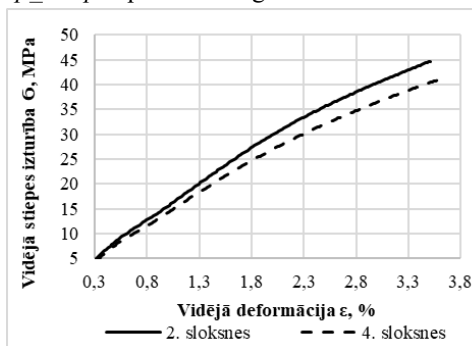
3.46. att. *Flax_comp* vidējais robežspriegums stiepē elastības deformācijas apgabalā 2. un 4. sloksņu paraugiem: *Flax_comp_1, Flax_comp_2* un *Flax_comp_3.*

Hemp_comp elastības robeža (3.45. att.) novērojama aptuveni pie σ_{\max} vid 8,8–9,4 MPa, kas sasniegta pie aptuveni 0,6 % lielas materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$ vid. *Flax_comp* elastības robeža (3.46. att.) variē amplitūdā aptuveni σ_{\max} vid 7,9–8,7 MPa pie materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$ vid līdz 0,5 %.

Savstarpēji salīdzinot abas kompozītu kompozīcijas, *Hemp_comp* elastības robežas sākums sasniedzams pie ~ 11 % un noslēgums pie ~ 8 % augstākās stiepes izturības nekā *Flax_comp*. Materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$ vid elastības robežas apgabalā *Hemp_comp* ir par 20 % augstāka.



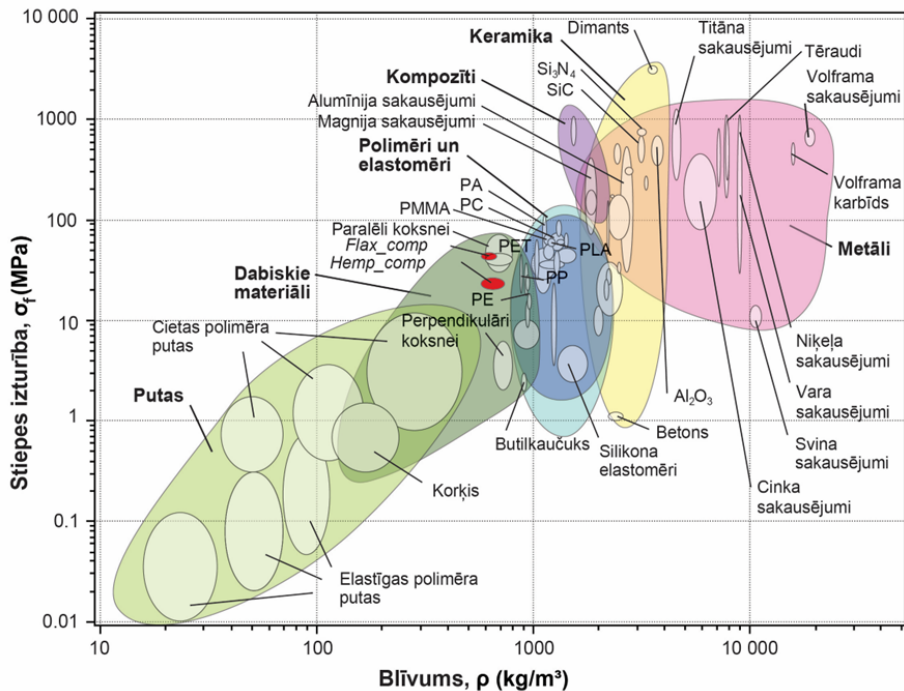
3.47. att. *Hemp_comp* vidējā stiepes sloģojuma izturība plastisko deformāciju apgabalā 2. un 4. slokšņu paraugiem:
Hemp_comp_1, *Hemp_comp_2*,
Hemp_comp_3, *Hemp_comp_4* un
Hemp_comp_5.



3.48. att. *Flax_comp* vidējā stiepes sloģojuma izturība plastisko deformācijas apgabalā 2. un 4. slokšņu paraugiem:
Flax_comp_1, *Flax_comp_2* un
Flax_comp_3.

Analoģiski NM, arī atšķirības starp abiem kompozītiem skaidrāk redzamas plastisko deformāciju apgabalā (3.47. un 3.48. att.). *Hemp_comp* plastisko deformāciju apgabals ir mazāks nekā *Flax_comp* un jāņem vērā, ka kaņepāju šķiedru saturošajam kompozītam ir mazāka stiepes izturība. Abu kompozīciju gadījumos, sasniedzot materiāla stiepes izturības robežu, manāma stiepes izturības vērtību atšķirību palielināšanās starp paraugu sloksnēm vidū un ārmaļās. Par abu kompozīciju kompozītu tecēšanas robežu pieņemama katra materiāla σ_{\max} . *Hemp_comp* σ_{\max} sasniegta pie 25–27 MPa un 2,3 % $\epsilon_{F_{\max}}$. *Flax_comp* σ_{\max} variē no 40–45 MPa un 3,5–3,6 % $\epsilon_{F_{\max}}$.

Savstarpēji salīdzinot abas kompozītu kompozīcijas, *Flax_comp* plastisko deformāciju apgabalā ir par ~ 1,6–1,7 reizēm izturīgāks pret stiepes spēku pielikšanu un ~ 1,5–1,6 reizes lielāku $\epsilon_{F_{\max}}$ vid.



3.49. att. *Hemp_comp* un *Flax_comp* konkurētspēja ar citiem materiāliem pēc izturības (tecēšanas robežas metāliem un polimēriem, spiedes stiprības keramikai, plūsumizturības elastomēriem un stiepes izturības kompozītiem) un blīvuma sakarības [145].

Objektīvākai abu kompozītu izvērtēšanai, to īpašības salīdzinātas ar citu materiālu kontekstā [145]. Pēc stiepes izturības un blīvuma attiecības abi kompozīti atrodas dabisko materiālu segmentā (3.47. att.), kas ir atbilstoši arī abu kompozītu izejvielu izcelsmei. Dabisko materiālu segmentā starp abiem kompozītiem atrodas koksne paralēli šķiedrai, bet pēc blīvuma vērtībām abu kompozītu un koksnes paralēli šķiedrai novietojums ir līdzīgs.

Secinājumi par stiepes izturības īpašībām: abu veidu kompozītiem stiepes izturība noteikta parauga sloksnēm, kuras izcirstas paralēli mašīnas darba virzienam. *Hemp_comp* un *Flax_comp* paraugu sloksņu stiepes spriegumu-deformācijas līknes iedomāti sadalāmas elastīgas robežas, tecēšanas robežas un maksimālās izturības un galīgās stiepes izturības robežu apgabalos. Elastīgas deformācijas apgabalā vidējā stiepes izturība-deformācijas līknes abiem materiāliem ir līdzīgas pēc rakstura – sākuma posmā stiepes robežsprieguma un deformācijas sakarības līkne ir parabola, kas pāriet taisnē. *Hemp_comp* līknes pāreja taisnē notiek ~ no σ_{max} vid 0,01–0,03 MPa, kas sasniegta pie aptuveni 0,03 % lielas materiāla ϵ_{Fmax} vid, savukārt *Flax_comp* pie ~ σ_{max} vid 0,08 MPa un ϵ_{Fmax} vid līdz 0,1 %. Par abu kompozīciju kompozītu tecēšanas robežu pieņemama katra materiāla σ_{max} . *Hemp_comp* stiepes izturība σ_{max} variē amplitūdā no 19,3–34,0 MPa, ar σ_{max} vid 27,1 MPa. Stiepes izraisītais materiāla ϵ_{Fmax} pagarinājums *Hemp_comp* variē robežās no 2,2–2,7 %, ar ϵ_{Fmax} vid ir 2,5 %. *Flax_comp* stiepes izturība σ_{max} variē amplitūdā no 39,6–48,4 MPa, ar σ_{max} vid 45,2 MPa. Stiepes izraisītais materiāla ϵ_{Fmax} pagarinājums variē amplitūdā no 3,6–4,3 %, ar ϵ_{Fmax} vid ir 3,9 %.

Tradicionāli izmantotie materiāli un metodes vieglās automašīnas tekstilmateriālu detaļu izgatavošanā

Apskatot automašīnas uzbūvē izmantoto tekstilmateriālu detaļu ražošanā lietotos materiālus, jāņem vērā, ka svarīga ir arī to ieguves metode. Augstākās un ekonomiskās apsvērumu dēļ autobūvē komplektējošo detaļu, tai skaitā bagāžas plaukta izgatavošanā, plaši izmantoti NM. Aptuveni 85 % [8] gadījumos Eiropā ražotajām automašīnām salonu interjera apdarē izmantoti NM. Procentuāli liels apjoms ar adatu cauradatošanu metodi ražoti NM izmantoti arī ASV ražotajos automobiļos. Nepieciešamās paneļa formas iegūšanai ierasta ir NM termiskā presēšana. Vairākos literatūras avotos [11, 146] atrodams, ka līdz šim bagāžas nodalījuma apdares materiālu ražošanā izmantoti NM, kuru sastāvā ir PET, PP, poliamīds (PA) un polietilēns (PE). Rietumeiropā aptuveni 60 % NM izgatavoti no PET, atlikušie no PP, ASV galvenokārt izmanto PP, savukārt Japānas autoražotāji – PET [11, 104]

Bagāžas plaukts (angļu valodā *parcel tray*) ir pārsegs, kas atdala automašīnas bagāžas nodalījumu no pārējā automašīnas salona.

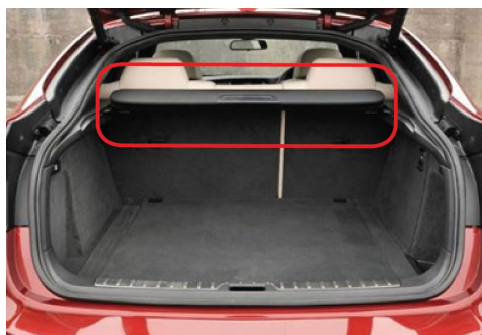
Apskatot tirgū pieejamos vieglo automašīnu modeļus un salīdzinot tajos esošos bagāžas plauktus, jāsecina, ka tie galvenokārt ir pieejami divās variācijās:

- 1) ciets, viengabalains (3.50. att.);
- 2) *roll up* (izvelkams) principa (3.51. att.).

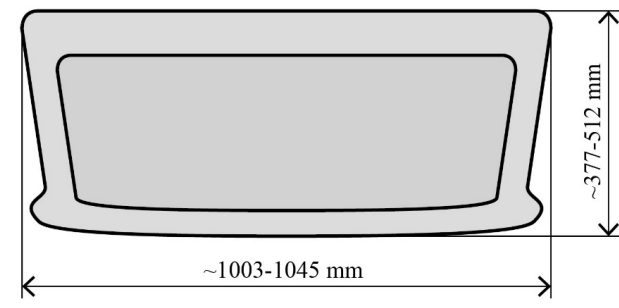
Pēc novērojumiem cietie bagāžas plaukti vairāk izplatīti hečbekiem (kompakta izmēra ģimenes automašīnas) un sedanam. Universāliem (vieglās automašīnas ar pagarinātu jeb palielinātu bagāžas nodalījuma telpu) un apvidus vieglajām automašīnām par bagāžas nodalījuma norobežošanu biežāk kalpo izvelkamas konstrukcijas, kuru virskārtai bieži izmantota ādas imitācijas apdare. Šajā darbā pētīti cietie bagāžas plaukti.



3.50. att. Automašīnas Citroën C5 Aircross bagāžas nodalījums un bagāžas plaukts [147].



3.51. att. Automašīnas BMW X6 bagāžas nodalījums un *roll up* bagāžas plaukts [148].



3.52. att. Bagāžas plaukta virspuses shēma.

Bagāžas plaukta ārējo slāni, tāpat kā citas salona detaļas, kas izgatavotas no tekstilmateriāliem, mēdz izdalīt atsevišķi un tā sastāvs var atšķirties no pārējā plaukta, jo tas ir tiešā saskarē ar lietotāju un vairāk pakļauts dažādiem virsmas mehāniskajiem bojājumiem. Arī tekstila materiāla ārējā slāņa sastāvā, tāpat kā paša bagāžas plaukta paneļa konstruktīvās daļas sastāvā ASV novēro, ka biežāk izmanto PP, bet pārējā pasaulē – PET. Bagāžas plaukta izgatavošanā ASV tirgū izmantoto PP šķiedru lineārais blīvums variē no 15–18 denjē, kuru nodilumizturības prasības specifikācijā ir augstākas, bet Tālo Austrumu valstīs un Japānā, kur autobūvē izmantoto tekstilmateriālu nodilumizturības prasības ir zemākas – izmanto PET šķiedras ar lineāro blīvumu 6 denjē [104]. Slodzi nesošās kārtas biezums variē ~ 3 mm, bet dekoratīvās kārtas biezums ~ 1,5 mm, kopējam virsmas blīvumam sasniedzot ~ 1250 g/m² [6].

Bez norobežojošās funkcijas, bagāžas plauktam ir jāspēj nodrošināt arī mazizmēra priekšmetu (vienmērīgi izlīdzināta svara 1,5–2 kg [149–150] kravnesība, piemēram, lietussarga, vējjakas, somas pārvadāšana. Eksperimentā pārbaudītam reālam vieglās automašīnas *Citroën C5* (2007) bagāžas plauktam (3.52. att.) noteiktā robežstiprība 18,2 MPa ar ~ 2,5 % pagarinājumu sasniegta pie ~ 4,1 kN liela spēka. Eksperimentāli pārbaudītais automašīnas bagāžas plaukts izgatavots no *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras. Stiepes testā pārbaudīta paneļa konstruktīvā kārta, pirms pārbaudes notīrīta ārēja – dekoratīvā apdares kārta. Notīrīto paraugu vidējais biezums ~ 4,51 mm. Šajā eksperimentā iegūtie dati no tirgū reāli pastāvoša produkta pieņemti par aptuveno sasniedzamo tehnisko rādītāju. Lai veiktu tālāku tirgū esošā bagāžas paneļa salīdzināšanu ar abiem promocijas darbā izstrādātajiem kompozītiem, ir izvēlēts bagāžas paneļa izmērs: 1000 mm × 500 mm. Tādejādi, lai izturētu 4,1 kN lielu spēku (skatīt 2.5. tabulu pie NM un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu apkopošanas metodikas), *Hemp_comp* nepieciešamais biezums ir 3,0 mm (jeb 32,8 % mazāk nekā tirgū esošajam paraugam), bet *Flax_comp* nepieciešamais biezums būtu tikai 1,8 mm (jeb 59,6 % mazāk kā tirgū esošajam paraugam un par 39,9 % mazāk nekā kaņepāju šķiedras saturošajam kompozītam). Pēc noteiktā nepieciešamā masas daudzuma, vissmagākais ir tirgū esošais *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras bagāžas plaukts, *Hemp_comp* ir vieglāks par 35,0 %, visvieglākais būtu *Flax_comp* – par 61,4 % vieglāks par smagāko tirgū esošo paraugu. Lai arī tirgū esošajam panelim līdzvērtīgu izturību varētu nodrošināt ar daudz plānākajiem *Hemp_comp* un *Flax_comp* paraugiem, tomēr pastāv bažas par šo abu materiālu stingumu, tāpēc 2.6. tabulā (apkšnodalā 2.4. NM un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu apkopošanas metodika) kompozīti salīdzināti pēc biezuma, pieņemot par salīdzinošo vērtību 4,5 mm (vērtība, kas tuva tirgū esošā kompozīta biezumam) biezumu. Pie vienāda biezuma –

4,5 mm (3.19. tabula), *Hemp_comp* robežstiprība ir par 48,8 % un *Flax_comp* robežstiprība pat par 147,8 % augstāka kā *PA66/GF*. Savukārt nepieciešamais masas apjoms 1000 mm x 500 mm x 4,5 mm paneļa izgatavošanai visiem trim kompozītiem mainās 3,2–4,5 % robežās.

3.19. tabula

Kompozītu tehniskie parametri atkarībā no paneļa biezuma 4,5 mm

Kompozīts	Robežspriegums (MPa)	Masa (kg)
<i>Hemp_comp</i>	27,1	1,45
<i>Flax_comp</i>	45,2	1,43
<i>PA66/GF</i>	18,2	1,50

Tikko apskatīts, ka pie vienāda materiāla biezuma, *Flax_comp* robežstiprība ir ievērojami augstāka nekā pārējiem abiem kompozītiem. Lai *Hemp_comp* un *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras kompozītiem robežstiprība būtu vienāda ar *Flax_comp* robežstiprību (3.20. tabula), *Hemp_comp* biežums jāpalielina par 66,5 % un *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras kompozīta biežums par 147,8 % vairāk nekā *Flax_comp* biežums. Kompozītu biežums panākams ar masas palielinājumu: *Hemp_comp* svārs par 68,6 % un *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras kompozīts ir par 159,4 % vairāk nekā *Flax_comp* masai.

3.20. tabula

Kompozītu tehniskie parametri pie stiepes spēka 10,17 kN

Kompozīts	Biezums (mm)	Masa (kg)
<i>Hemp_comp</i>	7,5	2,42
<i>Flax_comp</i>	4,5	1,43
<i>PA66/GF</i>	11,2	3,72

Kompozītu trīs punktu lieces īpašības

Abu kompozīciju kompozītiem ir izpētīta to izturība liecē – veikta trīs punktu lieces pārbaude. No katra parauga (kompozīcijas *Hemp_comp* paraugi *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4*, *Hemp_comp_5* un kompozīcijas *Flax_comp* paraugi *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2*, *Flax_comp_3*) pārbaudēm izmantota 6. sloksne. Kompozīta 6. sloksne no parauga izcirsta perpendikulāri mašīnas darba virzienam. Trīs punktu lieces pārbaudes rezultātu vērtības *Hemp_comp* parādītas 3.21. tabulā, *Flax_comp* 3.22. tabulā.

Hemp_comp kompozīta trīs punktu lieces mērījumu rezultāti

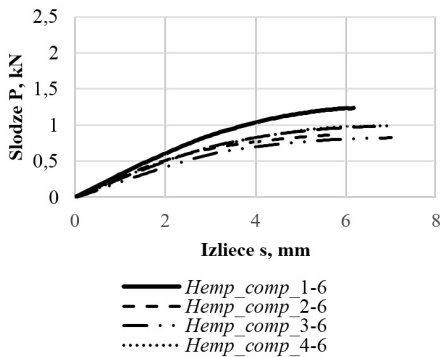
Sloksnes kods	Parauga šķērsriezuma laukums (mm ²)	Virsmas blīvums (g/m ²)	Lieces robežstiprība (MPa)	Lieces pretestība (MPa)	Elastības modulis (GPa)
<i>Hemp_comp_1-6</i>	25	816	0,6	49,8	3,0
<i>Hemp_comp_2-6</i>	39	885	0,4	34,9	2,1
<i>Hemp_comp_3-6</i>	27	860	0,6	33,4	1,4
<i>Hemp_comp_4-6</i>	34	895	0,5	39,9	2,0
<i>Hemp_comp_5-6</i>	23	826	0,7	39,5	1,9

3.22. tabula

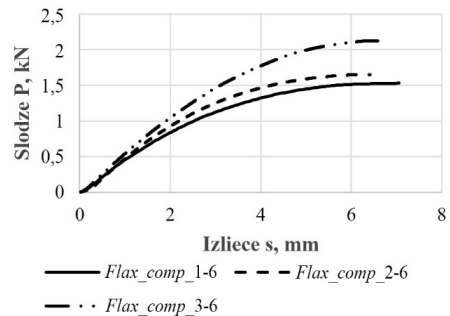
Flax_comp kompozīta trīs punktu lieces mērījumu rezultāti

Sloksnes kods	Parauga šķērsriezuma laukums (mm ²)	Virsmas blīvums (kg/m ²)	Lieces robežstiprība (MPa)	Lieces pretestība (MPa)	Elastības modulis (GPa)
<i>Flax_comp_1-6</i>	41	1059	0,9	62,0	2,9
<i>Flax_comp_2-6</i>	43	1152	1,1	66,5	2,0
<i>Flax_comp_3-6</i>	34	1035	1,1	86,2	4,2

Trīs punktu lieces izturību ietekmējošs raksturlielums – testējamā parauga vidējais šķērsriezuma laukums *Flax_comp* ir 33 % lielāks par *Hemp_comp*. *Flax_comp* lieces pretestības pārsvars pār *Hemp_comp* ir 81 %.



a)

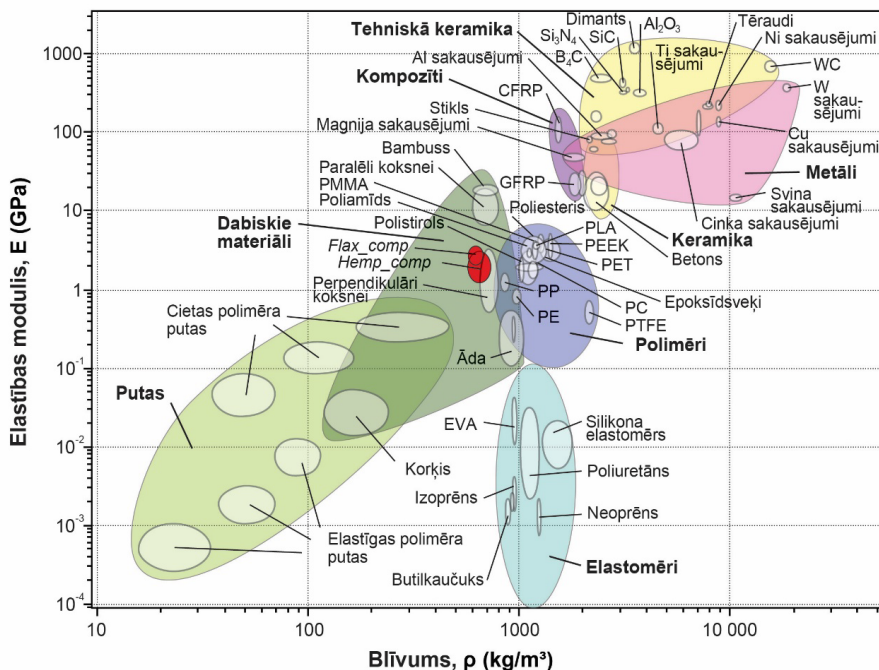


b)

3.53. att. Kompozītu slogošanas testu slodzes un izlieces līkņu salīdzinājums: a) pa kreisi *Hemp_comp* paraugiem *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4* un *Hemp_comp_5*, b) pa labi *Flax_comp* paraugiem *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2* un *Flax_comp_3*.

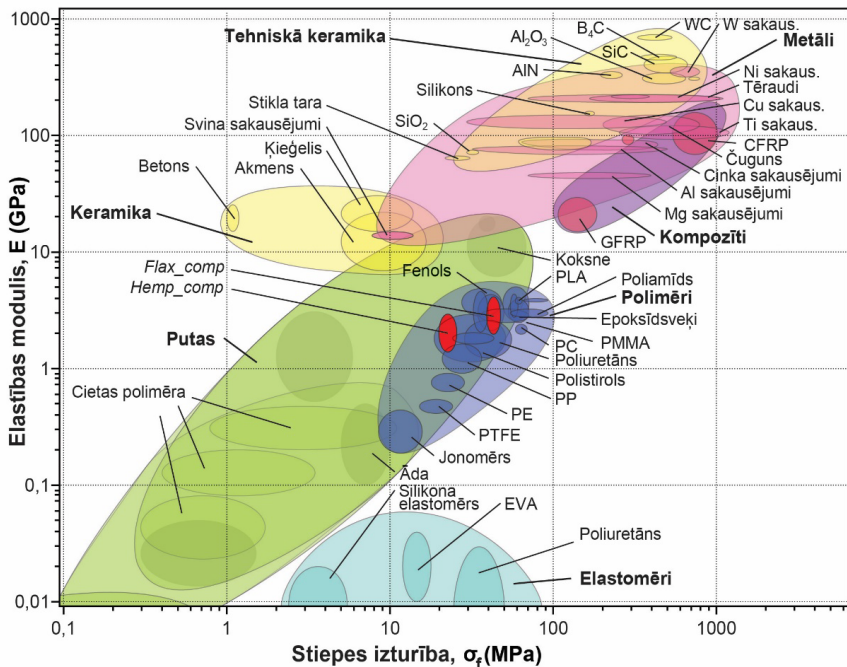
Elastības modulis par 39,7 % lielāks ir *Flax_comp*. Relatīvā kļūda abām kompozīcijām līdzīga: *Hemp_comp* ir 0,03 %, *Flax_comp* – 0,04 %.

3 punktu lieces složošanas testu slodzes un izlieces līkņu diagrammās demonstrētas 3.53. att. Salīdzinot izlieces deformāciju, abu kompozīciju kompozīti uzrāda līdzvērtīgu rezultātu ~ 6 mm. Hemp_comp izliece iegūta amplitūdā no ~ 0,8–1,2 kN lielas slodzes. Flax_comp ~ 6 mm liela deformācija iegūta pie 1,5–2,1 kN lielas slodzes.



3.54. att. Hemp_comp un Flax_comp konkurētspēja ar citiem materiāliem pēc elastības moduļa un blīvuma sakarība [151].

Salīdzinot abus kompozītus ar citiem līdz šim izmantotiem materiāliem [151] pēc elastības moduļa un blīvuma sakarības, tie atrodas dabisko materiālu segmentā. Hemp_comp un Flax_comp elastības moduļa un blīvuma vērtības daļēji pārklājas (3.54. att.). Flax_comp elastības modulis ir augstāks un tā lielākās vērtības daļēji pārklājas ar koksnes vērtībām paralēli šķiedrai. Hemp_comp zemākās elastības moduļa vērtības daļēji pārklājas ar koksni perpendikulāri šķiedrai. Elastības moduļa un blīvuma vērtības katrai atsevišķai kompozītu veidojošajai komponentei ir augstākas nekā apvienojot kompozītā. PLA pēc elastības moduļa un blīvuma atrodas polimēru skaitlisko vērtību segmentā. Abas celulozi saturošās augu šķiedras atrodas blakus un pēc savām skaitliskām vērtībām atrodas kompozītu segmentā, nevis dabas materiālu segmentā, kā tas novērojams abu kompozītu gadījumā.



3.55. att. *Hemp_comp* un *Flax_comp* konkurētspēja ar citiem materiāliem pēc elastības moduļa un izturības (tecēšanas robežas metāliem un polimēriem, spiedes stiprības keramikai, pļūsumizturības elastomēriem un stiepes izturības kompozītiem) [151].

Elastības moduļa un stiepes izturības sakarība salīdzinājumā ar citiem materiāliem dota 3.55. att. [151]. *Hemp_comp* un *Flax_comp* atrodas putu un polimēru segmentu pārkļāšanās zonā. *Hemp_comp* elastības moduļa un stiepes izturības attiecības amplitūda daļēji pārkļājas ar polistirola un poliuretāna iepriekšminēto vērtību amplitūdu, savukārt *Flax_comp* ar epoksīdsveķu, polikarbonāta un poliamīda attiecīgo amplitūdu. Iepriekšējos šīs apakšnodaļas salīdzinājumos *Hemp_comp* un *Flax_comp* salīdzināmo skaitlisko vērtību apgabali atradās tiešā tuvumā ar koksni (paralēli un perpendikulāri šķiedrai). Tomēr koksnes elastības modulis ir augstāks par abu kompozītu elastības moduli un variē amplitūdā ~ 5–11 GPa.

Secinājumi

Iegūtie abu kompozīciju kompozīti pēc krāsas ir tuvi katras augu šķiedras dabiskajai krāsai. PLA šķiedra termiskās apstrādes ietekmē izkūst un kļūst caurspīdīga, padarot redzamas augu šķiedras. *Hemp_comp* ir plānāki (1,3–1,6 mm) nekā *Flax_comp* (1,7–1,9 mm).

Vidējās blīvuma vērtības abiem kompozītiem ir līdzīgas – abu kompozītu variāciju vidējās blīvuma vērtības ir tuvu – 1 % robežās, salīdzinājumam *Hemp_comp* (646,1 kg/m³) ar blīvuma pārsvaru pār *Flax_comp* (637,6 kg/m³). Vidējo virsmas blīvuma vērtību salīdzinājumā novērojams, ka *Hemp_comp* (884 g/m²) ir par gandrīz 30 % mazāks virsmas blīvums nekā *Flax_comp* (1148 g/m²).

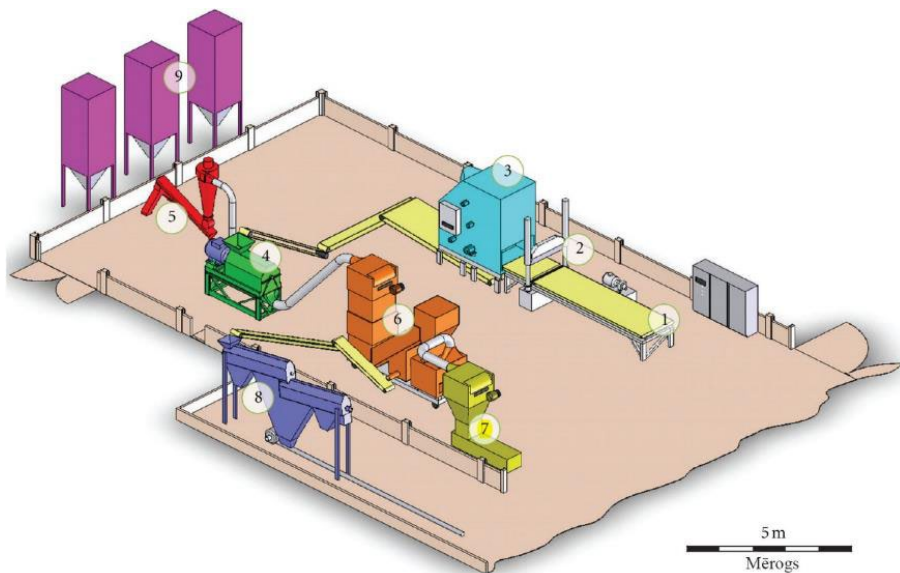
Termo presēšana ievērojami paaugstina stiepes izturību abu kompozīciju materiāliem, salīdzinot ar to pašu kompozīciju NM. *Hemp_comp* $\sigma_{\max \text{ vid}}$ ir 27,1 MPa jeb 1,66 reizes mazāka nekā *Flax_comp*, kuram $\sigma_{\max \text{ vid}}$ ir 45,2 MPa. Pie šīs stiepes izturības *Hemp_comp* materiāla

pagarinājums $\varepsilon_{F_{\max}} \text{ vid}$ ir 2,5 % un tas ir 1,6 reizes mazāk nekā *Flax_comp* ($\varepsilon_{F_{\max}} \text{ vid}$ ir 3,9 %). Papildus abu materiālu mehānisko īpašību raksturojošais trīs punktu lieces tests parāda, ka *Hemp_comp* vidējā lieces robežstiprība ir 0,5 MPa, savukārt par 1,9 reizēm augstāka ir *Flax_comp* (1,0 MPa). Salīdzinot elastības modulūsus, *Flax_comp* tas ir 3,0 GPa un ir par 1,5 reizēm augstāks nekā *Hemp_comp* (2,1 GPa).

Eiropā ražotajām automašīnām salonu interjera apdarē izmanto galvenokārt NM, tie sastopami arī Ziemeļamerikā un Japānā ražoto automašīnu uzbūvē. Mehāniskā adatu cauradatošana NM izgatavošanā ir izplatīta metode. Bagāžas nodalījuma apdarē izmantoti NM, kuru sastāvā ir PET, PP, PA un PE. Arī projektā izstrādātos NM iegūst ar autobūvē tradicionāli izmatoto adatu cauradatošanas metodi. Iegūtie kompozīti ir vieglāki pēc masas (vieglā masa ietaupa izejvielu apjomu, savukārt gatavā materiāla izmantošana automašīnas uzbūvē, ļauj samazināt degvielas patēriņu) un izgatavoti no atjaunīgajiem resursiem, kas ir saskaņā ar Eiropas zaļo kursu.

3.3. Neausto materiālu un kompozītu izgatavošanas orientējošas izmaksas

Pieprasījums pēc augu izcelsmes šķiedrām, tai skaitā kaņepāju un linu šķiedrām, pasaules mērogā turpina augt, tomēr šo šķiedru pārstrādes iespējas Eiropā ir ierobežotas. Mūsdienīgu šķiedru novākšanas paņēmieni trūkums un pārstrādes tehnoloģiju ierobežotā pieejamība ir vieni no galvenajiem šķēršļiem kaņepāju šķiedru audzētājiem un ražotājiem [152]. Eiropā lielākie kaņepāju un linu šķiedru pārstrādātāji koncentrējas Rietumeiropā: *NFC GmbH Nettle Fibre Company* (kaņepāju un nātru šķiedras, Vācija) [153], *BAFA NEU GmbH* (Vācija) [101]. Ziemeļeiropai tuvākā, lielākā un jaunākā kaņepāju šķiedru pārstrādes rūpnīca atrodas Lietuvā (*Natural Fiber* [154]. 2019. gada beigās darbu uzsākusi jaunā fabrika *Naturalus Pluoštas* Kedaiņos. Testa režīmā rūpnīcas uzstādītā jauda ir 4 t kaņepāju stiebru apstrāde stundas laikā. *Pecenka* pētījumā par konkurētspējīgas kaņepāju šķiedru pārstrādes līnijas izveidošanu aprēķinājis, ka 4 t kaņepāju stiebru apstrāde stundā nodrošina ražošanas ekonomisku izdevīgumu pie kaņepāju šķiedru izmaksām 150 EUR par 1 t. Palielinoties līnijas caurlaidībai virs 4 t 1 h amplitūdā līdz 6 t 1 h, iegūstami pozitīvi rādītāji attiecībā uz peļņu un ieguldījumiem [152]. *Naturalus Pluoštas* rūpnīcā gadā plānots apstrādāt 25 000 t kaņepāju, saražojot 8000 t šķiedras. Rūpnīcas platība aizņem 5000 m² no kopējās uzņēmuma platības 2,5 ha [154]. 3.56. att. shematiski attēlota Leibniza Lauksaimniecības inženierijas institūtā iekārtotais mūsdienīgs kaņepāju un linu pārstrādes līnijas pilotprojekts: 1 – ķīpu padevējs, 2 – ķīpu/salmu griezējs, 3 – salmu irdinātājs, 4 – mizotājs, 5 – putekļu atdalītājs, 6 – šķiedru tīrīšana, 7 – šķiedru ķīpotājs, 8 – spaļu tīrīšana, 9 – gaisa attīrīšana. Latvijā kaņepāju stiebru pārstrādi cenšas attīstīt SIA “Zalers” (strādā ar zīmolu “HempTime”) bijušajā Krāslavas linu rūpnīcā. Ražotnes pirmsākumi linu pārstrādē rodami no 1954. gada, kaņepāju pārstrādē kopš 2007. gada. Kaņepāju stiebru pārstrādē iegūtie produkti ir šķiedra un spalvi [155].



3.56. att. Leibnizas Lauksaimniecības inženierijas institūta (*Leibniz Institute for Agricultural Engineering*) kaņepāju un līnu pārstrādes līnijas pilotprojekta plāns [152].

Tā kā tik tuvu Latvijai jau ir uzbūvēta jauna un moderna kaņepāju šķiedru pārstrādes rūpnīca, un arī Krāslavā ir pārstrādes rūpnīca, tad lietderīgi būtu sadarboties šķiedru pārstrādē un nevis konkurēt. Pētījumā izstrādāto NM un kompozītu ražošanas realizācijai būtu nepieciešams plānot un veidot NM un kompozītu ražošanas līniju izbūvi. NM izgatavošanai ražošanas līnija veidojama no šķiedru ķīpu atvēršanas iekārtas, šķiedru zemspiediena iekļāšanas (un šķiedru sajaukšanas) iekārtas, šķiedru klājuma kārtu veidošanas un cauradatošanas iekārtas. NM gala produkts iegūstams uzlīts uz ruļļa un tā malas apgriežamas. Kompozītu izgatavošanai iepriekš minētā ražošanas līnija papildināma ar kalandra iekārtu.

Bez ražošanas iekārtām, rūpnīcai svarīgas ir telpas jeb ēka, kurā paredzēts ražošanas process un tās attālums līdz stratēģiski svarīgiem ceļa infrastruktūras mezgliem. Ražošanas ēka var tikt būvēta no jauna, gan pielāgota jau esošai celtnē. Plānojot izdevumus par telpām, jāņem vērā, ka telpas var būt iegādātas (tai skaitā celtas) vai arī nomātas. Šajā pētījumā kā NM un kompozīta ražošanas vieta izvēlēta Jelgava, gan dēļ ģeogrāfiskās atrašanās vietas, gan ceļu infrastruktūras dēļ (tai skaitā dzelzceļš), un pieredze līnu pārstrādē (uzņēmuma SIA “LareLini”) [156]. Ražošanas telpās jābūt vietai ražošanas iekārtām, izejvielu jeb šķiedru ķīpām, kuras vēlams vismaz 8 stundas pirms ražošanas uzglabāt 23 °C [157], kā arī īslaicīgai gatavās produkcijas uzglabāšanai.

Ražošanas procesa realizācijai nepieciešamajā darbaspēka kompetencē ietilpst ražošanas iekārtu operatori, remontatslēdznieks-mehāniķis, maiņas vadītāji, kvalitātes uzraugs. Saskaņā ar Latvijas Valsts likumdošanu ražotnē ir jābūt arī darba aizsardzības un ugunsdrošības aizsardzības speciālistam. Lai ātrāk atpelnītu finansiālos ieguldījumus no ražošanas iekārtām un telpām, un iegūtu zemāku produkcijas pašizmaksu, rūpnieciskā ražošana visbiežāk ir organizējama divās vai trijās maiņās. Konkrētā maiņu darba modeļa izvēle ietekmē nodarbināto skaitu. Ir pienākumu pozīcijas, kuras iespējams apvienot. Administrācijas darba galvenā nozīme ir nodrošināt ražotni ar patstāvīgu darbu, nodrošinot sabalansētas izejmateriālu rezerves

un gatavās produkcijas uzkrājumus. 2022. gada februārī vakanču sludinājumos (avots: vakanču sludinājumu portāls *CV.lv*) ražošanas sfērā piedāvātais mēneša bruto atalgojums variē no 900–2000 EUR. Salīdzinājumam 2022. gadā minimālā alga Latvijā ir 500 EUR (kopš 2021. gada 1. janvāra), 2021. gada trešajā ceturksnī mēneša vidējā bruto darba samaksa par pilnas slodzes darbu bija 1280 EUR (avots: biznesa portāls *DB.lv*).

Pētījumā izstrādāto materiālu orientējošas izmaksas (EUR/m²) aprēķinātas, pieņemot, ka ražošanas mērķis ir iegūt abu kompozīciju kompozītus ar biezumu 4,5 mm. Lai to sasniegtu, tad nepieciešams vispirms sarāžot 26,0 mm biezu *Hemp_nw* (blīvums 108,3 kg/m³, virsmas blīvums 2797 g/m² un 35,0 mm biezu *Flax_nw* (blīvums 84,4 kg/m³, virsmas blīvums 2834 g/m²).

Ražošanas uzņēmumam darba procesā veicama daļēja vai pilna inventarizācija, kas ļauj iegūt aktuālo informāciju par preču un izejvielu atlikumiem, atklāt iespējamus preču zudumu iemeslus, novērst grāmatvedībā un pavaddokumentos ieviesušās kļūdas. Inventarizācijas kārtību nosaka LR likums “Par grāmatvedību” [158] un Ministru kabineta (MK) noteikumi Nr. 585 “Noteikumi par grāmatvedības kārtošānu un organizāciju” [159]. Latvijas likumdošanas un normatīvie akti nosaka par pienākumu atkritumu radītājiem veikt to valdījumā esošo atkritumu uzskaiti. Uzskaites informācija izmantojama pašvaldību un valsts institūcijām iesniedzamajos, ikgadējos pārskatos. Atkritumu uzskaitē atkritumu aprakstam jābūt gana skaidram, lai klasificētu to veidu un precīziem apjomiem, jo no tā ir atkarīga dabas resursu nodokļa likme un maksājuma apjoms. Atbrīvojumu no dabas resursa nodokļa maksas var saņemt, slēdzot līgumu ar atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu (vai arī atkritumus apsaimniekojot saviem spēkiem). Jāņem vērā, ka slēdzot līgumu par atkritumu apsaimniekošanu, sagaidāmas izmaksas, kas veido kopējo materiāla pašizmaksu. Vēl atbrīvojumu par dabas resursu nodokli var saņemt, ja uzņēmums spēj izpildīt kādu no kritērijiem par oglekļa dioksīda emisijām, piemēram, stacionārās tehnoloģiskās iekārtas operatori, kuri ir iekļauti ES emisijas kvotu tirdzniecības sistēmā un izpilda likuma “Par piesārņojumu” prasības par emisijas kvotu nodošanu. Tāpat nodokli nemaksā par oglekļa dioksīda emisiju, kas rodas, izmantojot atjaunīgos energoresursus [160]. Saskaņā ar Dabas resursa nodokļa likuma 3. pielikumu nodokļu likme par ražošanas atkritumiem (atkritumu, kas nav uzskatāmi par bīstamiem atkritumiem) no 2022. gada 1. janvāra līdz šī paša gada 31. decembrim ir 80 EUR/1 t.

Lai uzņēmumam nebūtu jātērē finansiālie līdzekļi ražošanas atlikumu apsaimniekošanai, lietderīgāk ražošanas atlikumus pārveidot blakusproduktā un no tā gūt peļņu. Tiek pieņemts, ka apģērba ražošanas procesā rodas ~ 20 % [161] tekstila atkritumu, galvenā daļa no tiem rodas pēc piegrieztņu izgriešanas. NM ražošana, protams, nav tieši salīdzināma ar apģērba ražošanu, tomēr tajā rodas šķiedru zudumi un atgriezumi no gatavā NM ruļļa malas pielīdzināšanas, un tekstila sagriešanas termiskajai presēšanai, kā arī atgriezumi no termiskās presēšanas, tāpēc NM un kompozīta pašizmaksas aprēķinos ražošanas atkritumi (šķiedru zudumi un atgriezumi) prognozēti 25 % apjomā. Katrā ražošanas solī rodas atšķirīgi ražošanas atlikumi un tos var iedalīt:

- putekļi, sīkas daļas no augu šķiedrām un PLA šķiedras;
- augu un PLA šķiedru maisījums – šķiedras sajauktas dažādās proporcijās;
- NM atgriezumi;
- kompozītu atgriezumi.

Hemp_nw, *Flax_nw* NM un *Hemp_comp*, *Flax_comp* kompozītu fizikāli-mehāniskie, un tehnoloģiskie parametri

Nosaukums	Parametrs kaņepāju kompozīcijām	Parametrs linu kompozīcijām
Gatavā NM materiāla blīvums (kg/m ³)	108,3	84,4
Gatavā kompozīta materiāla blīvums (kg/m ³)	646,1	637,6
Gatavā NM materiāla biezums (kaņepāji- PLA kompozīcijas gadījumā iegūts no dubultotām NM veidojošajām kārtām) (mm)	26	35
Gatavā kompozīta materiāla biezums (iegūts no divās kārtās salikta NM) (mm)	4,5	4,5
Gatavā NM materiāla virsmas blīvums (g/m ²)	2797	2834
Gatavā kompozīta materiāla virsmas blīvums (g/m ²)	2800	2930
Ražošanas līnijas darba platums (m)	2,6	2,6
Ražošanas līnijas ražības robeža (kg/h)	400	400
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums (m/min)	0,9	0,9
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums strādājot 1 maiņā (tk. m/gadā)	104,3	99,6
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums strādājot 2 maiņās (tk. m/gadā)	208,7	199,3
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums strādājot 1 maiņā (tk. m ² /gadā)	244,2	233,2
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums strādājot 2 maiņās (tk. m ² /gadā)	488,3	466,3
Līnijas jauda (kW)	117,5	117,5
Līnijas elektroenerģijas patēriņš (kW/h (sastāda 75 % no iekārtas jaudas))	88	88
Iekārtu nolietojuma norakstīšanas laiks (gadi)	10	10
Bankas (finanšu institūcija <i>ALTUM</i>) likme (%)	1,9	1,9
Finanšu institūcijas <i>ALTUM</i> līdzfinansējums iekārtu iegādei (%)	80	80
Tiešā darba stundu skaits iekārtu apkalpojošam personālam vienā maiņā, ja dienā strādā 8 h, pieņemot, ka 2022. gadā ir 253 darba dienas (h/gadā)	2024	2024
Iekārtu lietderīgais darba laiks vienas vienas maiņas laikā, neskaitot tukšgaitu 30 min. (h/dienā)	7,5	7,5
Iekārtu lietderīgais darba laiks vienas vienas maiņas laikā, neskaitot tukšgaitu 30 min. (h/gadā)	1897,5	1897,5
Augu šķiedru zudumi apstrādes procesā (%)	20	20
PLA šķiedru zudumi apstrādes procesā (%)	5	5

Katram no atlikumiem piemērojama dažāda tālāka realizācija. Piemēram, tikai putekļi, sīkās daļas no kaņepāju šķiedrām un PLA šķiedras, kā arī kompozīta atgriezumi u. c. atlikumi, kuru tālāka pārstrāde nav ekonomiski pamatota, var nodot apglabāšanai atkritumu poligonā vai kurināmā iegūšanā no atkritumiem [162]. Kaņepāju un PLA šķiedru maisījums un NM atgriezumi rupji sagriežami, atkal irdināmi un pakojami kā lolojumdzīvnieku (pēc Lauksaimniecības datu centra informācijas oficiāli reģistrēto lolojumdzīvnieku skaitam Latvijas pilsētās un valstī kopumā ir tendence augt [163]) pakaiši un mīgu veidojamais

materiāls. Viegli ekstrudētās granulas izmantojamas kā grunts aizvietotājs siltumnīcas augu audzēšanai – līdzīgi kā tas ir ar kokosa šķiedrām siltumnīcas ķiršu tomātu audzēšanā [161, 164].

Lai ražošanas atkritumus kompaktā veidā tālāk nogādātu vai nu uz atkritumu poligonu, vai tālākai pārstrādei, ražošanas līnija papildināma ar presēšanas iekārtu. Kurināmā granulu un lolojumdzīvnieku pakaišu granulu ražošanai ir nepieciešams granulu iekārtas līniju komplekss, kas sastāv no sekojošām iekārtām: malšanas dzirnavām, āmurdzirnavām, granulu preses, vibrosieta, granulu dzesētāja, granulu uzkrājēja ar svēršanas un pakošanas aprikojumu. Pētījuma ietvaros tuvāk granulu ražošanas līnijas ieviešana un ar to saistāmās izmaksas netiek apskatītas.

Pētījuma ietvaros aprēķināta NM un kompozīta pašizmaksa, šo aprēķinu ieejas dati apkopoti 3.23. tabulā. *Hemp_nw*, *Hemp_comp*, *Flax_nw* un *Flax_comp* ražošanas līnijas iekārtas uzskaitītas un to galvenie darba parametri norādīti 3.24. tabulā.

3.24. tabula

Hemp_nw, *Flax_nw* NM un *Hemp_comp*, *Flax_comp* kompozītu ražošanas līnijā iekļautās iekārtas

Neusto materiālu izgatavošanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas	Cena, tk. EUR
<i>AOLONG ALKB</i> šķiedru irdinātājs, darba platums: 1,4 m, darba ātrums: 400 kg/h, jauda: 7,5 kW	7,4
<i>SNK Sail Non-Woven Machiner Co., Ltd.</i> , šķiedru plīvura kārtošana iekārta, darba ieejas platums: līdz 2,5 m, darba izejas platums: 2,5–9,0 m, materiāla ievades darba ātrums: līdz 40 m/min., jauda: 6 kW (pielāgojama)	48
Ātrražīga cauradatošanas iekārta filcam (<i>high speed non woven Textile Needle Punching Machine for felt</i>), darba platums: 2,5–8,8 m, līnijas darba ātrums: 1 līdz 10 m/h, jauda: 22–50 kW	48,1
<i>SNK Sail Non-Woven Machiner Co., Ltd.</i> , gatavā neustā materiāla griešanas un uztīšanas iekārta, 2019, darba ieejas platums: 1,5–9,0 m, darba ātrums: līdz 20 m/min., uztināmā ruļļa diametrs: līdz 1,0 m, jauda: 6 kW (pielāgojama)	14,3
Kompozītu izgatavošanas tehnoloģiskajā līnijā iekļautās iekārtas	Cena, tk. EUR
<i>YUELONG YL-TPJ 2</i> līdz 4 cilindru kalandra mašīna, darba platums: 2,5–4,5 m, darba ātrums: 1,0–4,0 m/min., siltuma pārneses eļļas daudzums 1100 L, siltuma pārneses eļļas augstākā temperatūra: 320 °C, jauda: 380 V, 50 Hz (46–80 kW)	17,8

NM un kompozīta izmaksu sadalījumu – materiālu veidojošo šķiedru izmaksas, elektroenerģijas izmaksas, darba spēka izmaksas, kapitāla izmaksas darbiniekiem strādājot vienā vai divās maiņās skatīt 3.25. tabulā. Ražošanai nepieciešamais maksimālais šķiedru apjoms gadā abu šķiedru saturošajiem materiāliem aprēķināts līdzīgs: gan kaņepāju un PLA šķiedru kopējais apjoms, gan linu un PLA šķiedru kopējais apjoms gadā ir 0,8 tk. t strādājot vienā maiņā un 1,5 tk. t strādājot divās maiņās. Uzskatāmi liels ir viena ražošanas gada laikā iegūtie šķiedru zudumi un atlikumi, kas arī abu šķiedru kompozītajām ir līdzīgs – 75 t strādājot vienā maiņā un 150 t strādājot divās maiņās no kaņepāju šķiedras saturošo materiālu izgatavošanas un 74 t strādājot vienā maiņā un 149 t strādājot divās maiņās no linu šķiedras saturošo materiāla ražošanas. Lielo ražošanas atgriezumu apjomu var pārdot pārstrādātājiem vai pārstrādāt blakusproduktos. Materiāla izejvielas veido: kaņepāju šķiedras 1,55 EUR/kg, linu šķiedras 2,73 EUR/kg un PLA šķiedras 3,42 EUR/kg. Vienā darba maiņā NM un kompozīta izgatavošanai nepieciešami 9 darbinieki: 1 maiņas vadītājs, 1 remontatslēdznieks-

elektriķis, 5 līnijas operatori un 2 palīgstrādnieki. Divās darba maiņās nepieciešami 16 darbinieki: 1 maiņas vadītājs, 1 remontatslēdznieks-elektriķis, 10 līnijas operatori un 4 palīgstrādnieki. Sīkāku darba spēka uzskaitījumu un darba algu izmaksas skatīt 3.25. tabulā.

3.25. tabula

Hemp_nw, Flax_nw NM un *Hemp_comp, Flax_comp* kompozītu resursu patēriņš un orientējošas izmaksas

Pozīcija	Kaņepāji-PLA kompoz. 1 maiņa	Kaņepāji-PLA kompoz. 2 maiņas	Lini-LA kompoz. 1 maiņa	Lini-PLA kompoz. 2 maiņas
Šķiedru izmaksas				
Materiāla patēriņš (tk. t/gadā)	0,8	1,5	0,8	1,5
Materiāla izmaksas (milj. EUR/gadā)	1,98	3,96	2,32	4,64
Materiāla zudumi apstrādes laikā (atgriezumi, kurus var pārstrādāt jeb blakusprodukts (t/gadā))	75	150	74	149
Materiāla zudumi apstrādes laikā (milj. EUR/gadā)	0,15	0,31	0,22	0,43
Elektroenerģijas izmaksas				
Apgaismojuma elektroenerģijas patēriņš, lampa uz ik pēc 4 m, 100 W, 14000 lm, 140 lm uz 1 W, 5 gadu garantija (tk. kWh/gadā)	20,2	40,5	20,2	40,5
Apgaismojuma elektroenerģijas izmaksas, lampa uz ik pēc 4 m, 100 W, 14000 lm, 140 lm un 1 W, 5 gadu garantija, aprēķins pēc AS "Sadales tīkls" tarifu aprēķina kalkulatora, ieskaitot obligāto iepirkuma komponenti, samaksu par sadales pakalpojuma pieslēgumu, sadales pakalpojumu (tk. EUR/gadā)	1,1	2,8	1,1	2,8
Ražošanas līnijas elektroenerģijas patēriņš (tk. kWh/gadā)	178,4	356,7	178,4	356,7
Ražošanas līnijas elektroenerģijas izmaksas (tk. EUR/gadā)	10,1	20,1	10,1	20,1
Kopējās elektroenerģijas izmaksas (tk. EUR/gadā)	11,2	22,9	11,2	22,9

3.25. tabulas turpinājums

Pozīcija	Kaņepāji- PLA kompoz. 1 maiņa	Kaņepāji- PLA kompoz. 2 maiņas	Lini-PLA kompoz. 1 maiņa	Lini-PLA kompoz. 2 maiņas
Darbaspēka izmaksas				
Vidējā bruto ražotnes vadītāja darba alga 2600 EUR/mēnesī, kopā ar VSAOI (tk. EUR/gadā)	40,3	50	40,3	50
Vidējā bruto maiņas un kvalitātes vadītāja darba alga 1800 EUR/mēnesī, kopā ar VSAOI (tk. EUR/gadā)	27,9	55,9	27,9	55,9
Vidējā bruto ražošanas iekārtu operatora darba alga ražošanas sektorā, 1550 EUR/mēnesī, kopā ar VSAOI (tk. EUR/gadā)	120,2	240,5	120,2	240,5
Vidējā bruto remontatslēdznieka-elektriķa darba alga ražošanas sektorā, 1550 EUR/mēnesī, kopā ar VSAOI (tk. EUR/gadā)	24	48,1	24	48,1
Vidējā bruto strādnieka darba alga ražošanas sektorā, 1100 EUR/mēnesī, kopā ar VSAOI (tk. EUR/gadā)	34,1	68,3	34,1	68,3
Vidējā bruto sekretāra-lietveža, darba aizsardzības speciālista, atbildīgais par ugunsdrošību darba alga, 1100 EUR/mēnesī, kopā ar VSAOI (tk. EUR/gadā)	17,1	20,5	17,1	20,5
Vidējā bruto apkopēja darba alga ražošanas sektorā, 770 EUR/mēnesī (kopā tk. EUR/gadā)	11,9	23,9	11,9	23,9
Grāmatvedība, ārpakalpojums , vidējā grāmatvedības apkalpošanas maksa mēnesī 200–250 EUR/mēnesī (tk. EUR/gadā)	2,9	3,6	2,9	3,6
Kapitāla izmaksas				
Tehnoloģiskās līnijas iekārtu cena (iekārtu iegādes izmaksas palielinātas par 15 % iekārtu transportēšanas, uzstādīšanas, regulēšanas u.c. ar tehnoloģisko iekārtas līnijas uzstādīšanu saistīto izmaksu segšanai), apgaismes ķermeņu iegāde un montāža (milj. EUR)		0,34		0,34
Pamatsummas atmaksa (10 gados) (tk. EUR/gadā)		33,7		33,7

Tabulas 3.25. turpinājums

Pozīcija	Kaņepāji-PLA kompoz. 1 maiņa	Kaņepāji-PLA kompoz. 2 maiņas	Lini-PLA kompoz. 1 maiņa	Lini-PLA kompoz. 2 maiņas
Kapitāla izmaksas				
Bankas līdzfinansējums iekārtu iegādei 80 % no tehnoloģiskās līnijas iekārtu izmaksām (milj. EUR)	0,27		0,27	
Darba kapitāls uzņēmuma darbības nodrošināšanai (milj. EUR)	0,59	1,14	0,67	1,31
Kreditprocenti par darba kapitāla nodrošināšanu (bankas likme 1,9 %) (tk. EUR 1. gadā)	11,7	22,3	13,3	25,5
Pašu kapitāls iekārtu iegādei (tk. EUR)	67,4		67,4	
Ražošanas iekārtu kopējās izmaksas (milj. EUR 1. gadā)	0,11	0,12	0,11	0,13
Telpu nomas izmaksas un iekārtu nolietojums				
Telpu noma (angārs Jelgavā, 1160 m ² , cena 3,5 EUR par 1 m ² /mēnesī) (tk. EUR/gadā (avots: sludinājumu portāls <i>SS.com, pēc 13.02.2022. datiem</i>))	48,7		48,7	
Ražošanas iekārtu nolietojums (pamatlīdzekļu nolietojums) (10 gadi) (tk. EUR/gadā)	33,7		33,7	

3.26. tabula

Hemp_nw NM un *Hemp_comp* kompozīta izmaksu struktūra

Pozīcija	1 maiņa, (EUR/m ²)	2 maiņas, (EUR/m ²)
Ar ražošanu saistītās darbaspēka izmaksas	0,73	0,73
Netiešās ražošanas izmaksas	0,79	0,53
Pārdošanas un administrācijas izmaksas	3,09	3,04
Kapitāla izmaksas	0,46	0,25
Materiāla izejvielu izmaksas	8,11	8,11
Caurdatota 26,0 mm bieza (108,3 kg/m ³) <i>Hemp_nw</i> orientējošas izmaksas	13,03*	12,51*
Termopresēta 4,50 mm bieza (646,1 kg/m ³) <i>Hemp_comp</i> orientējošas izmaksas	13,19*	12,66*

Salīdzinot NM pašizmaksu vienas kompozīcijas ietvaros, atkarībā vai tas saražots vienā vai divās maiņās ir minimāla. *Hemp_nw* (26,0 mm biezs), kas saražots divās maiņās, pašizmaksa ir 12,51 EUR par 1 m², pašizmaksa ir par nepilnu 4 % lētāka kā tāda paša materiāla saražošana vienā maiņā 13,03 EUR/m² (3.26. tabula). Līdzīgs novērojums arī *Flax_nw* (35,0 mm biezs) ražošanas gadījumā – divās maiņās saražotā NM pašizmaksa (3.27. tabula) ir lētāka par ~5 % nekā vienā maiņā (14,84 EUR/m² vienā maiņā un 15,53 EUR/m² divās maiņās). Savstarpēji

salīdzinot *Hemp_nw* un *Flax_nw* lētāko pašizmaksu par m², par gandrīz 17 % lētāks ir kaņepju šķiedras saturošais materiāls. Šajā salīdzinājumā jāņem vērā, ka linu šķiedras NM saturošās kompozīcijas 1 m² NM izgatavošanai izmanto par gandrīz 2 % mazāk materiāla nekā *Hemp_nw*.

3.27. tabula

Flax_nw NM un *Flax_comp* kompozīta izmaksu struktūra

Pozīcija	1 maiņa (EUR/m ²)	2 maiņas (EUR/m ²)
Ar ražošanu saistītās darbaspēka izmaksas	0,77	0,77
Netiešās ražošanas izmaksas	0,83	0,56
Pārdošanas un administrācijas izmaksas	3,69	3,64
Kapitāla izmaksas	0,49	0,27
Materiāla izejvielu izmaksas	9,94	9,94
Caurdatota 35,0 mm bieža (84,4 kg/m ³) <i>Flax_nw</i> orientējošas izmaksas	15,53*	14,84*
Termopresēta 4,50 mm bieža (637,6 kg/m ³) <i>Flax_comp</i> orientējošas izmaksas	15,73*	15,18*

Līdzīgi kā NM pašizmaksas, tā arī kompozītu gadījumā materiāla pašizmaksas atšķirība starp ražošanu vienā vai divās maiņās ir minimāla. *Hemp_comp* (4,5 mm biezs), kas saražots divās maiņās, pašizmaksa ir 12,66 EUR/m² un pašizmaksa ir par 4 % lētāka kā tāda paša materiāla saražošana vienā maiņā 13,19 EUR/m² (3.26. tabula). *Flax_comp* (4,5 mm biezs) pašizmaksa ražojot divās maiņās ir lētāka par ~4 % nekā vienā maiņā (15,18 EUR par 1 m² vienā maiņā un 15,73 EUR par 1 m² divās maiņās). Kompozītu salīdzinājumā 1 m² pašizmaksa *Hemp_comp* ir par 18 % lētāka nekā *Flax_comp*.

Aprēķinot abu materiālu viena m² pašizmaksu divu maiņu ražošanā, izmaksu pozīcijas ir zemākas nekā vienā maiņā. Visā ražošanas procesā proporcionāli lielākās izmaksas veido materiāla izejvielu izmaksas, otra lielākā izmaksu pozīcija ir pārdošanas un administrācijas izmaksas. Mazākās izmaksas saistītas ar ražošanas tehnoloģiju iegādi un uzstādīšanu, kapitāla izmaksas un ar ražošanu saistītās darba spēka izmaksas. Nelielā pašizmaksas atšķirība starp NM un kompozīta izgatavošanu vienā un divās maiņās saistāma ar pārdošanas un administrācijas izmaksām, kas palielinās pieaugot ražošanas apjomiem. Jo lielāki ražošanas apjomi, jo mazāku ietekmi uz materiāla pašizmaksu atstāj ar ražošanas līniju papildināšanu un apkalpošanu saistītās izmaksas.

Secinājumi

Katras šķiedru maisījuma kompozīcijas gadījumā, lai arī nedaudz, bet lētāka materiāla pašizmaksa ir pie ražošanas divās maiņās. Ražojot divās maiņās, 1 m² *Hemp_nw* pašizmaksa ir gandrīz par 17 % lētāka (12,51 EUR/m²) nekā *Flax_nw* (14,84 EUR/m²). Jāņem vērā, ka linu šķiedras saturošās kompozīcijas izgatavošanai uz 1 m² NM izmanto par gandrīz 2 % mazāk

materiāla. Arī kompozītu pašizmaksas salīdzinājumā par 1 m², *Hemp_comp* (12,66 EUR/m²) gandrīz par 18 % ir lētāks nekā *Flax_comp* (15,18 EUR/m²).

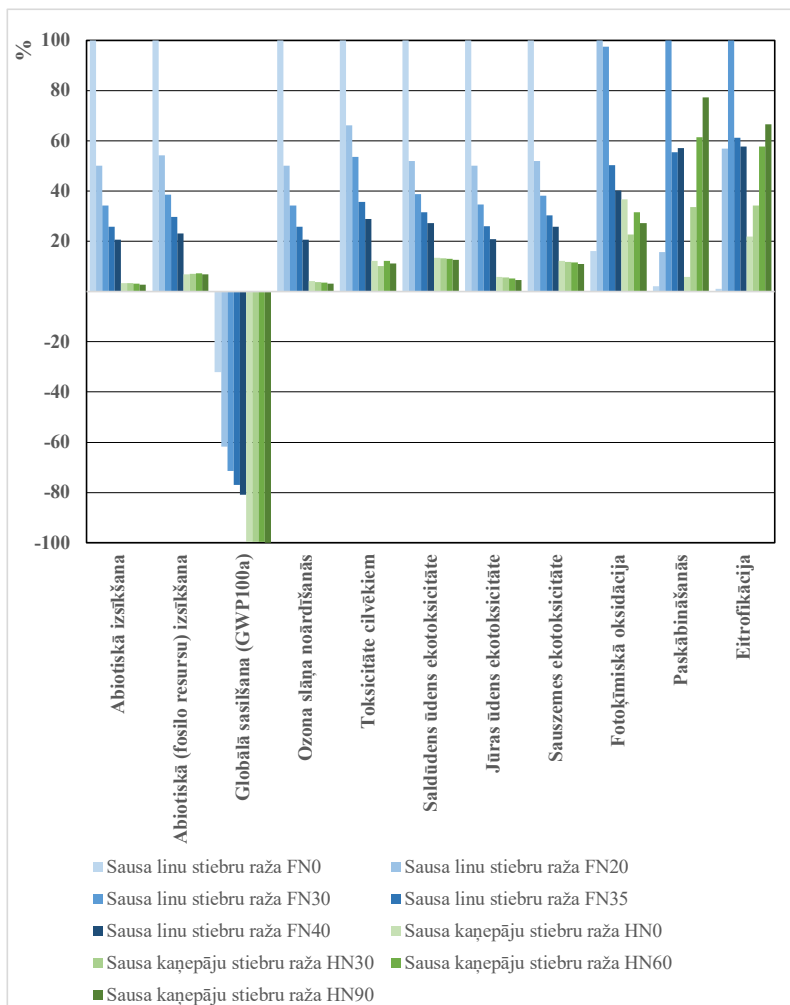
3.4. Neausto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu analīzes rezultāti

Kaņepju un linu audzēšanas ietekme uz vidi

CML grafikā (3.57. att.) redzama kaņepju un linu audzēšanas ietekme uz vidi, atkarībā no N mēslošanas dozas uz 1 ha. Ja izvērtē kaņepju audzēšanas ietekmi uz vidi atkarībā no mēslošanas scenārijiem, vislielākās datu variācijas izmaiņas novērojamas pie paskābināšanās un eitrofikācijas. Pie augsnes paskābināšanās, proporcionāli palielinot mēslošanas dozu, palielinās ietekme – pie mēslošanas dozas HN30 (gandrīz par 34 %), HN60 (~61 %) un izteikti lielākā ietekme mēslošanas scenārijam HN90 (77 %). Līdzīgs efekts sastopams arī pie eitrofikācijas – HN0 (22 %), HN30 (34 %), HN60 (~58 %) un HN90 (66 %). Kaņepju audzēšanas gadījumā ietekme uz globālās sasilšanas potenciālu (*GSP*) visiem mēslošanas scenārijiem ir proporcionāla.

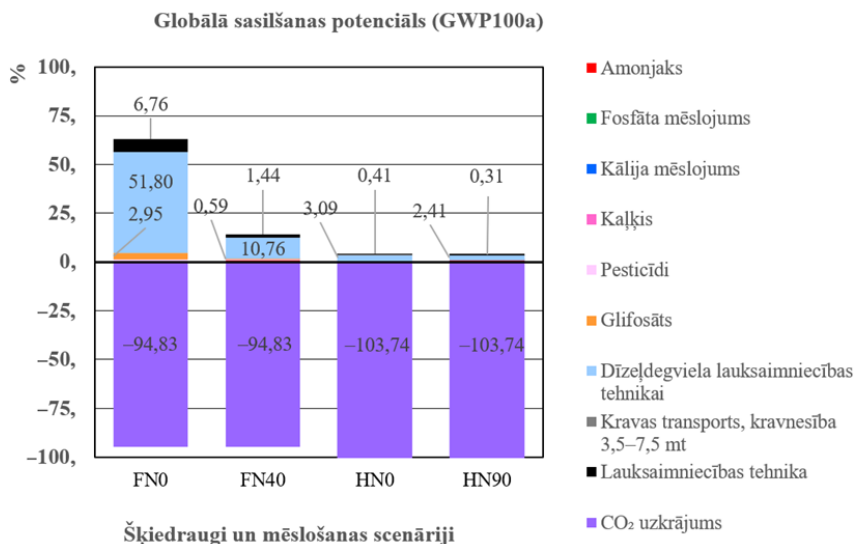
Salīdzinot abas kultūras, kaņepju apskatītajos scenārijos (abiotiskā izsīkšana, abiotiskā (fosilo resursu) izsīkšana, ozona slāņa noārdīšanās, toksicitāte cilvēkiem, saldūdens ūdens ekotoksicitāte, jūras ūdens ekotoksicitāte, sauszemes ekotoksicitāte, fotoķīmiskā oksidācija, paskābināšanās un eitrofikācija) ietekme uz vidi ir mazāka un CO₂ uzkrājums ir lielāks nekā linu gadījumā. Linu FN0 (jeb mēslošanas doza 0 kg N/ha) scenārijā apskatītās ietekmes uz vidi (atskaitot fotoķīmisko oksidāciju, paskābināšanos un eitrofikāciju) ir ievērojami lielākas un CO₂ uzkrājums ir mazāks nekā pārējiem linu scenārijiem. Apskatīto vides ietekmju pakāpenisku mazināšanos starp scenārijiem FN20, FN30, FN35 un FN40 var skaidrot ar lauksaimniecības tehnikas iesaisti un to kapacitātes kāpināšanu pie arvien augstākas mēslošanas dozas. Katras atsevišķās vides ietekmju kategorijas robežās, pēc tā, kā mainās ietekmes vērtību intensitāte (ietekme samazinās, pieaugot mēslojuma dozai) starp dažādiem mēslošanas scenārijiem, parāda, ka ir lietderīgi mēslojot linus. Atšķirīgu situāciju novēro pie paskābināšanās un eitrofikācijas. Tajos gadījumos, palielinot mēslojuma dozu, ietekme uz vidi palielinās, savukārt pie maksimālās mēslojuma dozas, ietekme uz vidi no abām vides ietekmes kategorijām sāk mazināties.

Kaņepju audzēšanas gadījumā nenovēro CO₂ uzkrājuma atšķirības starp HN0 (100 %) un pārējiem mēslošanas scenārijiem HN30, HN60 un HN90. Atskaitot fotoķīmisko oksidāciju, paskābināšanos un eitrofikāciju, ietekmes uz pārējām aplūkotajām vides kategorijām atšķiras no 6–30 % robežās, mazāko ietekmi atstājot HN90 scenārijam. Līdzīgi kā kaņepju audzēšanas gadījumā, tā arī linu audzēšanas mēslošanas scenārijos, vislielākās vidi ietekmējošo datu variāciju izmaiņas novērojamas paskābināšanās, eitrofikācijas, fotoķīmiskās oksidēšanās un globālās sasilšanas potenciāla gadījumos.



3.57. att. Kaņepju un līnu audzēšanas procesa ietekme uz vidi atkarībā no mēslošanas scenārijiem.

CML grafikā (3.58. att.) atspoguļoti emisiju avoti uz GSP pie kaņepju (mēslošanas scenāriji HN0 un HN90) un līnu (mēslošanas scenāriji FN0 un FN40) audzēšanas. Kaņepju audzēšanā pie HN0 mēslošanas scenārija galvenie kaitīgo vielu emisiju avoti ir dīzeļdegviela un to patērējošās lauksaimniecības tehnikas izmantošana. Pie HN90 mēslošanas scenārija iepriekš minēto emisiju avotu papildina emisija no amonjaka, kuru izraisa minerālmēslojuma izmantošana. Abos kaņepju audzēšanas gadījumos iepriekš minētās emisijas ievērojami pārspēj lielais CO₂ uzkrājums – –96 % no kopējām ietekmēm abos mēslošanas scenārijos.

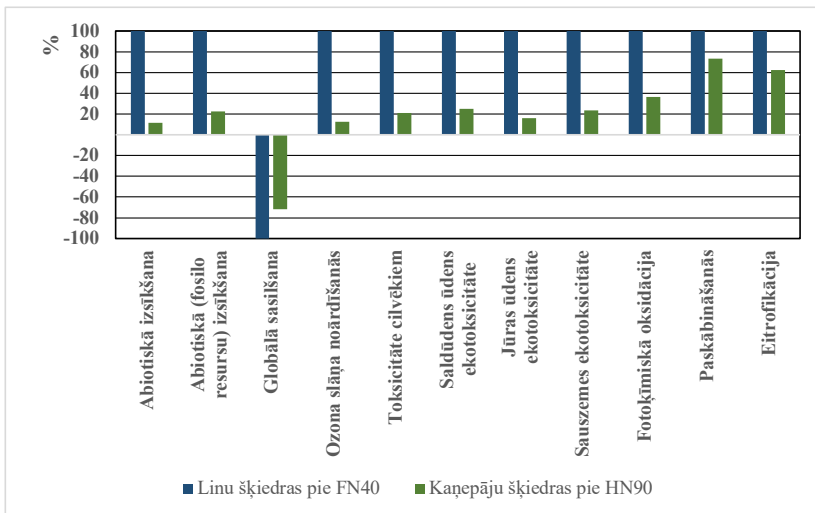


3.58. att. Mēslošanas scenāriju HN0, HN90, FN0, FN40 *CML2 Baseline* rezultāti globālās sasilšanas (*GWP100a*) ietekmes kategorijā.

Linu audzēšanas gadījumā galvenie emisiju avoti pie FN0 mēslojuma scenārija ir dīzeļdegviela un to patērējošā lauksaimniecības tehnika, kā arī pesticīdu un herbicīdu izmantošana. FN0 mēslošanas scenārija gadījumā CO₂ uzkrājums ir gandrīz –66 % no šī scenārija kopējām vides ietekmēm. Palielinoties mēslojuma normai (pie mēslošanas scenārija FN40), ievērojami samazinās kopējais emisijas apjoms uz linu ražas vienību. Lielāko ietekmi izraisošās dīzeļdegvielas emisija samazinās līdz 11 %, savukārt lauksaimniecības tehnikas izmantošanas emisiju ietekme samazinās līdz nepilniem 2 %. Pie FN40 scenārija novērojama CO₂ uzkrājuma palielināšanos līdz –83 %, kas linu gadījumā atspoguļo mēslošanas lietderību.

Kaņepju un linu pārstrādes ietekme uz vidi

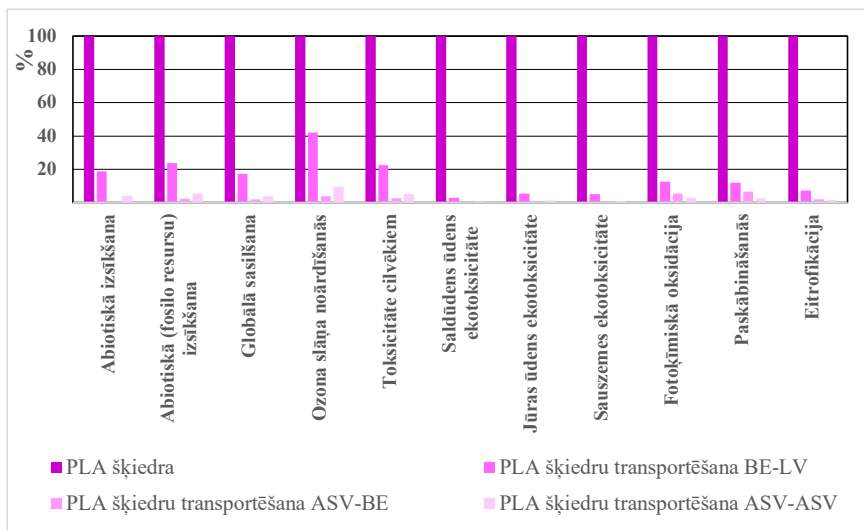
Šķiedru pārstrādē emisiju apjomi (3.59. att.) apskatīti uz izaudzētās zaļmasas ražas daudzumu, kas iegūts no 1 ha. Dati par dažādajiem mēslojumu scenārijiem parāda vienmērīgi proporcionālu pārstrādes ietekmi uz vidi. Izņēmuma gadījumi ir augsnes paskābināšanās un eitrofikācija. Tālākos aprēķinos apskatītas šķiedras, kas audzētas, izmantojot HN90 un FN40 mēslošanas scenārijus. Pie šiem mēslošanas scenārijiem, linu pārstrāde uz *GSP* atstāj par nepilniem 30 % lielāku pozitīvu ietekmi nekā kaņepju gadījumā. Uz paskābināšanos un eitrofikāciju kaņepāju šķiedru pārstrādes atstātā ietekme veido 62–73 %, bet pārējās apskatītājās vides ietekmju kategorijās kaņepāju šķiedru pārstrādes atstātā ietekme ir līdz 36 % no linu pārstrādes ietekmes.



3.59. att. Kaņepāju un linu šķiedru pārstrādes procesa ietekme uz vidi.

Polilaktīda šķiedru izgatavošanas un transportēšanas ietekme uz vidi

Kā redzams 3.60. att., tad neskatoties uz lielo distanci starp PLA šķiedru ražošanas un neaustā materiāla ražošanas vietu, lielāku ietekmi uz vides procesiem veido pašas polimēršķiedras izgatavošana. Kopējā PLA transportēšanas ietekme no pārējās vides ietekmes kategorijas veido līdz 31 % no PLA saražošanas ietekmēm. Izņēmums ir ozona slāņa noārdīšanās – tur no PLA transportēšanas ietekme ir 55 %. Starp transportēšanas posmiem un transportēšanas līdzekļiem, viszemāko ietekmi uz vidi rada garākās distancēs veikšana pār Atlantijas okeānu ar kuģu transportu, savukārt lielāko ietekmi veido šķiedras transportēšana no ostas Beļģijā uz neaustā materiāla un kompozīta ražošanas vietu ar kravas auto pa sauszemes ceļu.



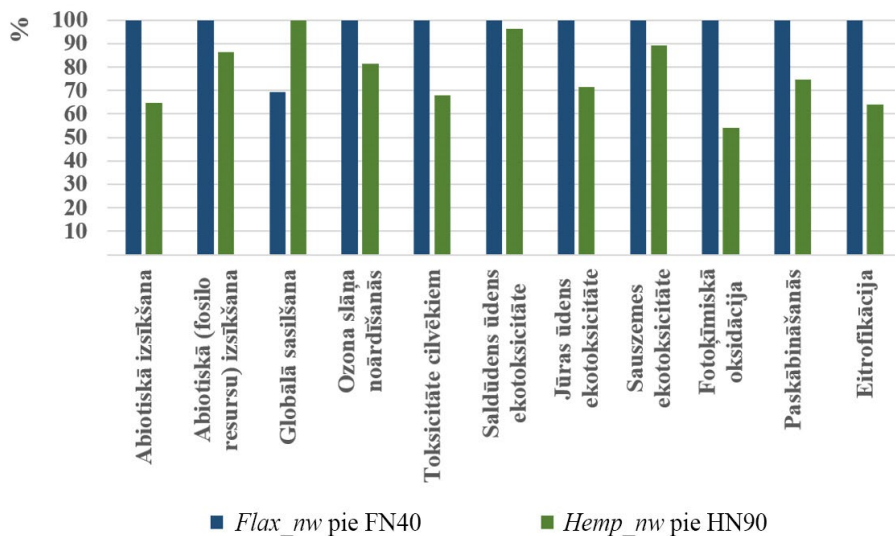
3.60. att. Polilaktīda šķiedru izgatavošanas un transportēšanas ietekme uz vidi.

Neausto materiālu izgatavošanas ietekme uz vidi

Aplūkojot NM izgatavošanas procesu uz 1 tonnu izmantoto izejvielu (3.61. att.), globālās sasilšanas potenciāls ir vienīgā ietekmes kategorija, kurā *Flax_nw* FN40 ir mazāka ietekme (1,1 kg CO₂ eq un par 43 % mazāk) nekā *Hemp_nw*. Pārējo apskatīto vides kategoriju ietekme no kaņepāju šķiedras saturoša materiāla ražošanas ir mazāka nekā *Flax_nw*.

Uz fotoķīmisko oksiditāti *Hemp_nw* HN90 atstāj vislielākās ietekmes starpību, salīdzinot ar *Flax_nw* FN40 kompozīciju – 1,20E-03 kg C₂H₄ eq un ir par 84 % mazāka. Vēl liela ietekmes starpība ir uz abiotisko izsīšanu – 7,15E-06 kg Sb eq un par 54 % mazāk, uz eitrofikāciju – 5,30E-02 kg PO₄ eq un par 56 % mazāk, uz toksicitāti cilvēkiem – 0,68 kg 1,4-DB eq un par 46 % mazāk, uz jūras ūdens ekotoksicitāti – 1,44E3 un par 40 % mazāk. Augstāka ietekme un mazāka atšķirība starp neaustajiem materiāliem sastopamas pie paskābināšanās, ozona slāņa noārdīšanās, abiotiskās (fosilo resursu) izsīšanas, sauszemes ekotoksicitātes un saldūdens ekotoksicitātes.

Hemp_nw HN90 ražošanas procesā uz vides kategorijām lielāko ietekmi atstāj ar PLA šķiedru saražošanu saistītie procesi, kas lielāku ietekmi atstāj uz saldūdens ūdens ekotoksicitāti (97 %), sauszemes ekotoksicitāti (93 %), jūras ūdens ekotoksicitāti (87 %) un globālās sasilšanas potenciālu (88 %). Vēl viens no lielākajiem ietekmes radītājiem ir ar kaņepāju šķiedru audzēšanu (un saražošanu) saistītie procesi, sevišķi pie eitrofikācijas (92 %), paskābināšanās (92 %) un fotoķīmiskās noārdīšanās (48 %). Kaņepju ražošana dod pozitīvu ieguvumu globālās sasilšanas potenciālā, jo dod tam 43 % negatīvu ietekmi attiecībā pret pārējām ietekmes komponentēm. Pie trešā lielākā ietekmju radītāja var minēt kravas transportu (ar kravnesību 16–32 m · t) kaņepāju ražas, kaņepāju šķiedras un PLA šķiedru transportēšanas, kas attiecīgi savu lielāko ietekmi atstāj pie ozona slāņa noārdīšanās (21 %). Ceturtais lielākais ietekmes avots rodas no jūras transporta, tomēr tā ietekme nevienā no vides kategorijām nepārsniedz kravas transporta radītās emisijas.

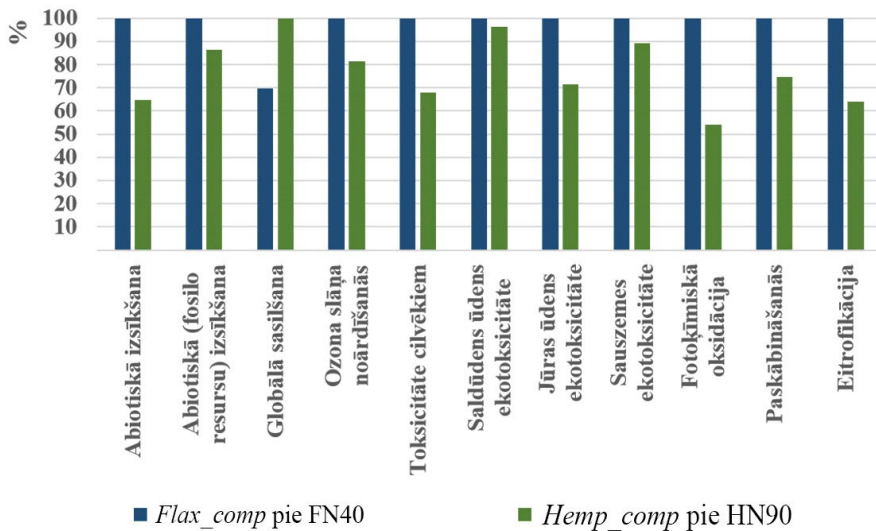


3.61. att. *Hemp_nw* pie HN90 un *Flax_nw* pie FN40 neausto materiālu izgatavošanas ietekme uz vidi.

Flax_nw FN40 ražošanas procesā, PLA šķiedru saražošanas ietekme, lai arī ir proporcionāli augsta, tomēr tās attiecībā pret pārējām materiālu veidojošajām komponentēm, ir nedaudz zemākas nekā *Hemp_nw* HN40.

Kompozītu izgatavošanas ietekme uz vidi

Ietekmes uz vidi no kompozīta ražošanas viedokļa aplūkotas, ražojot 1 tonnu NM. Emisijas abu materiālu kompozīciju ietvaros liniem ir par 11–12 % lielākas par emisijām, ko novēro NM. Salīdzinot abu kompozītu *Hemp_comp* HN90 un *Flax_comp* FN40 ietekmi uz vidi CML aplūkotajās vides kategorijās (3.62. att.) tas ir proporcionāls tam, kādas novēro pie šo abu kompozīciju NM ražošanas. Analoģiski NM izgatavošanas procesam, *Hemp_comp* HN0 ietekme uz vidi no ražošanas procesa ir mazāka nekā *Flax_comp* FN0, izņēmums ir ietekme uz GSP. Abu kompozītu ražošanas procesi veido ietekmi, kas rodas no NM ražošanas procesa (galvenokārt visa ietekme) un kompozīta izgatavošanai izmantotais elektroenerģijas patēriņš (veido mazāk nekā 1 % *Hemp_comp* HN90 un nedaudz virs 1 % *Flax_comp* FN40 gadījumā).



3.62. att. *Hemp_comp* HN90 un *Flax_comp* FN40 kompozītu izgatavošanas tehnoloģijas ietekme uz vidi.

Abi alternatīvie kompozīti un tirgū jau esošais kompozīts salīdzināti pēc divām funkcionālajām vienībām (3.63. att.). Kā pirmā funkcionālā vienība apskatīta kompozīta izturība 4,1 kN (4,5 mm biežums *PA66/GF*). Lai sasniegtu izvēlētais izturības sliekšni, katra kompozīta izgatavošanai ir nepieciešams atšķirīgs izejvielu daudzums, kas var variēt diezgan plašā amplitūdā. Atšķirība starp mazāko un lielāko nepieciešamo šķiedru apjomu ir 61 %. Tieši izmantotās masas daudzuma starpībai ir vislielākā ietekme uz vides kategorijām. Pie *GSP* izteikti vismazāko ietekmi novēro *Flax_comp* 4,1 kN (1,8 mm) (0,7 kg CO₂ eq) kompozītam, kas ir 2,4 reizes mazāk nekā *Hemp_comp* 4,1 kN (3,0 mm) kompozītam, bet vislielāko ietekmi rada *PA66/GF* kompozīts ar 13,7 kg CO₂ eq (kas ir par gandrīz 20 reizi vairāk nekā novērotās mazākās ietekmes *Flax_comp*). Pētot abiotisko izsīkšanu, visiem trim kompozītiem novēro līdzīgu ietekmi un tā variē amplitūdā no 7,08E-06–78E-06 kg Sb eq.

Savukārt *Hemp_comp* 4,1 kN (3,0 mm) kompozītam zemākā ietekme 1,30E-03 kg C₂H₄ eq novērota pie fotoķīmiskās noārdīšanās. Šī paša kompozīta zemāko ietekmi novēro arī pie eitrofikācijas 5,70E-02 kg PO₄ eq, ozona slāņa noārdīšanās 2,67E-07 kg CFC-11 eq, paskābināšanās 0,21 kg SO₂ eq, sauszemes ekotoksicitātes 1,30E-02 kg 1,4-DB eq un saldūdens ekotoksicitātes 0,17 kg 1,4-DB eq.

Flax_comp 4,1 kN (1,8 mm) kompozītam zemākās ietekmes uz vidi ir pie ozona slāņa noārdīšanās 1,93 kg CFC-11 eq, toksicitātes cilvēkiem 0,64 kg 1,4-DB eq, saldūdens ekotoksicitātes 0,10 kg 1,4-DB eq un jūras ūdens ekotoksicitātes 1,31+E03 kg 1,4-DB eq.

PA66/GF kompozītam izteikti zemākā ietekme ir pie eitrofikācijas 8,20E-03 kg PO₄ eq, pie paskābināšanās ar 5,20E-02 kg SO₂ eq. Vēl, abu pārējo augu šķiedru saturošos kompozītus salīdzinot, zemākā ietekme uz vidi ir pie sauszemes ekotoksicitātes 5,00E-03 kg 1,4-DB eq. *PA66/GF* kompozīta lielākā ietekme redzama pie fotoķīmiskās oksidācijas, kas ir 2,50E-03 kg C₂H₄ eq, cilvēku toksicitātes 0,86 kg 1,4-DB eq un jūras ūdens ekotoksicitātes 2,00+E03 kg 1,4-DB eq.

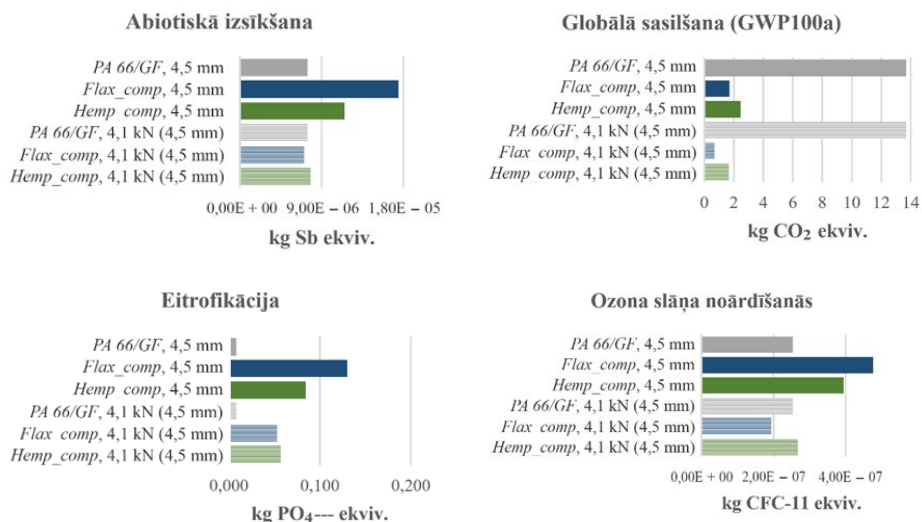
Pie otrās funkcionālās vienības, kur visu trīs kompozītu biezums ir 4,5 mm un to izgatavošanai nepieciešamo izejvielu masas apjoms izlīdzinās, atšķirība starp nepieciešamo mazāko un lielāko izejvielas masas daudzumu ir 4,7 %.

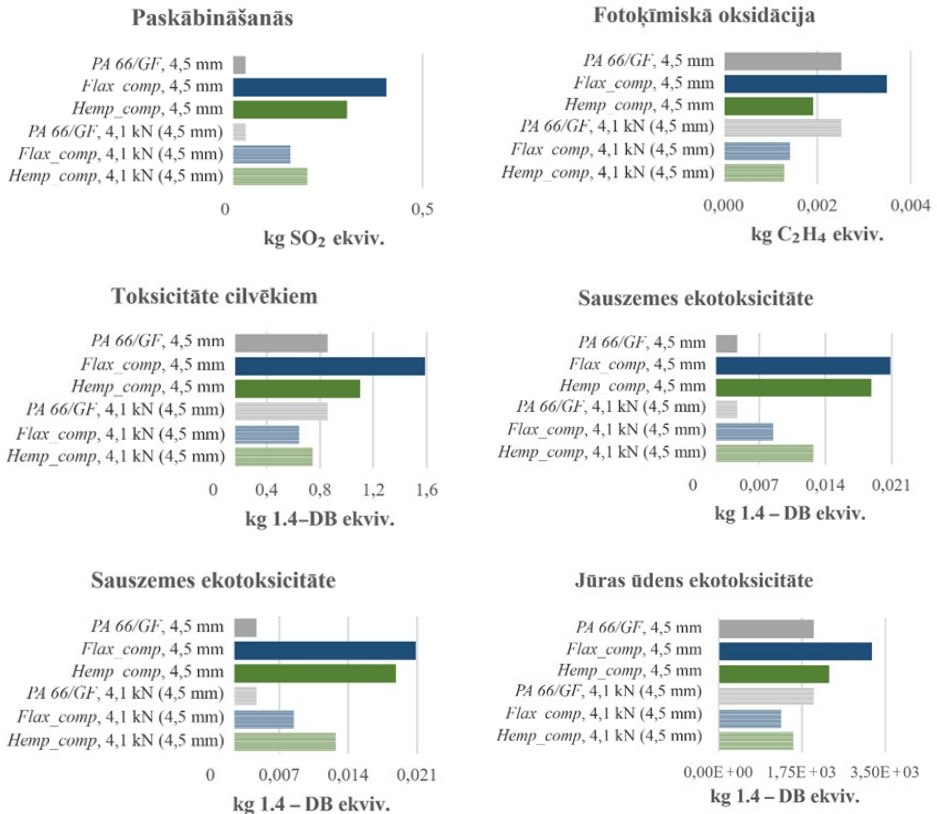
Līdzīgi kā pie pirmās funkcionālās vērtības, arī gadījumā, ja ir vienāds kompozīta biezums, zemākā ietekme uz vidi ir *Flax_comp* kompozīcijai (1,70 kg CO₂ eq). Turpretī šī paša biezuma *Hemp_comp* kompozīcijas ietekme ir 1,45 reizes lielāka, bet *PA66/GF* kompozīta ietekme pat 8 reizes lielāka. *GSP* gadījumā zemāko ietekmi rada *Flax_comp* (4,5 mm) ar 1,7 kg CO₂ eq. *Hemp_comp* (4,5 mm) kompozītam tā ir par 45 % lielāka, bet *PA66/GF* kompozītam par 8 reizēm lielāka.

Hemp_comp (4,5 mm) kompozītam zemākā ietekme uz vidi 1,90E-03 kg C₂H₄ eq ir pie fotoķīmiskās oksidēšanās.

Flax_comp zemākā ietekme ir pie *GSP*, bet pārējās apskatītajās vides kategorijās (starp trim apskatītajām kompozītu variācijām) tās ir visaugstākās. Izteikti augstākas ietekmes (ietekmju atšķirība ar tuvākās vērtības kompozītu ir 35 % robežās) ir sastopamas pie abiotiskās izsīkšanas – 1,74E-05 kg Sb ekviv., eitrofikācijas – 0,13 kg PO₄ ekviv., paskābināšanās – 0,41 kg SO₂ ekviv., fotoķīmiskās oksidēšanās – 3,50E-03 kg C₂H₄ ekviv., toksicitātes cilvēkiem – 1,59 kg 1,4-DB ekviv. un jūras ūdens ekotoksicitātes – 3,22E+03 kg 1,4-DB ekviv.

Izņemot *GSP* un fotoķīmisko oksidāciju, pārējos apskatītajos vides ietekmes veidos, *PA66/GF* kompozītam ir zemākās ietekmes. Ievērojami zemākās ietekmes (par 77–94 % zemākas nekā apskatītajās vides kategorijās augstākajām ietekmēm) pie eitrofikācijas 8,00E-03 kg PO₄ ekviv., paskābināšanās 0,05 kg SO₂ ekviv. un sauszemes ekotoksicitātes 5,00E-03 kg 1,4-DB ekviv. *PA66/GF* kompozītam zemas ietekmes (par 38–58 % zemākas nekā apskatītajās vides kategorijās augstākajām ietekmēm) saglabājot pie abiotiskās izsīkšanas 7,41E-06 kg Sb ekviv., ozona slāņa noārdīšanās 2,54E-07 kg CFC-11 ekviv., toksicitāte cilvēkiem 0,86 kg 1,4-DB ekviv., saldūdens ekotoksicitātes 0,13 kg 1,4-DB ekviv. un jūras ūdens ekotoksicitātes 2,00E+03 kg 1,4-DB ekviv.





3.63. att. *Hemp_comp* HN90, *Flax_comp* FN40 un *PA 66/GF* kompozītu ietekme uz vidi pie abām funkcionālajām vienībām. Metode: CML-IA Baseline V3.04 / EU25 /

Visiem trim salīdzinātajiem kompozītiem atsevišķi pēc GSP 100 faktora analizēts CO₂ izdalītais daudzums, kas viszemākais ir *Flax_comp* ar 1,19 kg CO₂ ekv. uz 1 kg kompozīta (2,8 kg CO₂ ekv. uz 1 kg kompozīta, ja izmantotās šķiedras būtu no FN0 mēslošanas scenārija). Salīdzinājumam *Hemp_comp* kompozītam 1,7 kg CO₂ ekv. uz 1 kg (1,72 kg CO₂ ekv. uz 1 kg kompozīta, ja izmantotās šķiedras būtu no HN0 mēslošanas scenārija) kompozīta. Vislielāko izdalīto CO₂ emisiju apjomu demonstrē *PA66/GF* kompozīts ar 9,14 kg CO₂ ekv. uz 1 kg *PA66/GF* kompozīta, tas ir par 87 % vairāk nekā *Flax_comp* un par 81 % vairāk nekā *Hemp_comp*.

Secinājumi

Gan kaņepju, gan linu zaļās masas ražas pieaugums no laukuma vienības apliecina N mēslojuma lietderību. Ir izvērtējams ražas ekonomiskais ieguvums pret no mēslojuma un lauka operācijām radušo emisiju ietekmi uz vidi.

Promocijas darbā izstrādāto *Hemp_comp* un *Flax_comp*, un tirgū esošā *PA66/GF* kompozītu gadījumā, lielākas ietekmes uz vidi novērojamas pirmās funkcionālās vienības (kompozītu biezums 4,5 mm) apskatītajām kompozītu variācijām. Tā kā otrās funkcionālās vienības kompozītiem, tikai *PA66/GF* variācijas kompozīta biezums ir 4,5 mm, pārējiem abiem

kompozītiem tas ir mazāks, tad arī izmantojamais šķiedru apjoms un ar to iegūšanu saistīto emisiju ietekme uz vidi ir mazāka. Ir izvērtējama *Hemp_comp* biezuma 3,0 mm nodrošinātā formas noturība pret salīdzinoši plānākā 1,8 mm *Flax_comp* mazākajām ietekmēm uz vides dažādajām kategorijām (piemēram, globālo sasilšanu, ozona slāņa noārdīšanās, paskābināšanās, toksicitāti cilvēkiem, sauszemes, saldūdens ūdens un jūras ūdens ekotoksicitāti).

Trešās nodaļas kopsavilkums

Kaņepāji-PLA un Linu-PLA materiāli iegūti tuvu attiecīgās kompozīcijas augu šķiedras krāsai. NM ir gaišāki, jo materiāla ārmaļās ir PLA šķiedru kārtā. Kompozīti ir tumšāki, jo termiskās presēšanas ietekmē PLA šķiedras ir izkusušas un kļuvušas caurspīdīgas.

Abu šķiedru maisījumu variāciju NM un kompozītiem virsmas blīvums ir mazāks nekā tradicionāli pieņemtajai bagāžas plaukta dekoratīvajai un slodzi nesošajām kārtām kopā (~1250 g/m²). Salīdzinājumam, *Hemp_nw* kompozīcijas materiāliem virsmas blīvums ir par 30 % mazāks nekā tradicionāli pieņemtajam bagāžas plauktam, jeb NM tas ir 883 g/m², (kompozītam tas ir 884 g/m²). *Flax_nw* kompozīcijas materiālam virsmas blīvums ir par 5 % mazāks jeb NM (1187 g/m²), un par 8 % mazāks kompozītam (1148 g/m²).

63–1000 Hz ir frekvences izolācijas apgabals, kas vislabāk raksturo izstrādātā *Hemp_nw* akustisko pretestību, pilnībā ietverot arī automašīnā dominējošo trokšņu frekvenču amplitūdu, kas ir 1000 Hz un dzinēja trokšņus, kas ir frekvenču amplitūdā zem 500 Hz.

Salīdzinājumam ar tirgū esošā bagāžas plauktu, kas izgatavots no poliamīda 66 un 30 mas. % stikla šķiedras, konstatēto robežspriegumu, *Hemp_comp* tas ir ~1,5 reizes augstāks (27,1 MPa), bet *Flax_comp* par ~2,5 reizēm augstāks (45,2 MPa). *Flax_comp* uzrāda augstākus rezultātus arī 3 punktu lieces izturībā, kur vidējā lieces robežstiprība ir 1,0 MPa un tā par 1,9 reizēm ir augstāka nekā *Flax_comp* (0,5 MPa).

Abu kompozīciju gadījumā lētāka materiālu pašizmaksa ir pie ražošanas divās maiņās, kur 1 m² *Hemp_nw* pašizmaksa (12,51 EUR/m²) ir gandrīz par 17 % lētāka nekā *Flax_nw* (14,84 EUR/m²). 1 m² *Hemp_comp* pašizmaksa (12,66 EUR/m²) ir gandrīz par 18 % lētāka nekā *Flax_comp* (15,18 EUR/m²).

N mēslojuma lietošana demonstrē gan kaņepju, gan linu zaļās masas ražas pieaugumu no laukuma vienības. Linu maksimālā mēslojuma scenārija gadījumā ievērojami samazinās kopējais emisijas apjoms uz linu ražas vienību. Piemēram, lielāko ietekmi izraisošās dīzeļdegvielas emisijas samazinās līdz 11 %, savukārt lauksaimniecības tehnikas izmantošanas emisijas – līdz nepilniem 2 %.

Starp abām apskatītajām funkcionālajām vienībām, mazākas ietekmes uz vidi novērojamas kompozītu variācijām pie pirmās funkcionālās vienības. Šajā gadījumā kompozīta biezums ir atkarīgs no stiepes izturības robežsprieguma 4,1 kN. Gan *Hemp_comp*, gan *Flax_comp* tirgū esošā pārseguma panelim pārbaudīto robežspriegumu sasniedz pie ievērojami mazāka materiāla biezuma kā 4,5 mm.

Secinājumi

Promocijas darbā izstrādātas augu un biodegradējama polimēra šķiedru kompozīcijas, dabai draudzīgi daudzslāņu struktūras NM ar labām akustiskajām īpašībām. NM izgatavošanai izmantota īpaša tehnoloģija šķiedru klājumu kārtu veidošanai, lai no tiem izgatavotu vieglus un pietiekami izturīgus kompozītus, kas izmantojami automobiļu rūpniecībā. Patreizējās ES regulas prasa autoindustrijā ieviest pilnīgi reciklējamus un dabai draudzīgus materiālus. Uzdevumu risināšanai ir izvēlētas Latvijas apstākļos audzēšanai piemērotas kaņepāju un linu šķiedras, kā arī biopolimēra polilaktīda šķiedras.

Plānojot, izgatavojot, pētot, analizējot neaustos materiālus un no tiem izgatavotos kompozītus, kas salīdzināti ar tirgū esošu kompozītu, ir formulēti **secinājumi**.

- NM stiepes izturību un materiāla pagarinājumu ietekmē šķiedru sasaistes ciešums materiāla struktūrā. Jo šķiedras materiāla struktūrā sacauradatos ciešāk, jo stiepes izturība augstāka un materiāla pagarinājums mazāks. To apliecina NM stiepes izturības rezultāti, kuros *Hemp_nw* NM pēc biezuma ir plānāki un vieglāki nekā *Flax_nw* NM, pirmās kompozīcijas izturība ir augstāka ($\sigma_{\max \text{ vid}} = 0,06 \text{ MPa}$), materiāla pagarinājums ir mazāks ($\epsilon_{\text{vid } F_{\max}} = \sim 36 \%$).
- Pie vienāda NM biezuma un atšķirīga virsmas blīvuma augstāks skaņas absorbcijas koeficients jeb augstāka skaņas absorbcijas spēja būs materiālam ar augstāku virsmas blīvuma vērtību. Promocijas darbā izstrādātā *Hemp_nw* NM absorbcijas E klase ir atbilstoša paklājiem. Sasniegtās augstākās – D un C – klases ir atbilstošas lielākajai daļai ģipškartona iekšsienu sistēmām (kas ir pietiekams vairumam plaša lietojuma telpu). D klase ir atbilstoša telpas augstuma starpsienu sistēmām ar absorbcijas elementiem.
- Kompozītiem stiepes izturību ietekmē materiāla biezums. Jo kompozīta izgatavošanā izmantots biežāks neaustais materiāls, jo rezultātā iegūtajam kompozītam ir augstāka stiepes izturība. To apliecina kompozītu stiepes izturības rezultāti, kuros *Flax_comp* kompozīti pēc biezuma ir biežāki, to stiepes izturība ir lielāka ($\sigma_{\max \text{ vid}} = 45,2 \text{ MPa}$).
- Augu un polimēra šķiedru maisījuma termopresēšanas apstrādē ir jārod kompromiss tehnoloģisko iestatījumu izvēlē, lai augu šķiedras neapdegtu un polimēra šķiedras izkustu, saskaņā ar literatūrā [66, 99] minēto un pārbaudīto par piemērotāko darba temperatūru pieņemti 165 °C.
- Pie dažādiem kompozītu biezumiem – 1,3–1,6 mm (*Hemp_comp*) un 1,7–1,9 mm (*Flax_comp*), *Hemp_comp* kompozīta stiepes izturība ir aptuveni 1,48 reizes lielāka nekā tirgū esošajam un eksperimentāli pārbaudītajam bagāžas panelim (4,5 mm *PA66/GF*), savukārt materiāla stiepes deformācijas pagarinājums ir gandrīz vienāds – 2,45 %. *Flax_comp* kompozīta stiepes izturība ir 2,48 reizes lielāka, savukārt stiepes deformācija ir ~ 1,5 reizes lielāka nekā pārbaudītajam bagāžas paneļa materiālam. Iegūto mehānisko īpašību rezultāti apliecina, ka augu šķiedras proporcijas 40 mas. % izmantošanai kompozītu izgatavošanā ir priekšrocība, salīdzinot ar no neatjaunīgajiem naftas izcelsmes produktiem izgatavotajiem kompozītiem.

- Gan neausto materiālu, gan kompozīta viena laukuma vienības izgatavošanas pašizmaksa ir zemāka, organizējot ražošanu divās maiņās, salīdzinot ar ražošanu vienā maiņā.
- Raugoties no vides ilgtspējas viedokļa, abu šķiedru maisījumu kompozīciju izveide un to izmantošana kompozītu izgatavošanā (tai skaitā automašīnas salona detaļu izgatavošanā) ir lietderīga oglekļa pēdas nospieduma samazināšanai.

Promocijas darba rezultāti ļauj apstiprināt aizstāvēšanai izvirzītās **tēzes**.

1. Pētījumā no atjaunīgajiem resursiem ir izveidoti šķiedru maisījumi – kaņepāju un PLA šķiedru maisījums un linu un PLA šķiedru maisījums. No šķiedru maisījumiem izveidotā daudzslāņu materiāla struktūra ļauj izgatavot divus pēc konsistences un lietojuma mērķa atšķirīgus materiālus – vispirms ar mehānisko adatu cauradatošanas metodi izgatavot neaustus akustiskos materiālus, pēc tam uz to bāzes ar termiskās presēšanas metodi izgatavot kompozītus.
2. Lignocelulozes komponentes masas proporcija 40 mas. % izstrādātajos abu kompozīciju (kaņepāji-PLA un lini-PLA) šķiedru maisījumos ir pietiekama, lai no tā izgatavotus NM un kompozītus varētu integrēt vieglās automašīnas interjera uzbūvē. *Hemp_nw* NM augstākie impedances rezultāti, kas sasniegti frekvences amplitūdā 63–1000 Hz, un materiāla labāka veiktspēja izolēt skaņu frekvenču amplitūdā 1250–5000 Hz, apliecina materiāla pozitīvās akustiskās īpašības. Savukārt abu kompozītu konkurētspēju apliecina stiepes izturība, kas *Hemp_comp* kompozītam (biezums 1,3–1,6 mm) ir 1,48 reizes lielāka un *Flax_comp* kompozītam (biezums 1,7–1,9 mm) 2,48 reizes lielāka nekā tirgū esošam paraugam.
3. Abu šķiedru maisījumu kompozīciju izveidei un to izmantošanai kompozītu izgatavošanā ir priekšrocība oglekļa pēdas nospieduma samazināšanai, salīdzinot ar tradicionāli līdz šim izmantotajiem no neatjaunīgajiem naftas izcelsmes produktiem izgatavotajiem kompozītiem. Piemēram, vienāda izmēra (pēc laukuma un biezuma) paneļa izgatavošanai *Flax_comp* kompozīts rada 1,2 kg CO₂ lielu oglekļa pēdu uz 1 kg kompozīta un ir par 87 % mazāka nekā 1 kg *PA66/GF* kompozītam. Savukārt *Hemp_comp* kompozīta radītā CO₂ pēda ir par 81 % mazāka nekā 1 kg *PA66/GF* kompozītam.

Priekšlikumi un ierosinājumi turpmākajiem pētījumiem

- Stiepes testa rezultāti liecina par abu izstrādāto kompozītu (*Hemp_comp* un *Flax_comp*) atbilstību izmantošanai automašīnas salonā, tomēr pastāv bažas, ka plāksņveida formas detaļas var izliekties. Bagāžas plaukta vai cita plāksņveida izstrādājuma formas noturības pastiprināšanai iespējams projektēšanas gaitā paredzēt stiprinājuma ribas. Stiprinājuma ribas izgatavojamas no tā paša vai citiem materiāliem. Tādejādi, pat nedaudz palielinoties masai, izstrādājums joprojām būtu daudz vieglāks par esošajiem plastmasas analogiem, bet to mehāniskā izturība neapšaubāmi pieaugtu.
- *Hemp_nw* akustikas īpašības vidējā frekvenču amplitūdā ir iespējams uzlabot, laminējot materiāla ārējās virsmas, piemēram, ar gatavajiem uzņēmuma *Tex Tech* polimēra pārklājumiem [165] (paredzēti konkrētu īpašību uzlabošanai, tai skaitā trokšņa slāpēšanai), un kombinējot materiālu vairākās kārtās.
- PLA šķiedru saražošana ir energoietilpīga, tāpēc *Flax_comp* un *Hemp_comp* maisījumu kompozītu potenciāls samazināt CO₂ pēdas var pieaugt, vai nu padarot videi draudzīgāku PLA šķiedru ieguves procesu, vai arī PLA šķiedras aizvietojojot ar mazāk energoietilpīgām biopolimēru šķiedrām.
- *Hemp_nw*, *Flax_nw*, *Hemp_comp* un *Flax_comp* var integrēt ne tikai automašīnas salona detaļu uzbūvē, bet arī ēkas interjera apdares materiālos, piemēram, griestu plāksnēs, sienu paneļos, nodalošajās starpsienās. Saliekot kompozītus vairākās kārtas, palielinās materiāla biezums un ar noteiktu regularitāti veidoti līdz galam necaurejoši urbumi uzlabo materiāla skaņas absorbcijas spēju un var veidot arī virsmas dizainu.
- Covid-19 pandēmijas ierobežojumi cilvēku savstarpējā saskarsmē ir izcēlušī tādas problēmas kā vajadzību nodalīt vienu darba vietu no citas atvērtā plānojuma birojos. Ar šādu problēmu ir sastapušies arī iedzīvotāji, kuri savu darba vietu no biroja bija spiesti pārcelt uz mājokli ar ierobežotu platību (tai skaitā attālinātas mācības veikušie skolēni, studenti). Abos gadījumos darba vietu nodalīšanu no apkārtējās vides var risināt ar vieglām starpsienu konstrukcijām. Biroja gadījumā šo starpsienu galvenais uzdevums ir distancēt cilvēkus, mājāsaimniecībās – strādājošajam novērst apkārtējos skaņas kairinājumus.
- *Hemp_comp* un *Flax_comp*, integrējot gan automašīnas salona detaļās, gan ēkas interjera apdares materiālos, nepieciešams aplūkot iespēju PLA polimēra šķiedrām pievienot pigmentus. Pievienojot PLA polimēram pigmentu, termo presēšanas procesā būtu iespējams iegūt kompozītus dažādās krāsās.

Literatūras saraksts

1. *Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles* (2000) [online]. European Parliament and Council, Official Journal, vol. 269, pp. 1–34, Oct. 2000 [accessed 25 June 2022]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV-EN/TXT/?uri=CELEX:02000L0053-20200306>.
2. *Directive (EU) 2018/849 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directives 2000/53/EC on end-of-life vehicles, 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators, and 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment* (2018) [online]. European Parliament and Council of the European Union, Official Journal of the European Union, no. L 150. Official Journal of the European Union, Brussels, p. 93, Jun. 14, 2018 [accessed 3 July 2022]. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/849/oj>.
3. *Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste (Text with EEA relevance)* (2018) [online]. European Parliament and Council, Official Journal of the European Union, no. L 150/100, Jul. 2018 [accessed 3 July 2022]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0850>.
4. *Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste* (2018) [online]. European Parliament and Council of the European Union, Official Journal of the European Union, no. L 150, Brussels, p. 109, Jun. 14, 2018 [accessed 3 July 2022]. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>.
5. *Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013* (2018) [online]. European Parliament and Council, *Official Journal of the European Union*, vol. 156, pp. 1–26, Jun. 2018 [accessed 25 June 2022]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV-EN/TXT/?from=LV&uri=CELEX%3A32018R0842>.
6. Chen, J. Y. 10 - Nonwoven textiles in automotive interiors. **In:** Chapman, R. A. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010, pp. 184–201. ISBN 978-1-84569-437-1. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845699741.2.184>.
7. Fung, W. and Hardcastle, M. 6 - Product engineering – interior trim. **In:** Fung, W. and Hardcastle, M. *Textiles in Automotive Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, pp. 194–226. ISBN 1 85573 493 1. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781855738973.194>.
8. Russell, S. J. and Tipper, M. J. 4 - Nonwovens used in automobiles. **In:** Shishoo, R. *Textile Advances in the Automotive Industry*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008, pp. 63–85. ISBN 978-1845693312. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845695040.1.63>.
9. Fung, W. 18 - Textiles in transportation. **In:** Horrocks, A. R. and Anand, S. C. *Handbook of Technical Textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000, pp. 490–528. ISBN 1 85573 3854. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781855738966.490>.
10. Fung, W. and Hardcastle, M. 9 - Textiles in other forms of transportation. **In:** Fung, W. and Hardcastle, M. *Textiles in Automotive Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, pp. 281–323. ISBN 1 85573 493 1. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781855738973.281>.
11. Fung, W. and Hardcastle, M. 7 - Other textile applications. **In:** Fung, W. and Hardcastle, M. *Textiles in Automotive Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, pp. 227–253. ISBN 1 85573 493 1. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781855738973.227>.
12. Söderbaum, E. 1 - Requirements for automotive textiles – a carproducer’s view. **In:** Shishoo, R. *Textile Advances in the Automotive Industry*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008, pp. 3–16. ISBN 978-1845693312. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845695040.1.3>.
13. *ISO 14001:2015 — Environmental management systems — Requirements with guidance for use* [online]. International Organization for Standardization [accessed 19 June 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/60857.html>.

14. ISO 6452:2021 — Rubber - or plastics-coated fabrics — Determination of fogging characteristics of trim materials in the interior of automobiles [online]. International Organization for Standardization [accessed 19 June 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/77554.html>.
15. ISO 105-B02:2013 - Textiles — Tests for colour fastness — Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test [online]. International Organization for Standardization [accessed 3 July 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/41372.html>.
16. ISO 105-B06:2020 Textiles — Tests for colour fastness — Part B06: Colour fastness and ageing to artificial light at high temperatures: Xenon arc fading lamp test [online]. International Organization for Standardization [accessed 3 July 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/74871.html>.
17. ISO 12947-2:2016 Textiles — Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method — Part 2: Determination of specimen breakdown [online]. International Organization for Standardization [accessed 3 July 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/61058.html>.
18. ISO 5470-1:2016 Rubber- or plastics-coated fabrics — Determination of abrasion resistance — Part 1: Taber abrader [online]. International Organization for Standardization [accessed 3 July 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/68002.html>.
19. Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 302; Flammability of interior materials. U.S. Regulations. Sep. 24, 1998.
20. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance) (2009) [online]. The European Parliament and the Council of the European Union, Official Journal of the European Union, no. L 140/16, Jun. 2009 [accessed 12 June 2022]. Available from: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>.
21. Stewart, R. Lightweighting the automotive market. *Reinforced Plastics*, vol. 53, no. 2, pp. 14–21, 2009, doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(09\)70078-5](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(09)70078-5).
22. Chen, J. Y. Reducing noise in automotive interiors. In: Shishoo, R. *Textile advances in the automotive industry*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008, pp. 198–228. ISBN 978-1845693312.
23. Lauku atbalsta dienests. *LIZ 2020. gada apsekošanas rezultāti (tabula)* [tiešsaiste]. Rīga: Lauku atbalsta dienests [skatīts 2021. g. 3. sept.]. Pieejams: https://www.lad.gov.lv/files/statistika_zva_2020.pdf.
24. Lotuscars.com. *Eco Elis* [online]. Lotuscars.com, 2009 [accessed 2 July 2019]. Available from: <https://www.lotuscars.com/engineering/eco-elise>.
25. Michael, A. *Bio-composites for cars* [online]. *www.youris.com*, Nov. 15, 2008. [accessed 7 May 2021]. Available from: <https://www.youris.com/bioeconomy/biotechnology/bio-composites-for-cars.kl>.
26. Ministry of Hemp. *Top 6 Hemp Growing Countries: USA Now Ranks Number 3!* [online]. *ministryofhemp.com*, Apr. 22, 2019 [accessed 3 October 2020]. Available from: <https://ministryofhemp.com/blog/hemp-growing-countries/>.
27. Trenda, E. *Agricultural land devoted to the culture of hemp in Europe in 2019, by country* [online]. *www.statista.com*, Jul. 05, 2021 [accessed 3 September 2021]. Available from: <https://www.statista.com/statistics/1204146/area-for-hemp-cultivation-by-country-europe/>.
28. Raymunt, M. *France, Italy, Netherlands lead Europe for hemp land use, industry group says* [online]. *hempindustrydaily.com*, Apr. 08, 2020 [accessed 3 October 2020]. Available from: <https://hempindustrydaily.com/france-italy-netherlands-lead-europe-for-hemp-land-use-industry-group-says/>.
29. The European Confederation of Flax and Hemp. *Barometer of European Flax 2015* [online]. *Europeanflax.com*, 2015 [accessed 21 July 2017]. Available from: <http://blog.europeanflax.com/barometer-of-european-flax-2015/>.
30. Texintel.com. *European Flax Linen—Responsible Cultivation, Superior Know-How With A Sustainable And Transparent Supply Chain* [online]. *Texintel.com*, 2018. [accessed 5 October

- 2020]. Available from: <https://www.texintel.com/eco-news/european-flax-linenresponsible-cultivation-superior-know-how-and-a-sustainable-and-transparent-supply-chain>.
31. Grand view Research. *GVR Report coverIndustrial Hemp Market Size, Share & Trends Report Industrial Hemp Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Seeds, Fiber, Shivs), By Application (Animal Care, Textiles, Personal Care), By Region (North America, APAC), And Segment Forecasts, 2022 - 2030* [online]. Grand view Research, 2020 [accessed 15 January 15 2022]. Available from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-hemp-market>.
 32. Carus, M. *The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers* [online]. Duesseldorf: EIHA, Mar. 2017 [accessed 3 October 2020]. Available from: http://eiha.org/media/2017/12/17-03_European_Hemp_Industry.pdf.
 33. McIntyre, K. *Nonwovens Offer Win-Win Solutions for Car Makers. Lower costs, lighter weights give nonwovens a clear advantage in today's automotives market* [online]. *www.nonwovens-industry.com*, Apr. 12, 2012 [accessed 13 November, 2013]. Available from: https://www.nonwovens-industry.com/issues/2012-12/view_features/nonwovens-offer-win-win-solutions-for-car-makers/.
 34. van Parikh, D., Calamari, T. A. and Myatt, J. C. Performance of Nonwoven Cellulosic Composites for Automotive Interiors. *International Nonwovens Journal*. 2000, vol. os-9, no. 2, pp. 1558925000OS-900218. Available from: doi: 10.1177/1558925000OS-900218.
 35. van Parikh, D., Chen, Y. and Sun, L. Reducing Automotive Interior Noise with Natural Fiber Nonwoven Floor Covering Systems. *Textile Research Journal*. 2006, vol. 76, no. 11, pp. 813–820. Available from: doi: 10.1177/0040517506063393.
 36. Latvijas Arodslimību Ārstu biedrība and RSU Darba un vides veselības institūts. VADLĪNIJAS trokšņa radīto veselības traucējumu agrīnai identifikācijai un diagnosticēšanai [tiešsaiste]. Rīga: RSU, 2005 [skatīts 2017. g. 23. aprīlī]. Pieejams: http://stradavesels.lv/Uploads/2016/12/02/Vadlinijas_troksna_iedarbibas_agrinai_diagnostika.pdf.
 37. Bosch, R. *Bosch Automotive Handbook*, 6th ed. Lincoln: Professional Engineering Publishing, 2004. ISBN 13: 9781860584749.
 38. Braun, M. E., Walsh, S. J., Horner, J. L. and Chuter, R. Noise source characteristics in the ISO 362 vehicle pass-by noise test: Literature review. *Applied Acoustics*, 2013, vol. 74, no. 11, pp. 1241–1265. ISSN 0003-682X. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.04.005>.
 39. *Likums par piesārņojumu* [tiešsaiste]. Latvijas Republikas Saeima, Latvijas Vēstnesis, no. 29, 2001 [skatīts 2014. g. 11. jūnijā]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/6075-par-piesarnojumu>.
 40. *Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC* (2014) [online]. Official Journal of the European Union, no. 158, pp. 1–131, Apr. 2014 [accessed 11 October 2014]. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/540/oj>.
 41. Cherng, J. G. *Smart Acoustic Material for Automotive Applications. Annual Progress Report* [online]. Deaborn: *www.yumpu.com*, 2005 Accessed: Dec. 06, 2020 [accessed 6 December 2020]. Available from: <https://www.yumpu.com/en/document/read/7854956/smart-acoustic-material-for-automotive-applications-college-of->
 42. Soundproofcow.com. *Soundproofing Materials* [online]. *Soundproofcow.com*, 2020 [accessed 27 September, 2020]. Available from: <https://www.soundproofcow.com/product-category/soundproofing-materials/>.
 43. Zent, A. and Long, J. *Automotive Sound Absorbing Material Survey Results*. SAE Technical Paper, SAE 2007 Noise and Vibration Conference and Exhibition. May 2007, ISSN 0148-7191. Available from: doi: 10.4271/2007-01-2186.
 44. Tascan, M., Vaughn, E. A., Stevens, K. A. and Brown, P. Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of traditional. *The Journal of The Textile Institute*, 2011, vol. 102, pp. 746–751, Sep. 2011. Available from: doi: 10.1080/00405000.2010.515731.
 45. Shahani, F., Soltani, P. and Zarrebini, M. The Analysis of Acoustic Characteristics and Sound Absorption Coefficient of Needle Punched Nonwoven Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and*

- Fabrics*. 2014, vol. 9, no. 2, p. 155892501400900220. Available from: doi: 10.1177/155892501400900210.
46. *ASTM C384-04(2016) - Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method*, ASTM International, 2016, vol. 04.06. pp. 1–9. Available from: doi: 10.1520/C0384-04R16.
 47. *ASTM C423-22 - Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, ASTM International, 2022, vol. 04.06. pp. 1–11. Available from: doi: 10.1520/C0423-22.
 48. naturalfiber.eu. *Cleaned hemp shives* [online]. *naturalfiber.eu*, 2020 [accessed 3 October 2020]. Available from: <https://naturalfiber.eu/en/products/cleaned-hemp-shives>.
 49. Latgales reģionālā televīzija. Lauksaimnieki: Industriālo kaņepju audzēšanai ir nākotne [tiešsaiste]. Rīga: LTV Ziņu dienests, 2014. g. 24. jūlijs [skatīts 2017. g. 21. jūlijā]. Pieejams: <http://www.lsm.lv/raksts/zinas/ekonomika/lauksaimnieki-industrialo-kanepju-audzesanai-ir-nakotne.a92463/>.
 50. Latvijas industriālā kaņepju asociācija. *Industriālo kaņepju audzēšanas nozares ziņojums (prezentācija)* [tiešsaiste]. Rīga: Latvijas industriālā kaņepju asociācija, 2012 [skatīts 2014. g. 5. septembrī]. Pieejams: <http://www.laukutikls.lv/informativie-materiali/nozaru-zinojumi-2012>.
 51. Dieziņa, S. “Kaņepju bums nepāries!”. *Neraugoties uz kļūdām, kaņepju pārstrādes bizness turpina attīstīties* [tiešsaiste]. Rīga: www.la.lv, 2018 [skatīts 2019. g. 1. martā]. Pieejams: <https://www.la.lv/category/laukos>.
 52. Dieziņa, S. *Linkopībai neredz ekonomisko pamatojumu, vajadzīga kooperācija* [tiešsaiste]. Rīga: www.la.lv, 2015. g. 21. aprīlis [skatīts 2016. g. 24. jūnijā]. Pieejams: <https://www.la.lv/zilie-lini-zied-vien-acis>.
 53. Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J. and Bertucelli, S. *The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds* [online]. Biobased.eu, 2013 [accessed 21 July 2017]. Available from: http://biobased.eu/?file=0&did=203591&vp_edd_act=download&expire=MTY1NjMxOTg5NA%3D%3D.
 54. Tomsone, I. *Sprīž par linu un kaņepju tirgu* [tiešsaiste]. laukutikls.lv, 2014 [skatīts 2017. g. 21. jūlijā]. Pieejams: <http://www.laukutikls.lv/comment/31199#comment-31199>.
 55. Barth, M. and Carus, M. *Carbon Footprint and Sustainability of Different Natural Fibres for Biocomposites and Insulation Material Study providing data for the automotive and insulation industry MultiHemp* [online]. Hürth, Apr. 2015 [accessed 14 May 2019]. Available from: www.nova-institut.eu.
 56. BaFa-GmbH, “Produkta Vliesfähige Faser VF6 datu lapa. Malsch, 2014.
 57. Zommere, G., Vilumsone, A., Kalnina, D., Solizenko, R. and Stramkale, V. Comparative Analysis of Fiber Structure and Cellulose Contents in Flax and Hemp Fibres. *Materials Science. Textile and Clothing Technology*, 2013, vol. 8, pp. 96–104. Available from: doi: 10.7250/mstct.2013.016.
 58. Kozasowski, R. M., Mackiewicz-Talarczyk, M. and Allam, A. M. 5 - Bast fibres: flax. **In:** Kozłowski, R. M. *Handbook of Natural Fibres*, vol. 1. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, pp. 56–113. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.56>.
 59. Horne, M. R. L. 6 - Bast fibres: hemp cultivation and production. **In:** Kozłowski, R. M. *Handbook of Natural Fibres*, vol. 1. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, pp. 114–145. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.114>.
 60. Kozłowski, R., Baraniecki, P. and Barriga-Bedoya, J. 2 - Bast fibres (flax, hemp, jute, ramie, kenaf, abaca). **In:** Blackburn, R. S. *Biodegradable and Sustainable Fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005, pp. 36–88. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845690991.36>.
 61. Spöner, J., L., Toth, L., Cziger, S. and Franck, R. R. 4 – Hemp. **In:** Franck, R. E. *Bast and Other Plant Fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005, pp. 176–206. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845690618.176>.
 62. Salmon-Minotte, J. and Franck, R. R. 3 – Flax. **In:** Franck, R. E. *Bast and Other Plant Fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005, pp. 94–175. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845690618.94>.

63. Soliženko, Rita. *Kaņepju šķiedru īpašības un izmantošanas iespējas polimēru kompozītos*. Maģistra darbs. Rīga: [RTU], 2012. 104 lpp.
64. Marrot, L., Lefeuvre, A., Pontoire, B., Bourmaud, A. and Baley, C. Analysis of the hemp fiber mechanical properties and their scattering (Fedora 17). *Industrial Crops and Products*. 2013, vol. 51, pp. 317–327. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.026>.
65. Lilholt, H. and Lawther, J. M. 1.10 - Natural Organic Fibers. In: Kelly, A. and Zweben, C. *Comprehensive Composite Materials*. Oxford: Pergamon, 2000, pp. 303–325. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/B0-08-042993-9/00048-6>.
66. Placet, V. Characterization of the thermo-mechanical behaviour of Hemp fibres intended for the manufacturing of high performance composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2009, vol. 40, no. 8, pp. 1111–1118. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.04.031>.
67. Nebel, K. M. New processing strategies for hemp. *Journal of the International Hemp Association*, 1995, vol. 2, no. 1, pp. 1–9.
68. Strazds, G., Stramkale, V. un Laizāns, T. *Ieteikumi rūpniecisko kaņepju audzētājiem un pārstrādātājiem. Praktiska rokasgrāmata*. Rīga: SIA “Biznesa augstskola Turība,” 2012.
69. 8. pielikums Zemkopības ministrijas 12.11.2015. rīkojumam Nr. 167. *Latvijā audzējamu kultūraugu audzēšanas vadlīnijas -lini (garšķiedras lini un eļļas lini)* [tiešsaiste]. Rīga: Zemkopības ministrija, Novembris, 2015 [skatīts 2017. g. 10. februārī]. Pieejams: https://www.zm.gov.lv/public/files/CMS_Static_Page_Doc/00/00/00/66/71/ZM_rikojuma_8pielikums_lini.pdf.
70. Krišjāņa Barona Dainu skapis [tiešsaiste]. Rīga: Latviešu folkloras krātuve un Lursoft [skatīts 2017. g. 1. jūlijā]. Pieejams: <http://www.dainuskapis.lv/meklet/lini>.
71. eurolinen.lt. *Flax shieves* [online]. Vilnius: Lithuanian and French private limited company “Eurolinen”, 2017 [accessed 4 October 2021]. Available from: <http://www.eurolinen.lt/flax-shives/>.
72. Skagale, G. *Īpašs notikums: Latvijā radīti šķiedras lini ar baltiem ziediem* [tiešsaiste]. Rīga: *la.lv*, 2017 [2017. g. 27. jūlijā]. Pieejams: <https://www.la.lv/raditi-skiedras-lini-ar-baltiem-ziediem>.
73. Dissanayake, N., Summerscales, J., Grove, S. and Singh, M. Energy Use in the Production of Flax Fiber for the Reinforcement of Composites. *Journal of Natural Fibers*. 2009, vol. 6, pp. 331–346. Available from: doi: 10.1080/15440470903345784.
74. PivotAndGrow.com. *Grain Prices Over Time* [online]. *pivotandgrow.com*, 2019 [accessed 26 December 2020]. Available from: <http://www.pivotandgrow.com/resources/prices/>.
75. Fibre2fashion.com. *Flax fibre* [online]. *Fibre2fashion.com*, 2017 [accessed 21 July 2020]. Available from: http://fibre.fibre2fashion.com/flax-fibre_suppliers_p237.html (accessed Jul. 21, 2020).
76. *Lauksaimniecības kultūru sējumu platība, kopraža un vidējā ražība statistiskajos reģionos* [tiešsaiste]. Rīga: Centrālā statistikas pārvalde, 2019 [skatīts 2020. g. 3. aprīlī]. Pieejams: https://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/lauks/lauks_03Augk_ikgad/LAG020.px.
77. Aslan, M. *Characterisation of Flax Fibres and Flax Fibre Composites. Being cellulose based sources of materials*. DTU Wind Energy Report E-0005(EN). Roskilde, 2012.
78. Johnson, R. M., Mwaikambo, L. Y. and Tucker, N. Expert overviews covering the science and technology of rubber and plastics Rapra Review Reports Rapra Review Reports. *Biopolymers*, 2003, vol. 14, no. 3.
79. Ghanbarzadeh, B. and Almasi, H. Biodegradable Polymers. *Biodegradation-Life of Science*, 2013, pp. 141–186. Available from: doi: 10.5772/56230.
80. Technavio.com. *Global Biopolymers Market 2017-2021* [online]. *technavio.com*, 2017 [accessed 5 February 2017]. Available from: <https://www.technavio.com/report/global-plastics-polymers-and-elastomers-global-biopolymers-market-2017-2021>.
81. PlasticPortal.eu. Polymer prices [online]. *PlasticPortal.eu*, 2020 [accessed 27 December 2020]. Available from: <https://www.plasticportal.eu/en/en/polymer-prices/lm/14/>.
82. EcoBaltia.lv. *Otrreizējo izejvielu pārstrāde* [tiešsaiste]. Rīga: *ecobaltia.lv*, 2017 [skatīts 2017. g. 12. novembrī]. Pieejams: <http://www.ecobaltia.lv/lv/pakalpojumi/otrzeizejo-izejvielu-parstrade/>.

83. PetBaltija.lv. *Pārstrādes process* [tiešsaiste]. Jelgava: *petbaltija.lv*, 2017 [skatīts 2017. g. 12. novembrī]. Pieejams: <http://www.petbaltija.lv/lv/noderiga-informacija/parstrades-process/>
84. *Report of the Open-ended Working Group of the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal on the work of its twelfth meeting (online segment, 1-3 September 2020) I*. United Nation. Geneva, Sep. 2020.
85. Weckström, Dan. *Changes in mechanical properties of recycled polypropylene*. Degree Thesis. Helsinki: Arcada-University of Applied Sciences, 2012. pp. 64.
86. Made-in-China.com. *Recycled PP* [online]. Made-in-China.com, 2017 [accessed 17 April 2017]. Available from: https://www.made-in-china.com/products-search/hot-china-products/Recycled_PP.html.
87. *2004/34/EC of 23 March 2004 amending, for the purposes of adapting to technical progress, Annexes I and II to Directive 96/74/EC of the European Parliament and of the Council on textile names (Text with EEA relevance) (2004)* [online]. European Commission, Official Journal, vol. 089, pp. 0035–0035, Mar. 2004 [accessed 19 June 2022]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV-EN/TXT/?uri=CELEX:32004L0034>.
88. Södergård, A. and Stolt, M. Industrial Production of High Molecular Weight Poly(Lactic Acid). **In:** Auras, R., Lim, L-T., Selke, S. E. M. and Tjusi, H. *Poly(Lactic Acid)*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010, pp. 27–41. Available from: doi: <https://doi.org/10.1002/9780470649848.ch3>.
89. Vink, E. *et al.* The Sustainability of NatureWorks™ Polylactide Polymers and Ingeo™ Polylactide Fibers: an Update of the Future. *Macromolecular bioscience*, June 2004, vol. 4, pp. 551–564. Available from: doi: 10.1002/mabi.200400023.
90. Albertsson, A.-C., Varma, I. K., Lochab, B., Finne-Wistrand, A. and Kumar, K. Design and Synthesis of Different Types of Poly(Lactic Acid). **In:** Auras, R., Lim, L-T., Selke, S. E. M. and Tjusi, H. *Poly(Lactic Acid)*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2010, pp. 43–58. Available from: doi: <https://doi.org/10.1002/9780470649848.ch4>.
91. Farrington, D., Lunt, J., Davies, S. and Blackburn, R. S. 6 - Poly(lactic acid) fibers. **In:** Blackburn, R. S. *Biodegradable and Sustainable Fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005, pp. 191–220. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845690991.191>.
92. Dukalska, L., Ungure, E., Augšpole, I., Muizniece-Brasava, S., Lavkane, V., Krasnova, R. Evaluation of the Influence of Various Biodegradable Packaging Materials on the Quality and Shelf Life of Different Food Products. **In:** *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*, vol. 30. Jelgava: *Latvia University of Agriculture*, December 2013, pp. 20-34. Available from: doi: 10.2478/plua-2013-0011.
93. Alibaba.com. *PLA fiber* [online]. *Alibaba.com*, 2018 [accessed 8 Augusts 2018]. Available from: <https://www.alibaba.com/showroom/pla-fiber.html>.
94. Ashby, M. F. and Johnson, K. *The Art and Science of Material Selection in Product Design*, 1st Edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2002, 352 p. ISBN 978-0080982052.
95. Crompton, T. R. *Physical Testing of Plastic*. Shawbury: Smithers Rapra Technology, 2012, 404 p. ISBN 978-1847354853.
96. Mohanty, A. K., Misra, M. and Drzal, L. T. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. **In:** Mohanty, A. K., Misra, M. and Drzal, L. T. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. 1st Edition. Abingdon: Taylor & Francis, 2005, pp. 15–50. Available from: doi: 10.1201/9780203508206.
97. Demirel, B., Yaraş, A. and Elçiçek, H. Crystallization Behavior of PET Materials. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt.* 13 (1), 2011. pp. 26-35. Available from: https://www.researchgate.net/publication/290429725_Crystallization_Behavior_of_PET_Materials.
98. Tripathi, D. *Practical Guide to Polypropylene*. Shawbury: Smithers Rapra Press, 2002, 104 p.
99. Ramaswamy, S. (Institut für Textiltechnik of ITA RWCH Aachen University, Aachen, North Rhine-Westphalia, Germany). Personal communication, 2013.
100. Hargitai, H., Rácz, I., Anandjiwala, R. D. Development of HEMP fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, pp. 165-174, 21(2), 2008.

101. BaFa Neu GmbH. Hanf-Industrieprodukte [online]. *bafa-gmbh.de*, 2014 [accessed 26 June 2022]. Available from: <https://bafa-gmbh.de/Produkte-Industrieprodukte.asp>.
102. Sheikh, H. R. Modernisation option for conventional Blow Rooms. *Pakistan Textile Journal*, no. 9, 2003.
103. AllStatesTextile.com. *DILO LBM 6* [online]. *AllStatesTextile.com*, 2016 [accessed 24 November 2016]. Available from: <https://www.allstatestextile.com/listmachines.jsp?category=10217>.
104. Anand, S. C., Brunnschweiler, D., Swarbrick, G. and Russell, S. J. 5 - Mechanical bonding. In: Russell, S. J. *Handbook of Nonwovens*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2007, pp. 201–297. Available from: doi: <https://doi.org/10.1533/9781845691998.201>.
105. Tornado-tex.de. *Second-hand Nonwoven and Textile Maschines* [online]. *Tornado-tex.de*, 2017 [accessed 17 March 2017]. Available from: <http://www.tornado-tex.de/textile-machines-second-hand/needle-loom-laboratory.html>.
106. *LVS EN 12127:2001. Tekstilzstrādājumi - Audumi - Masas noteikšana uz laukuma vienību, lietojot mazus paraugus*. Latvijas valsts standarts LVS/STK/000 Standartizācijas nodaļa. Rīga, 2001. g. 29. marts.
107. *ISO 9073-2:1995. Textiles — Test methods for nonwovens — Part 2: Determination of thickness*. ISO Standards, 5 p., March 1995.
108. *DIN EN 29073-3. Textiles; test method for nonwovens; part 3: determination of tensile strength and elongation (ISO 9073-3:1989); german version EN 29073-3:1992*. DIN German Institute for Standardization, p.6, August 1992.
109. Kholkin, A. *Numerical simulation of damage and failure of laminated 3-point bending specimen*. Vienna: Vienna University of Technology, p. 74, 2012.
110. MehaniCalc.com. *Mechanical Properties of Materials* [online]. *mechanicalcalc.com*, 2014 [accessed 8 May 2021]. Available from: <https://mechanicalcalc.com/reference/mechanical-properties-of-materials>.
111. Virginia.edu. *ME 330 Engineering Materials Lectures* [online]. Charlottesville: Virginia.edu, 2014 [accessed 10 May 2019]. Available from: <http://www.virginia.edu/bohr/mse209/chapter16.html>.
112. Gotro, J. *Characterization of Thermosets Part 21: Tensile Testing of Polymers; A Molecular Interpretation* [online]. <https://polymerinnovationblog.com>, 2017 [accessed 11 May 2019]. Available from: <https://polymerinnovationblog.com/characterization-thermosets-part-21-tensile-testing-polymers-molecular-interpretation/>.
113. *LVS EN ISO 14125:2001 - Ar šķiedru stiprināti plastmasas kompozīti - Lieces īpašību noteikšana*, Latvijas Standarts, Rīga, Apr. 30, 2001.
114. *LVS EN ISO 10534-2:2002 - Akustika - Skaņas absorbcijas koeficienta un pilnās pretestības noteikšana pilnās pretestības caurulēs - 2. daļa: Pārejas funkcijas metode*, Latvijas standarts, Rīga, 2002.
115. *ASTM 423 - Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, Mar 15, 2022. DOI: 10.1520/C0423-22.
116. *ISO 354:2003 - Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room* [online]. International Organization for Standardization [accessed 3 July 2022]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:354:ed-2:v1:ne>.
117. *Siltumnīcefekta gāzu emisijas valstu un sektoru dalījumā (infografika)* (2019) [tiešsaiste]. Eiropas Parlaments, <https://www.europarl.europa.eu/news/lv/headlines/society/20180301STO98928/siltumnicefekta-gazu-emisijas-valstu-un-sektoru-dalijuma-infografika>, Oct. 17, 2019 [skatīts 2022. gada 12. jūlijā]. Pieejams: <https://www.europarl.europa.eu/news/lv/headlines/society/20180301STO98928/siltumnicefekta-gazu-emisijas-valstu-un-sektoru-dalijuma-infografika>.
118. *Specifiskais mērķis NR. 4* [tiešsaiste]. Rīga: Zemkopības ministrija, 2019 [skatīts 2022. g. 12. jūnijā]. Pieejams: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/SM_4_klimats.pdf.
119. Grīnfelde, I., Bērziņa, L., Lauva, D., Šņore, Z. un Oficiere, S. *Rokasgrāmata lauksaimniekiem SEG aprēķināšanai saimniecības līmenī un tā samazināšanas pasākumi* [tiešsaiste]. Jelgava: Latvijas

- Lauksaimniecības universitāte, 2014 [skatīts 2022. gada 12. jūnijā]. Pieejams: https://www.lad.gov.lv/files/ladDocument/1670/4_1_4_2_LLU_Rokasgramata_SEG_2014.pdf.
120. Yu Fu, W. *Carbon Footprint and Sustainability of Different Natural Fibres for Biocomposites and Insulation Material* [online]. Hürth, August 2019 [accessed 3 July 2022]. Available from: www.nova-institut.eu.
 121. Toffe, G. T., Ismail, S. O., Montalvão, D., Knight, J. and Ren, G. A scale-up of energy-cycle analysis on processing non-woven flax/PLA tape and triaxial glass fibre fabric for composites. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2019, vol. 3. Available from: doi: 10.3390/jmmp3040092. ISSN 25044494.
 122. Tortoioli, S., Paolotti, L., Romagnoli, F., Boggia, A. and Rocchi, L. Environmental Assessment of Bio-Oil Transformation from Thistle in the Italian Context: An LCA Study. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 430–446, 2020. Available from: doi:10.2478/rtuct-2020-0114. e-ISSN 2255-8837.
 123. ISO 14040:2006 *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* [online]. No. 2. International Organization for Standardization, 20 p., July 2006 [accessed 12 June 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
 124. Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T. and Meijer, E. *Introduction to LCA with SimaPro Title: Introduction to LCA with SimaPro* [online]. Pré, 2016 [accessed 12 June 2022]. Available from: www.pre-sustainability.com.
 125. Stocker, T. F. and Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I. *Climate change 2013 : the physical science basis : summary for policymakers, a report of Working Group I of the IPCC, technical summary, a report accepted by Working Group I of the IPCC but not approved in detail and frequently asked questions : part of the Working Group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. 2013 Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013 [accessed 10 May 2022]. 222 p. Available from: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. ISBN 978-92-9169-138-8.
 126. Seile, A. and Belakova, D. Hemp Made Bio-Composites. **In:** *Material Science. Textile and Clothing Technology*, 2014, pp. 22–27. Available from: doi: 10.7250/mstct.2014.004.
 127. Seile, A. and Belakova, D. Properties of Long Flax Fiber Reinforced Nonwoven and Composite Materials. **In:** *Engineering for Rural Development. Proceedings of 15th International Scientific Conference*. May 2016, pp. 990–996. ISSN 2255-923X.
 128. Kārklīš, A. un Ruža, A. *Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi* [tiešsaiste]. Jelgava: LLU, 2013 [skatīts 2022. g. 10. maijā]. 55 lpp. Pieejams: <https://www.vmd.gov.lv/public/ck/files/ZM/lauksaimnieciba/Lauku%20kulturaugu%20mesl%20nornmativi.pdf>. ISBN 9789984481302.
 129. Adamovičs, A. *Industriālo kaņepju (Cannabis Sativa L.) audzēšanas un novākšanas tehnoloģiju izstrāde produkcijas ieguvei ar augstu pievienoto vērtību. Atskaite par ZM subsīdiju tēmu Nr. 270314 /S70*, 2014.
 130. Adamovičs, A. *Industriālo kaņepju (Cannabis Sativa L.) audzēšanas un novākšanas tehnoloģiju izstrāde produkcijas ieguvei ar augstu pievienoto vērtību. Atskaite par ZM subsīdiju tēmu Nr.070515 /S36*. Jelgava, 2015. g. novembris.
 131. Seile, A. *Anonīmas intervijas ar zemniekiem par 2018/2019. g. sezonu*. Rugāju novads, 2020. g. janvāris.
 132. Stramkale, V. “A. Research results year 2012. B. Research results year 2010,” Vilani: SIA “Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrs”, 2012.
 133. Vosper, J. *The Role of Industrial Hemp in Carbon Farming* [online]. GoodEarth Resources PTY LTD (ABN 79 124 022 859), 2018 [accessed 24 July 2022]. Available from: <https://www.aph.gov.au/DocumentStore.ashx?id=ae6e9b56-1d34-4ed3-9851-2b3bf0b6eb4f>.
 134. Haije, W. G. *Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Composite Materials* [online]. 2018 [accessed 2 May 2022]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/238107819>. ECN-I--97-050.
 135. *Ammonia emissions to air in Western Europe. Technical report no. 62*. Brussels: ECETOC, 1994.

136. Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. and van Cleemput, O. Closing the global N₂O budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle: OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. **In:** *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, vol. 52, no. 2–3, pp. 225–248. Available from: doi: 10.1023/a:1009740530221.
137. Rossier, D. *Ecobilan. Adaptation de la méthode écobilan pour la gestion environnementale de l'exploitation agricole*. Lausanne, Switzerland, 1998.
138. Sinka, M., van den Heede, P., de Belie, N., Bajare, D., Sahmenko, G. and Korjakins, A. Comparative life cycle assessment of magnesium binders as an alternative for hemp concrete. *Resour Conserv Recycl.* 2018, vol. 133, pp. 288–299. Available from: doi: 10.1016/j.resconrec.2018.02.024.
139. New Media Publisher GmbH. *Real Time Price List* [online]. plasticker.de, 2022 [accessed 8 August 2022]. Available from: https://plasticker.de/preise/pms_en.php?kat=Mahlgut&aog=A&show=ok&make=ok.
140. MarketsandMarkets. *Polylactic Acid Market by Grade (Thermoforming, Extrusion, Injection Molding, Blow Molding), Application (Rigid Thermoform, Film & Sheet, Bottles), End-use Industry (Packaging, Consumer Goods, Agricultural, Textile, Biomedical) and Region (2022 - 2026)* [online]. www.marketsandmarkets.com, 2022 [accessed 8 March 2022]. Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/polylactic-acid-pla-market-29418964.html>.
141. SIA “Zalers”. Šķiedra [tiešsaiste]. <http://www.hemptime.lv>, 2022 [skatīts 2022. g. 4. februārī]. Pieejams: <http://www.hemptime.lv>.
142. Flagma.by. Льноволокно длинное и короткое, пакля [онлайн]. <https://flagma.by>, 2022 [доступ 20 февраля 2022 г.]. Доступна с: <https://flagma.by/lnovokno-dlinnoe-i-korotkoe-paklya-o4262634.html>, Feb. 2022.
143. da Costa Santos, A. C., Archbold, P. Suitability of Surface-Treated Flax and Hemp Fibers for Concrete Reinforcement. *Fibers.* 2022, vol. 10, no. 11. ISSN 2079-6439. Available from: 10.3390/fib10110101.
144. Iowa State University, Center for Nondestructive Evaluation. Materials and Processes. Stress and Strain [online]. Iowa: Center for Nondestructive Evaluation [accessed 27 December 2022]. Available from: <https://www.nde-ed.org/Physics/Materials/Mechanical/StressStrain.xhtml>.
145. Ashby, M. F. Chapter 4 - Material Property Charts. **In:** Ashby, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Fourth Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011, pp. 57–96. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-663-7.00004-7>.
146. Groz-beckert. *Nonwovens in cars* [online]. Groz-beckert Newsletter, 2011 [accessed 13 November 2013]. Available from: http://news.groz-beckert.com/pages/en_n4_nonwovens_in_cars.php5.
147. Brogan, M. *Citroen C5 Aircross 2019 Review* [online]. Carsales.com.au [accessed 28 January 2023]. Available from: <https://www.carsales.com.au/editorial/details/citroen-c5-aircross-2019-review-120575/>.
148. NetCarShow.com *BMW X6* [online]. *NetCarShow.com*, 2009 [accessed 12 October 2013]. Available from: https://www.netcarshow.com/bmw/2009-x6_uk_version/#2.
149. Dennis Horton & Son Skoda Retailer. *Storage Net for Parcel Shelf* [online]. TheSkodaShop.com, 2017 [accessed 23 September 2020]. Available from: <https://www.theskodashop.co.uk/products/storage-net-for-parcel-shelf>.
150. Renault. *Rear parcel shelf* [online]. *gb.e-guide.renault.com*, 2018 [accessed 23 September 2020]. Available from: <https://gb.e-guide.renault.com/eng/Zoe/REAR-PARCEL-SHELF>.
151. Ashby, M. F. Chapter 15 - Materials and the Environment. **In:** Ashby, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Fourth Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011, pp. 437–459. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-663-7.00015-1>.
152. Pecenka, R., Lühr, C. and Gusovius, H.-J. Design of Competitive Processing Plants for Hemp Fibre Production. *International Scholarly Research Notices*, 2012, vol. 2012, 5 p. Available from: doi: 10.5402/2012/647867.

153. NFC GmbH Nettle Fibre Company. *Hemp fibres* [online]. Nettle-fibre-company.com, 2019 [accessed 27 December 2022]. Available from: <https://nettle-fibre-company.com/en/hanffasern/>.
154. Natūralus Pluoštas. *The first hemp stalks were processed in the Natūralus Pluoštas factory* [online]. *naturalfiber.eu*, 10 January 2019 [accessed 27 December 2019]. Available from: <https://naturalfiber.eu/en/news/the-first-hemp-stalks-were-processed-in-the-naturalus-pluostas-factory>.
155. HempTime.lv. *Par mums* [tiešsaiste]. HempTime.lv, 2019 [skatīts 2019. g. 1. martā]. Available from: <http://www.hemp-time.lv/#about>.
156. LareLini. *Par mums* [tiešsaiste]. Ekolini.lv, 2019 [skatīts 2019. g. 27. decembrī]. Available from: <http://www.ekolini.lv/?dir=03&lang=lv>.
157. NatureWorks LLC. *Needle punching processing* [online]. <https://www.natureworksllc.com/>, 2019 [accessed 26 March 2019]. Available from: https://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Fact-Sheets/Fibers/FactSheet_Nonwovens_NeedlePunchingProcessing_pdf.pdf. Technical Bulletin 30904.
158. *Par grāmatvedību*. Latvijas Republikas Saeima, *Latvijas Republikas Augstākās Padomes un Valdības Ziņotājs*, no. 44/45, Rīga, 1992. g. 12. novembris.
159. *Noteikumi Nr.585. Noteikumi par grāmatvedības kārtošanu un organizāciju*. Ministru kabinets. *Latvijas Vēstnesis*, no. 151, Rīga, 2003. g. 29. oktobris.
160. *Dabas resursu nodokļa likums*. Latvijas Republikas Saeima. *Latvijas Vēstnesis*, no. 209, Rīga, 2005. g. 29. decembris.
161. European Resource Efficiency Knowledge Network. *Making use of leftovers - remanufacturing in the global fashion industry* [online]. *www.resourceefficient.eu*, 2018 [accessed 27 December 2019]. Available from: <https://www.resourceefficient.eu/en>.
162. Gušča, J. *Sadzīves atkritumu un rūpniecības atkritumu izmantošana apkurei pilsētas vidē (2.3.3.): galējo atkritumu produktu dedzināšana un no atkritumiem iegūtais kurināmais. ES 'Horizon2020' programmas finansēts projekts "Centralizētās siltumapgādes sistēmu darbības*. Jelgava: Zemgales Reģionālā Enerģētikas Aģentūra. 2018.
163. Lauksaimniecības datu centrs. *Mājas (istabas) dzīvnieku reģistrs* [tiešsaiste]. Rīga: *ldc.gov.lv*, 2017 [skatīts 2019. g. 29. martā]. Pieejams: <https://www.ldc.gov.lv/lv/statistika/reģistrs/>.
164. Arias, A., Pineda, J., Gutiérrez, M. and Ojeda, W. Sawdust and coco coir as growing media for greenhouse cherry tomatoes. *Acta Horti*, 2014, vol. 1037, pp. 1063–1066. Available from: doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1037.140.
165. Textechindustries.com. *Coating and Lamination* [online]. Textechindustries.com, 2022 [accessed 1 January 2023]. Available from: <https://textechindustries.com/capabilities/coating-technology/>.

Pielikums

1. pielikums

Aprites cikla ievadņu un izvadņu dati

1. tabula

Kaņepāju audzēšanas uz 1 ha ievadnes kopsavilkums

Nosaukums	Vienības	Daudzums			
		HN0	HN30	HN60	HN90
NPK 15:15:15	kg	300			
Amonija nitrāts 33/0/0, izteikts N	kg	0	30	60	90
Kaļķis	kg	40			
Sēklas	kg	50			
Degviela - dīzelis (*38 uz MJ)**	MJ	2918,4			
Lauksaimniecības tehnika (traktori) (kat. A) ***	kg	5,12			
Lauksaimniecības tehnika (cita tehnika) (kat. B)****	kg	8,37			

**izņēmums HN0 mēslošanas scenāriju, tur 2766,4 L

***izņēmums HN0 mēslošanas scenāriju, tur 5,08 kg

****izņēmums HN0 mēslošanas scenāriju, tur 8,26 kg

2. tabula

Līnu audzēšanas uz 1 ha ievadnes kopsavilkums

Nosaukums	Vienības	Daudzums				
		FN0	FN20	FN30	FN35	FN40
Amonija nitrāts 33/0/0, izteikts N	kg	0	20	30	35	40
3-superfosfāts 0/46/0/0, izteikts P ₂ O ₅	kg	0	35	45	55	60
Kālija hlorīds 0/0/60/0, izteikts K ₂ O	kg	0	80	115	150	-
Kaļķis	kg	0	30	45	52,5	60
Pesticīds <i>Trafo WG</i> (aktīvā viela: <i>Lambda-Cyhalothin</i>)	kg	0,15				
Herbicīds <i>Callisto</i>	L	2				
Herbicīds ar <i>Roundup</i> (aktīvā viela: glifosāts)	L	4				
Sēklas	kg	110				
Degviela - dīzelis (*38 uz MJ)**	MJ	4172,4				
Lauksaimniecības tehnika (traktori) (kat. A) ***	kg	3,3				
Lauksaimniecības tehnika (cita tehnika) (kat. C)****	kg	15,5				

**izņēmums FN0 un FN20 mēslošanas scenārijus, tur 4020,4 l

***izņēmums FN0 mēslošanas scenāriju, tur 3,27 kg

****izņēmums FN0 mēslošanas scenāriju, tur 14,36 kg

Kaņepāju audzēšanas izvadne uz 1 ha

Izvadne	Vienības	Daudzums			
		HN0	HN30	HN60	HN90
Raža					
Sausi, zaļi kaņepju kāti (14% mitruma)	kg	11550	12650	13500	15650
Emisijas					
NH ₃ - gaisā	g	0	600	1200	1800
N ₂ O - gaisā	g	0	447,15	894,30	1341,45
NO _x - gaisā	g	0	44,72	89,43	134,15
Nitrāts - ūdenī	kg	0	17,65	35,29	52,94
Fosfāts - ūdenī	g	1000	1000	1000	1000
Cd - zemē	mg	3846,15	4212,45	4495,50	5211,45
Cr - zemē	mg	27835,50	30486,50	32535,00	37716,50
Ni - zemē	mg	8200,50	8981,50	9585,00	11111,50
Pb - zemē	mg	6306,30	6906,90	7371,00	8544,90

Linu audzēšanas izvadne uz 1 ha

Izvadne	Vienības	Daudzums				
		FN0	FN20	FN30	FN35	FN40
Raža						
Sausi, zaļi linu kāti (14% mitruma)	kg	1000	2000	3000	4000	5000
Emisijas						
NH ₃ - gaisā	g	0	400	600	700	800
N ₂ O - gaisā	g	0	298,10	447,15	521,68	596,20
NO _x - gaisā	g	0	29,81	44,72	52,17	59,62
Nitrāts - ūdenī	kg	0	11,76	17,65	20,59	23,53
Fosfāts - ūdenī	g	0	350	400	400	400
Cd - zemē	mg	333,00	666,00	999,00	1332,00	1665,00
Cr - zemē	mg	2410,00	4820,00	7230,00	9640,00	12050,00
Ni - zemē	mg	710,00	1420,00	2130,00	2840,00	3550,00
Pb - zemē	mg	546,00	1092,00	1638,00	2184,00	2730,00

Kaņepāju pārstrādes dati uz 1 ha

Izvadne	Vienības	Daudzums			
		HN0	HN30	N60	N90
Ievadne					
Salmiņi	kg	11550	12650	13500	15650
Elektrība (pārstrādes līnija)	MJ	4677,75	5123,25	5467,50	6338,25
Lauksaimniecības tehnika (traktori) (kat. A)	kg	8,91	8,91	8,91	8,91
Lauksaimniecības tehnika (cita tehnika) (kat. B)	kg	55,89	55,89	55,89	55,89
Degviela - dīzeļdegviela	MJ	859,03	940,85	1004,06	1163,97
Izvadne					
Šķiedra	kg	4550	5100	5450	6150
Spaļi	kg	6600	7100	7500	8350
Putekļi, atlikumi	kg	400	450	550	1150

Linu pārstrādes dati uz 1 ha

Izvadne	Vienības	Daudzums				
		FN0	FN20	FN30	FN35	FN40
Ievadne						
Salmiņi	kg	1000	2000	3000	4000	5000
Elektrība	MJ	405,00	810,00	1215,00	1620,00	2025,00
Lauksaimniecības tehnika (traktori) (kat. A)	kg	8,91	8,91	8,91	8,91	8,91
Lauksaimniecības tehnika (cita tehnika) (kat. B)	kg	55,89	55,89	55,89	55,89	55,89
Degviela - dīzeļdegviela	MJ	74,38	148,75	223,13	297,50	371,88
Izvadne						
Šķiedra	kg	245	490	735	980	1225
Spaļi	kg	510	1020	1530	2040	2550

PLA šķiedru ražošanas un transportēšanas dati (1 kg)

Izvadne	Vienības	Daudzums
Ievadne		
PLA granulas	MJ	54,1
PLA šķiedras (pavediena) ekstrūzija	MJ	1,6
PLA šķiedras	kg	1
Transportēšana (sauszemes transports) no PLA ražošanas vietas līdz ostai, vienā virzienā	km	436
Degviela - dīzeļdegviela (sauszemes transports)	MJ	2151,6

7. tabulas turpinājums

Transportēšana (jūras transports), vienā virzienā	jj	4210
Transportēšana (sauszemes transports) no ostas līdz kompozīta ražošanas vietai, vienā virzienā	km	1980
Degviela - dīzeļdegviela (sauszemes transports)	MJ	9765,5

8. tabula

Hemp_nw izgatavošanas dati (1 tonna izejvielu)

Ievadne un izvadne	Vienības	Daudzums
Ievadne		
Šķiedra (kaņepāji)	kg	400
Šķiedra (PLA)	kg	600
Elektrība	MJ	77,7
Izvadne		
Hemp_nw neaustais materiāls	kg	750
Atgriezumi	kg	250

9. tabula

Flax_nw izgatavošanas dati (1 tonna izejvielu)

Ievadne un izvadne	Vienības	Daudzums
Ievadne		
Šķiedra (lini)	kg	400
Šķiedra (PLA)	kg	600
Elektrība	MJ	80,6
Izvadne		
Flax_nw neaustais materiāls	kg	750
Atgriezumi	kg	250

10. tabula

Hemp_comp izgatavošanas dati (1 tonna izejvielu)

Ievadne un izvadne	Vienības	Daudzums
Ievadne		
<i>Hemp_nw</i>	kg	1000
Elektrība	MJ	84,6
Izvadne		
<i>Hemp_comp</i>	kg	900

11. tabula

Flax_comp izgatavošanas dati (1 tonna izejvielu)

Ievadne un izvadne	Vienības	Daudzums
Ievadne		
<i>Flax_nw</i>	kg	1000
Elektrība	MJ	94,1
Izvadne		
<i>Flax_comp</i>	kg	900



Arta Seile dzimusi 1984. gadā Bauskā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi profesionālā bakalaura grādu mašīnu un aparātu būvniecībā (2009) un profesionālo maģistra grādu inženierzinātnēs, materiālzinātnes nozarē (2011). 2013.–2014. gadā *Erasmus* programmas prakses laikā veica pētījumus Tekstila tehnoloģiju institūtā Āhenā, Vācijā (*RWTH University Aachen*). Kopš 2016. gada ir RTU Dizaina tehnoloģiju institūta pētniece. Zinātniskās intereses saistītas ar materiālzinātnes jomu.