

Arta Seile

LIGNOCELULOZES UN POLILAKTĪDA ŠĶIEDRAS AKUSTISKOS NEAUSTAJOS MATERIĀLOS UN KOMPOZĪTOS

Promocijas darba kopsavilkums



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 darba kopsavilkums

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

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

RTU Izdevniecība
Rīga 2023

Seile, A. Lignocelulozes un polilaktīda šķiedras akustiskos neaustajos materiālos un kompozītos. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. 54 lpp.

Iespiests saskaņā ar Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Materiālzinātnes nozares promocijas padomes RTU P-02 2023.gada 21.septembra sēdes lēmumu, protokols Nr. 04030-9.2.1/12.

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” projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās”.

Šis pētījums tapis ar Rīgas Tehniskās universitātes doktorantūras grantu programmas atbalstu.



Vāka attēla autore – Arta Seile

<https://doi.org/10.7250/9789934229909>

ISBN 978-9934-22-990-9 (pdf)

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 plkst. 10 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 valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 109 attēli, 40 tabulu, viens pielikums, kopā 160 lappuses, ieskaitot pielikumu. Literatūras sarakstā ir 165 nosaukumi.

SATURS

IEVADS	6
Promocijas darba aktualitāte	7
Promocijas darba zinātniskā novitāte	7
Promocijas darba praktiskā nozīmība	8
Tēzes aizstāvēšanai	8
Promocijas darba aprobācija	8
Darba autores ziņojumi zinātniskajās konferencēs	8
Darba autores publikācijas par promocijas darba tēmu	9
Darba autores ar promocijas darba tēmu nesaistītas publikācijas	10
Citas aktivitātes saistībā ar promocijas darba tēmu	10
1. LITERATŪRAS APSKATS	11
Neustie materiāli (NM) vieglo automašīnu interjerā	11
Tekstilmateriāli vieglo automašīnu uzbūvē	11
Vieglās automašīnas salona detaļu tehniskās prasības	11
Dabisko šķiedru lietojums vieglās automašīnas interjera detaļu izgatavošanā	12
Trokšņi vieglajā automašīnā	12
Kaņepāju un līnu šķiedras kā neusto materiālu un kompozīta komponentes	13
Daļēji un pilnīgi bioloģiski sadalošās polimēru matricas	14
Pirmās nodaļas kopsavilkums	15
2. METODISKĀ DAĻA	16
Neusto materiālu izgatavošanas tehnoloģija	16
Neusto materiālu ieguve	17
Šķiedru irdināšana	18
Šķiedru sajaukšana un šķiedru klājuma izveide ar zemspiediena iekļāšanas (airlaid) metodi	19
Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana	21
Šķiedru klājuma kārtu otrā cauradatošana	23
Paraugu izgatavošana neusto materiālu testēšanai un kompozītu veidošanai	24
Kompozīta izgatavošanas tehnoloģija	24
Pārbaužu metodes	25
Neusto materiālu un kompozītu paraugu ģeometrisku parametru noteikšana	25
Neusto materiālu un kompozītu paraugu stiepes izturības pārbaude	25
Kompozītu paraugu trīs punktu lieces pārbaude	26
Neusto materiālu skaņas absorbcijas pārbaude	26
Neusto materiālu un kompozītu kvalitātes novērtēšana	26
Neusto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu apkopošanas metodika	26
Metodes, aprites cikla pētījuma mērķis, funkcionālā vienība	26
Aprites cikla sistēmas robežas un datu kvalitāte	27

Otrās nodaļas kopsavilkums	28
3. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	29
Neausto materiālu īpašību salīdzinoša analīze	29
Neausto materiālu salīdzinoša vizuāla analīze	29
Neausto materiālu tehniskās īpašības	30
Neausto materiālu stiepes izturības īpašības.....	31
Neausto materiālu akustisko īpašību salīdzinoša analīze.....	32
Kompozītu īpašību salīdzinoša analīze	34
Kompozītu salīdzinoša vizuāla analīze.....	34
Kompozītu paraugu tehniskās īpašības.....	37
Kompozītu stiepes izturības īpašības.....	38
Tradicionāli izmantotie materiāli un metodes vieglās automašīnas tekstilmateriālu detaļu izgatavošanā	39
Kompozītu trīs punktu lieces īpašības.....	41
Neausto materiālu un kompozītu izgatavošanas orientējošas izmaksas.	42
Neausto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu analīzes rezultāti	44
Kaņepju un linu audzēšanas ietekme uz vidi	44
Kompozītu izgatavošanas ietekme uz vidi.....	45
Trešās nodaļas kopsavilkums	47
SECINĀJUMI	48
Priekšlikumi un ierosinājumi turpmākajiem pētījumiem	50
LITERATŪRAS SARAKSTS	51

IEVADS

Eiropas Parlamentā un Eiropas 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 atjaunīgiem 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, lini u. c. izmantošana konstrukcijās aizvieto naftas produktu izcelsmes šķiedras, veicina atjaunīgo 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 līnēm) 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 nevienu soli 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 zinātniskajās 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 nesaistītās 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”.

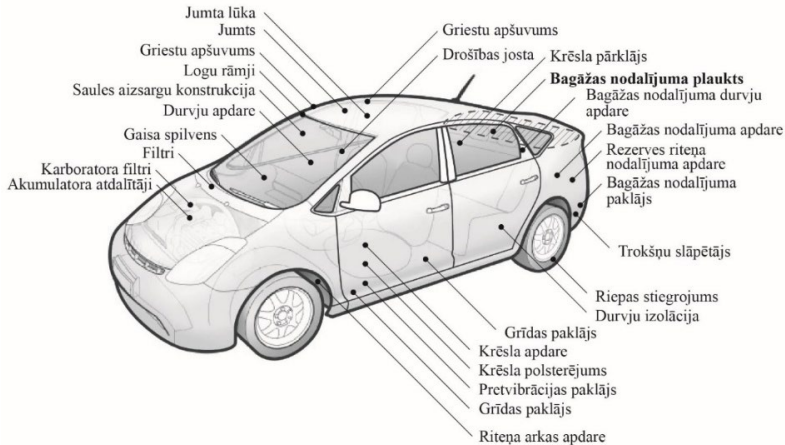
Dalība Rīgas Tehniskās universitātes doktorantūras 2021./2022. akadēmiskā gada grantā.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Neaustie materiāli (NM) vieglo automašīnu interjerā

Tekstilmateriāli vieglo automašīnu uzbūvē

Automašīnas uzbūvē tekstilmateriāli veido vairāk nekā 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 (sānu apdare, bagāžas nodalījuma grīda, grīdas apdare, bagāžas nodalījuma plaukta panelis (bagāžas plaukts)); motora nodalījums (piemēram, motora pārsega izolators un absorbētājs). Savukārt automašīnu uzbūvē lietotos tekstilmateriālus iedala divās kategorijās: salona interjera virsmas materiāli; salona apdares materiāli [6]. Automašīnas bagāžas plaukts (1.1. att.) arī pieskaitāms pie salona detaļām (salona apdares materiāls).



1.1. att. Vieglās automašīnas uzbūve un tās galvenie elementi [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, adījumdriņai 160–370 g/m² [7]. Automašīnas salona griestu tapsējums PET un PP neaustie materiāli (NM) virsmas blīvums parasti ap 200 g/m² [7, 9].

Ieviešot jaunus materiālus un risinājumus autobūvē, tiem ir jāatbilst virknei tehnisko prasību [10]:

- 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 nevainojami kalpo četrus garantijas gadus;
- materiāli, savstarpēji saskaroties, nerada troksni;
- salona apdares materiāli savstarpēji savietoti tā, lai tie neradītu troksni.

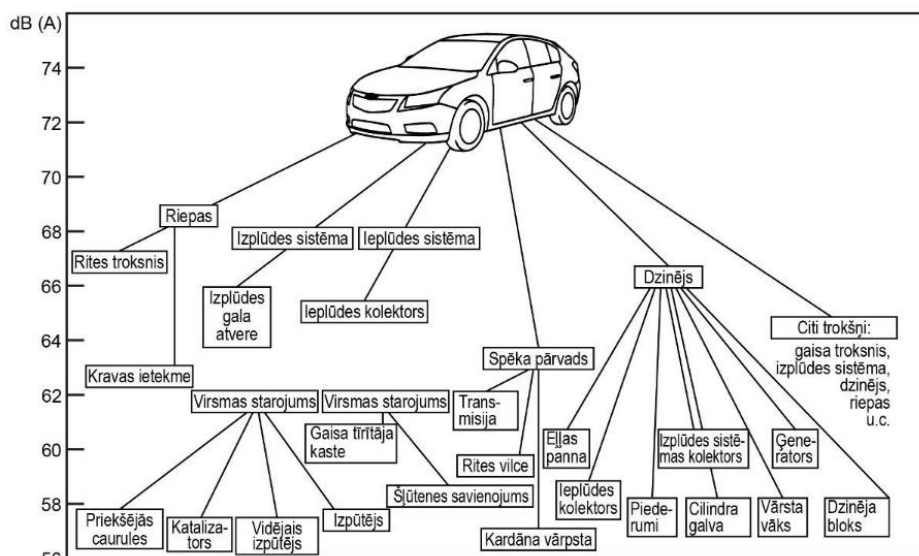
Visiem tekstilmateriāliem un ādām, kas tiek izmantotas automašīnu salonos, ir jābūt sertificētām saskaņā ar *OEKO TEX 100 4*. produkta klasi [10].

Dabisko šķiedru lietojums vieglās automašīnas interjera detaļu izgatavošanā

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* [11], kas nosaka enerģijas izmantošanu no atjaunīgajiem resursiem. Savukārt pieprasījums pēc degvielas patēriņa samazinājuma sekmē vieglo materiālu izmantošanu autobūvē [12].

Troksņi vieglajā automašīnā

Vieglo automašīnu salonā izmantoto tekstilmateriālu izgatavošanas metodi galvenokārt nosaka no materiāla izgatavoto detaļu funkcija. Automašīnas salona apdarē izmantotajiem materiāliem veicama arī skaņu absorbējoša funkcija, un tās nodrošināšanu vislabāk veic materiāli ar porainu uzbūvi. Uzbūvi ar gaisa ieslēgumiem spēj nodrošināt neausta materiāla struktūra.



1.2. att. Troksņu avotu izkārtojums saskaņā ar braucošas automašīnas troksņu testu [13].

1.2. attēlā redzami braucošas automašīnas trokšņu avoti, kas secīgi sakārtoti pēc augstākā trokšņa līmeņa: riepas; izplūdes sistēma; iepļūdes sistēma; 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.

Kaņepāju un linu šķiedras kā neausto materiālu un kompozīta komponentes

Kaņepāji un lini ir līdzīgi pēc to mehāniskajām īpašībām. Abiem šķiedraugiem līdzīgs ir arī ķīmiskais sastāvs (1.1. un 1.2. tab.). Gan kaņepāju, gan linu šķiedru uzbūvē proporcionāli pēc masas galvenā komponente ir celuloze, jo tā ir galvenā šūnapvalku sastāvdaļa. Celuloze augos (gan kaņepājos, gan līnos) saistīta ar hemicelulozi un lignīnu. Vēl šķiedras uzbūvi veido vasks, proteīns, ūdens, minerālvielas un ūdenī šķīstoši savienojumi [14–15]. Lielāks lignīna saturs padara šķiedras mazāk jutīgas pret ķīmikālijām. Piemēram, kaņepāju šķiedras ir izturīgas pret bāzēm un skābēm [16].

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.

1.1. tabula

Kaņepāju šķiedras ķīmiskais sastāvs

Celuloze (%)	Hemiceluloze (%)	Lignīns (%)	Pektīns (%)	Vasks, proteīns, ūdens, pelni u. c. (%)	Avots (%)
67–78	17	3,5–5,5			[17]
77				10 % higroskopiskais ūdens	[18]
80,2	12	2,6	3	0,5 % pelni, 1,7 % ūdenī šķīstoši savienojumi, 6,5 % mitrums	[19]
64,2–70,5	16,99–23,79	5,68–7,96	1,37–1,64	0,52–0,73	[20]
66,38	18,84	5,68	1,54	0,52	Bialbrzeskie (B LV) [20]
70,54	16,99	6,18	1,64	0,73	Bialbrzeskie (B PL) [20]

1.2. 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	[21]
64,57–75,38	12,97–26,07	4,78–7,44	0,45–3,23	0,83–1,9	[20]
69,90	21,30	7,26	0,45	1,28	T36-5-7-94 1. līnija [20]
75,38	12,97	5,56	1,1	0,97	Ilona [20]
71,98	16,21	6,80	0,73	0,83	Nike [20]

Daļēji un pilnīgi bioloģiski sadalošās polimēru matricas

Kompozīta matricas izvēles veikšanai starp dažādajiem polimēriem tiek ņemta vērā konkrētā polimēra īpašību atbilstība paredzētajai funkcijai, ekonomiskiem un vides faktoriem.

1.3. tabulā salīdzinātas funkcijas konkurējošu polimēru īpašības, ņemot vērā to lietojumu. 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 neatjaunīgiem 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 (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 [22]) ir viens no galvenajiem plašākas izmantošanas bremsējošajiem faktoriem. Pēc blīvuma PLA ir tuvs cietajam PVH un PET. PLA starp visiem četriem polimēriem piemīt zemākā plaisas lūzuma izturība, savukārt daļiņu cietība pēc Vikersa cietības testa ir otrs augstākais rādītājs pēc PET. PP ir populārs polimērs, ņemot vērā tā lietojumu autobūvē, tomēr tehnisko īpašību salīdzinājums uzrāda zemākas vērtības nekā PET, cietais PVH un PLA.

PLA šķiedrām vairākas īpašības ir līdzīgas ar citiem iepriekš apskatītajiem polimēriem. PLA mehāniskās īpašības ir līdzīgas PET īpašībām. Zemās kušanas un mīkstināšanas temperatūras dēļ PLA salīdzināms ar PP [23].

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 stiepjas viegli.

Salīdzinot ar dabiskajām augu šķiedrām, PLA ir augstāka elastība, kas apvienojumā ar zemu blīvumu piešķir tekstilizstrādājumiem vieglumu un gaisīguma sajūtu.

1.3. tabula

Polimēru fizikāli mehāniskās un siltumfizikālās īpašības [24]

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 [25]	2,14–4,14	3,45–3,8
Pagarinājums (%)	1,3–5	100–600	11,93–80	5–7
Plaisas (lūzuma) izturība (MPa·m ^{0,5})	1,05–9,16	3–4,5	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 [25]	26 [25]	14–58 [25]	45 [26]
Darba temperatūra (°C)	–20–160	–40–37,2	–20–70	70–80
Kušanas punkts t _{kuš} (°C)	267 [27]	160–165	210	160 [23]–180 [25]

1.3. tabulas turpinājums

Īpašības / rādītāji	PET	PP	PVH	PLA
			cietais	PLLA
Stiklošanās temperatūra t_{st} (°C)	67–81	-10 [28]	85	60–65 [29]
Īpatnējā siltumietilpība (J/(kg·K))	1160–1587	1870–1956	1355–1445	1180–1210
Siltumvadītspēja (W/(m·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
<u>Ekoloģiskie rādītāji</u>				
Enerģijas saturs (MJ/kg)	89–95	76–84	77–83	52–54
Pārstrādes potenciāls	Augsts	Augsts	Augsts	Augsts
<u>Estētiskās īpašības</u>				
No mīksta līdz cietam, 0 līdz 10	7–8	6–7	7–7	Puskristālisks [29]
Caurspīdība	Caurspīdīgs līdz necaurspīdīgam	Caurspīdīgs līdz necaurspīdīgam	Caurspīdīgs līdz necaurspīdīgam	Caurspīdīgs
Spīdība (%)		20–94		
<u>Funkcijas attiecībā pret citiem polimēriem</u>				
Korozijizturība	+	+	+	
	(pievienojot piedevas)			
Amortizācija		+	+	
Amerikas pārtikas un zāļu administrācijas apstiprinājums (<i>U.S. Food and Drug Administration</i>)	+	+	+	+
Ūgunsizturīgs	+		+	
Svars		Viegls	Smags	
Triecienizturība		+	-	
Elastīgums	+	+	+	
Stings			+	+
Izturīgums	+		-	
Izturība pret UV starojumu	+	-	+	
	(pievienojot piedevas)			
Gludums		+		

Fizikālo īpašību pētījumi [23] apstiprina PLA šķiedru kā tekstilšķiedras komerciālo potenciālu. Arī PLA ekoloģiskās un estētiskās īpašības neatpaliek un ir konkurētspējīgas ar citiem līdz šim izmantotajiem polimēriem.

Pirmās nodaļas kopsavilkums

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

Autoindustriju 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 uzsvāru 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, cieto daļiņu u. c. emisiju apjomu.

Lai sasniegtu iepriekš minētās regulu noteiktās prasības, nepieciešams aizstāt līdz šim autoindustrijā lietotās izejvielas ar dabai draudzīgākas izcelsmes izejvielām. Nepieciešams mazināt izmešu daudzumu, uzlabot ekonomiskos rādītājus. Piemēram, par aizstājošajām izejvielām izvēloties augu šķiedras, kas iegūtas Latvijā, iespējams risināt iepriekš pieminētos vides un ekonomiskos jautājumus. Nepieciešams radīt dažādi izmantojamus materiālus, piemēram, akustiskus neaustos materiālus, uz kuru bāzes var izgatavot kompozītus. No dabai draudzīgām izejvielām izgatavotus akustiskus neaustos materiālus un kompozītus varētu izmantot autosalona detaļu izgatavošanā.

2. METODISKĀ DAĻA

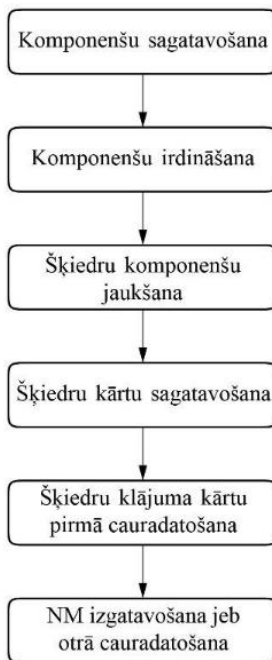
Darba gaitā izveidoti divu kompozīciju NM un kompozīti veidoti no celulozi saturošām augu un PLA šķiedrām. Abām materiālu kompozīcijām viena parauga ietvaros izmantots vienāds kopējais šķiedras daudzums pēc masas, saglabājot šķiedru proporciju 40 mas. % kaņepāju vai linu šķiedras un 60 mas. % PLA šķiedras.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

Neusto materiālu izgatavošanas tehnoloģija

Ja vienu šķiedru maisījumu plānots izmantot gan NM, gan kompozīta ražošanā, svarīga nozīme ir struktūras plānošanai. Augu šķiedras kompozīta uzbūvē veido materiāla karkasu un uzņem lielāko pieliktās slodzes daļu. Savukārt polimēra matrica saista kopā materiālu, balsta šķiedras un sadala slodzi starp kompozīta slāņiem. Kompozīta iegūšana paredz abu kompozīciju NM veidošanu no vairākām šķiedru klājuma kārtām, kas materiāla izgatavošanas laikā pakāpeniski apvienotas daudzslāņu struktūrās. 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.

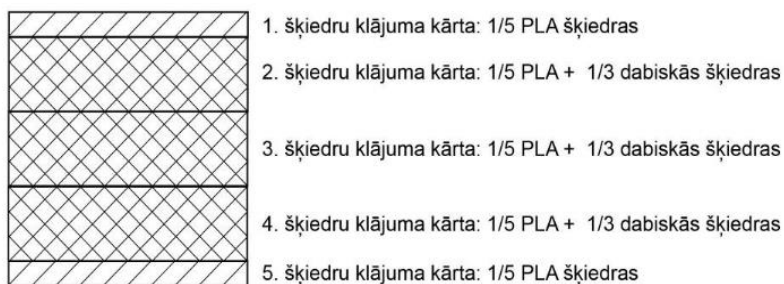
Neausto materiālu ieguve

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



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.), ko veido piecas šķiedru klājuma kārtas.



2.2. att. NM daudzslāņu struktūra.

Dabisko šķiedru un polimēra šķiedru attiecība NM kārtās izvēlēta, balstoties Āhenes Reinas-Vestfāles Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūta (*ITA*) iepriekšējā pieredzē dabisko šķiedru stiprinātu kompozītu izgatavošanas pētījumos [30] 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 [31]. Šķiedru aprēķins abu kompozīciju materiālu izgatavošanai veikts saskaņā ar 2.1. un 2.2. vienādojumu.

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

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

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. %.

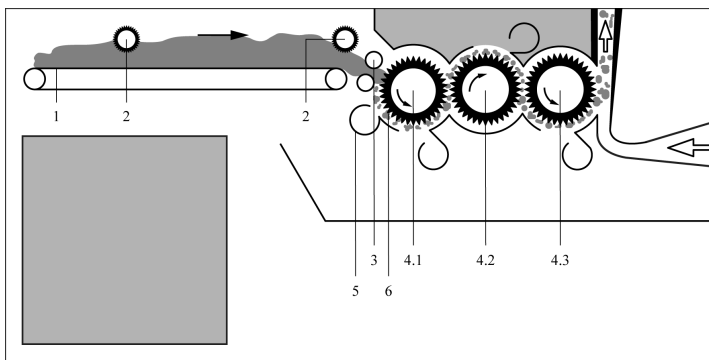
Pētījumā izmantoto kaņepāju šķiedru vidējais garums variē 50–80 mm, mitruma saturs piegādes brīdī ir līdz 12 %, spaļu piemaisījums ir mazāks par 6 %. Piegādātās kaņepāju šķiedras ķīmiskais sastāvs: celuloze 60–72 %, hemiceluloze 11–19 % un lignīns 2,3–4,7 % [32].

Linu kompozīcijas paraugos izmantoto linu 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 irdināšana

Materiāla struktūru ietekmē NM un kompozīta izgatavošanas tehnoloģijas. Šajā gadījumā izmantotā šķiedru irdināšanas, jaukšanas mašīna (2.3. att.) ar trim paralēli izkārtotiem darba veltņiem 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.



2.3. att. TRÜTZSCHLER CVT3 1200 šķiedru irdināšanas, jaukšanas iekārtas darbības princips [33].

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

Šķiedru maisījums sajaukts un šķiedru klājums veidots šķiedru irdināšanas, jaukšanas mašīnai TRÜTZSCHLER CVT3 1200 klāt pievienotajā vertikālajā vakuuma tunelī, kas nodrošina šķiedru atdalīšanos citu no citas un vienmērīgu izkārtošanos dažādos nejaušos virzienos. Ar katru atkārtotu sajaukamo šķiedru maisījumu ievietošanu iekārtā šķiedras sajaucas vienmērīgāk. Šī iekārta izmantota kaņepāju un PLA šķiedru vienmērīgai sajaukšanai kaņepāji-PLA šķiedru klājumiem un lina un PLA šķiedru vienmērīgai sajaukšanai lini-PLA šķiedru klājumiem. *Hemp_nw* un *Flax_nw* NM šķiedru masas sadalījums pēc to veidojošajām kārtām redzams 2.1. un 2.2. tabulā.

2.4. tabula

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

Nr.	Šķiedru klājuma kārtā	Šķiedras veids		Kopā (g)
		Kaņepāju šk. (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

Kvalitatīvākai divu veidu šķiedru sajaukšanai šķiedras uz padeves siksnas novietojamas pamīšus: 1 doza dabisko šķiedru, 1 doza PLA šķiedru, 1 doza dabisko šķiedru utt. (2.4. a att. – 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 (2.4. b att.).

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

Nr.	Šķiedru klājuma kārtā	Šķiedras veids		Kopā (g)
		Linu 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

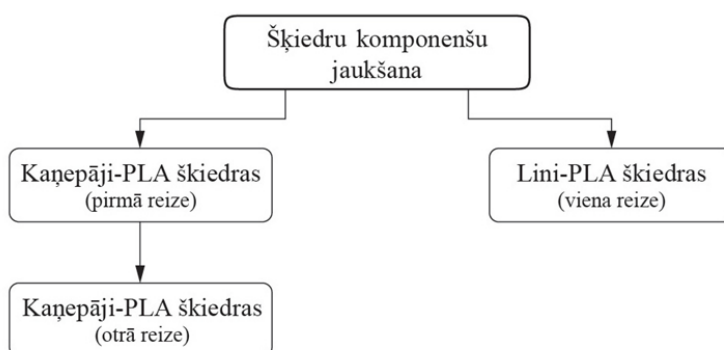


a)



b)

2.4. att. Uz irdināšanas iekārtas padeves siksnas izkārtotas linu (gaiši brūnā krāsā) un PLA šķiedras (baltā krāsā).



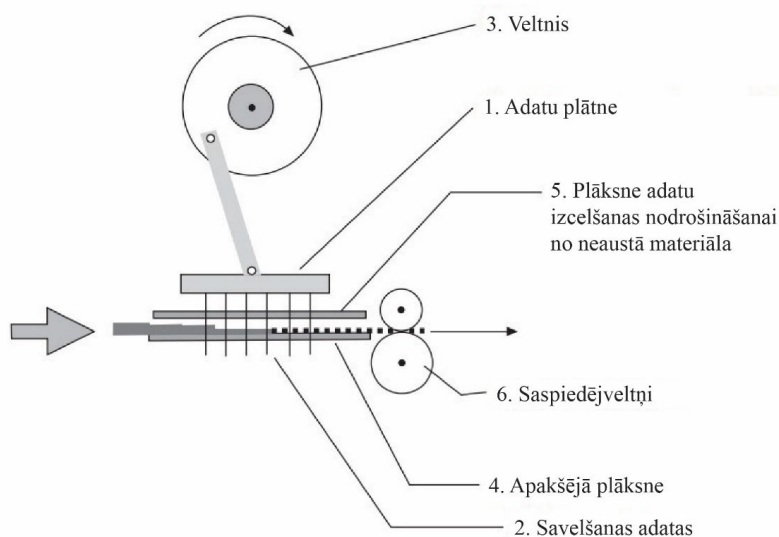
2.5. att. Šķiedru jaukšanas procesa shēma.

Klājumu veidojošo šķiedru sastāvs un sajaukamo šķiedru smalkums ietekmē nepieciešamo apstrādes reižu skaitu mašīnā (2.5. att.) juktā 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.

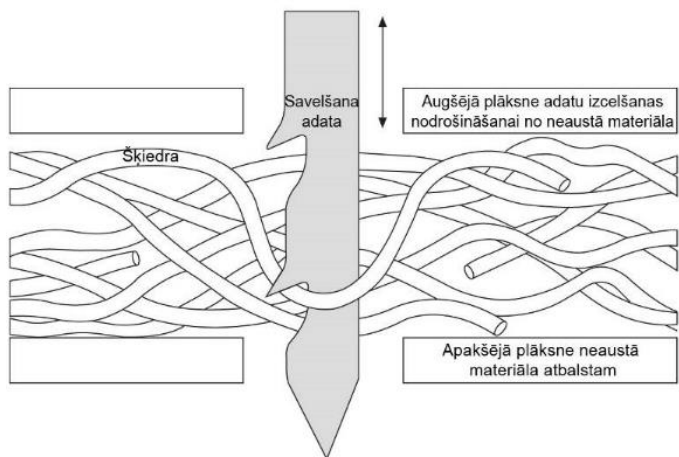
Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana

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. Fiksācija nodrošina sagatavoto šķiedru klājuma kārtu aizsardzību pret nejaušu izjukšanu, sagatavojot klājuma struktūru tālākai NM iegūšanai.



2.6. att. Vienkāršas cauradatošanas iekārtas darbības princips [34].

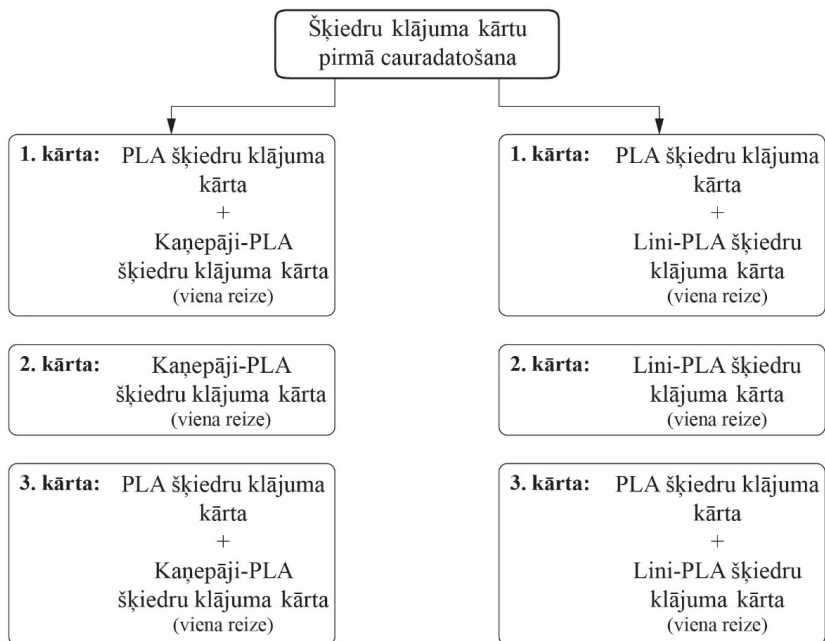
Šķiedru klājuma kārtu cauradatošana veikta, izmantojot *ITA* laboratorijā esošo *DILO LBM 6* cauradatošanas mašīnu. 2.6. attēls paskaidro cauradatošanas iekārtas elementu lomu darba procesā. Cauradatošanai sagatavotās šķiedru klājuma kārtas padod uz cauradatošanas darba zonu (platums – 600 mm). Cauradatošanas plātnē (2.6. att. 1) iestrādātas atskabargainas savelšanas adatas (2000–3000 adatas/m) (2.6. att. 2). Adatu plātne piestiprināta pie augšējā veltņa (2.6. att. 3), tam rotējot, adatu plātne caurdur šķiedru klājumu ar ātrumu 3000 dūrieni/min [35]. Cauradatojamais NM pārvietojas starp divām horizontālām plātnēm: apakšējā plātne (2.6. att. 4) atbalsta cauradatojamo materiālu, augšējā caurmotā plātne (2.6. att. 5) nodrošina adatu izcelšanu no cauradatojamā materiāla. Gatavo cauradototo NM sablīvē divi saspiedējveltni (2.6. att. 6).



2.7. att. Savelšanas adatas darbības princips cauradatojot [34].

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 (2.7. att.).

Katra NM kompozīcijas parauga izgatavošanai paredzētās piecas šķiedru klājuma kārtas pēc pirmās cauradatošanas pārtop trīs kārtās (2.8. 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.



2.8. att. Šķiedru klājuma kārtu pirmā cauradatošana.

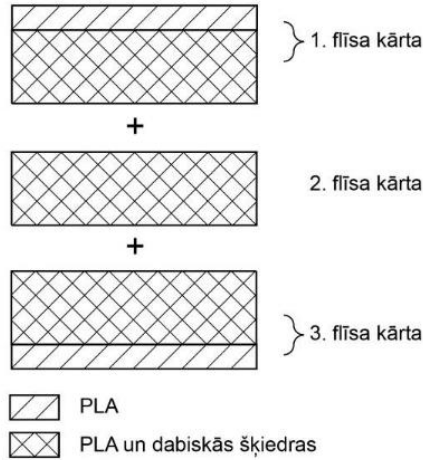
Šķiedru klājuma kārtu otrā cauradatošana

NM cauradatošanu veic, izmantojot to pašu *DILO LBM 6* cauradatošanas iekārtu, fiksējot šķiedru klājuma kārtas. Katrs gatavais NM paraugs ietver kopā sastrādātās jeb cauradatotās trīs flīsa kārtas (2.9. att.).

Pēc fiksācijas iegūtās flīsa kārtas apgriež, pielāgojot to izmērus cauradatošanas iekārtai, un 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 (2.10. att.).



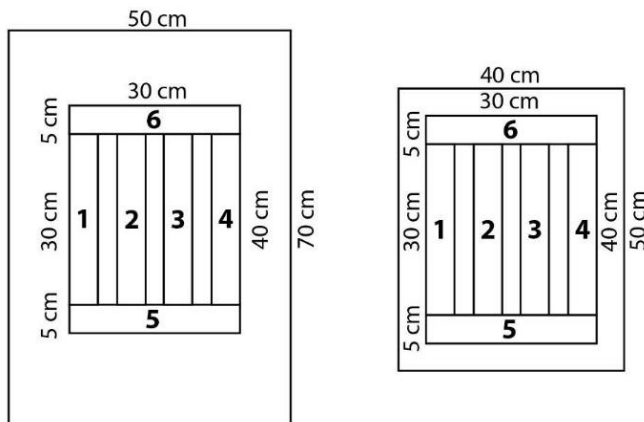
2.9. att. Visu šķiedru klājuma kārtu sagatavošana otrajai cauradatošanai.



2.10. att. Šķiedru klājuma kārtu sakārtošana otrajai cauradatošanai.

Paraugu izgatavošana neausto materiālu testēšanai un kompozītu veidošanai

Ar presi no katra NM parauga centra ir izcirstas sešas materiāla paraugu sloksnes, katras sloksnes izmērs – 5 cm × 30 cm. Atbilstoši abu kompozīciju NM paraugu slokšņu izcirstanas shēmām (2.11. att.), četras sloksnes (1.–4.) izcirstas paralēli mašīnas darba virzienam, divas (5.–6.) – perpendikulāri mašīnas darba virzienam.



2.11. att. Paraugu slokšņu izcirstanas shēma: pa kreisi – *Hemp_nw* NM kompozīcijas paraugam, pa labi – *Flax_nw* NM kompozīcijas paraugam.

Kompozīta izgatavošanas tehnoloģija

Materiāla struktūras uzbūvē vērā ņemta kompozīta izgatavošanas metode (termiskā presēšana, kas veikta *ITA* laboratorijā ar termisko presi *C Press*), jo gan virspusē, gan apakšpusē

novietota PLA polimēra šķiedru kārtā. NM termiski presējot, kūstošās PLA šķiedras aptver augu šķiedras un pasargā tās no tiešas saskares ar termiskās preses sildvirsmām. Iekārtas tehnoloģiskie parametri noteikti eksperimentāli, par pamatu ņemot iestatījumus, kas noteikti pētījumā *Development of Bio-composites for the Automotive Industry* (izstrādāts ITA [30]). Galīgi pieņemtie termiskās preses darba režīmi redzami 2.3. tabulā.

2.6. tabula

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

Pārbaužu metodes

Neausto materiālu un kompozītu paraugu ģeometrisko parametru noteikšana

Visas pētījuma gaitā izgatavotās abu kompozīciju (*Hemp_nw* un *Flax_nw*) NM paraugu sloksnes (arī tās, no kurām izgatavotas kompozītu sloksnes) 5 cm × 30 cm izmērā 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* [36]) – tekstilizstrādājumu, audumu standarts masas noteikšanai uz laukuma vienību, izmantojot maza izmēra paraugus.

Kaņepju/PLA un linu/PLA NM paraugu sloksnēm, kas izmantotas stiepes testam un visiem kompozītu paraugiem, biežums noteikts, ievērojot standartu *DIN EN ISO 9073-2:1995* (*ISO 9073-2:1995* [37]). Šis standarts regulē NM testa metodes, tai skaitā biežuma noteikšanu zem īpaša spiediena.

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

Neausto materiālu un kompozītu paraugu stiepes izturības pārbaude

NM un kompozītu paraugu stiepes izturības tests veikts Āhenes Reinas-Vestfāles Tehniskās universitātes Tekstila tehnoloģiju institūta (ITA) laboratorijā saskaņā ar standartu *DIN EN 29073-3:1992-08* (tekstilizstrādājumu – NM testa metodes: stiepes izturības un pagarinājuma noteikšana [38]). Stiepes tests veikts, izmantojot iekārtu Z2.5. Iekārta darbojas ar 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. Paraugi stiepes laikā pārbaudīti garenvirzienā ar nemainīgu pagarinājumu.

NM parauga sloksnes garums starp iespīlēšanas skavām ir 200 mm, paraugi stiepē pārbaudīti ar ātrumu 100 mm/min. Kompozītu parauga garums starp iespīlēšanas skavām ir 100 mm, paraugi stiepē pārbaudīti ar ātrumu 50 mm/min.

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* [39]). Pārbaudēs izmantoto kompozītu paraugu izmērs – 40 mm × 25 mm × biezums (atkarībā no kompozīcijas) mm. Trīs punktu lieces pārbaudē paraugi garenvirzienā novietoti uz diviem paralēliem adatas balstiem ar $r = 5$ mm. Slogojuma spēks pielikts no augšpuses pret parauga vidu, aizņemot $r = 5$ mm lielu virsmas laukumu. Paraugu pārbaudes sākotnējais slogojums – 0,1 MPa, pārbaudes deformācijas ātrums – 1 mm/1 min., 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.

Neausto materiālu skaņas absorbcijas pārbaude

Hemp_nw NM paraugiem veikta skaņas absorbcijas koeficienta un skaņas pārnesei 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 [40]). Mērījumos izmantota uzņēmuma “*Brüel & Kjær*” stāvviļņu iekārta (impedances caurule) *Type 4206T*, kas darbojas kopā ar programmatūru *PULSE™ Acoustic Material Testing software – Type 7758*.

Neausto materiālu un kompozītu kvalitātes novērtēšana

Hemp_nw NM, *Flax_nw* NM, *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītiem 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 raksturo papildu mehāniskās īpašības. *Hemp_nw* NM veiktā akustisko īpašību pārbaude raksturo materiāla piemērotību izmantošanai skaņas absorbcijā, tai skaitā izmantojot automašīnas salona detaļās.

Neausto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu apkopošanas metodika

Metodes, aprites cikla pētījuma mērķis, funkcionālā vienība

Šī pētījuma veikšanā izmantota dzīves jeb aprites cikla analīzes (*DCA*) metodoloģija, kas ir standartizēta procedūra, lai novērtētu piedāvāto produktu sistēmu ietekmi uz vidi [41]. Pētījums veikts saskaņā ar standartiem *ISO 14040:2006* [42] 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* datubāzi, kas nodrošina pilna aprēķina veikšanai nepieciešamos procesus datus. Datubāzē trūkstieši dati kombinēti no citu pētīnieku iepriekš veiktajiem pētījumiem, audzētāju sniegtajām intervijām un ievadīti manuāli. Kopējā

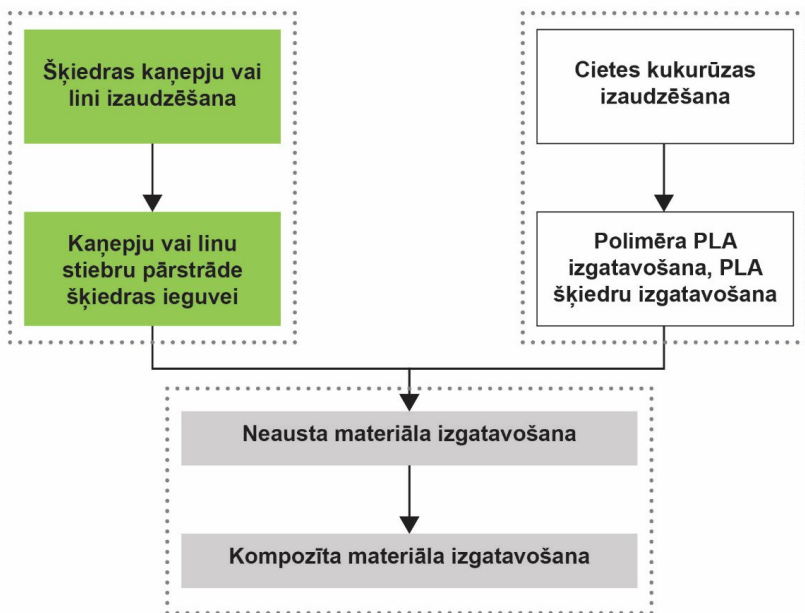
ietekme uz vidi tika novērtēta, izmantojot *CML-IA* bāzes līnijas (*CML-IA-baseline*) metodi [43]. Globālās sasilšanas potenciāls (GSP) 100 gadu ilgam periodam novērtēts ar *IPCC 2013 GWP 100a* metodi [44].

Aprites cikla pētījuma mērķis ir izpētīt produkta ražošanas cikla ietekmi uz vidi un novērtēt videi draudzīgākos kaņepāju un linu šķiedru audzēšanas alternatīvos scenārijus. Kaņepāju šķiedru audzēšanā izvērsti scenāriji, kas variē ar N mēslošanas devu 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).

Divu dažādu funkcionālo vienību noteikšana ļauj salīdzināt abu pētījumā izstrādāto kompozītu un tirgū esošo automašīnu bagāžas plaukta kompozītu ietekmi uz vidi. Funkcionālās vienības ietvaros visi kompozīti pielīdzināti gan pēc stiepes izturības – visiem kompozītiem pieņemot stiepes izturību 4,1 kN (atbilstoši tirgū esošā *Citroën C5* (2007) bagāžas plaukta izturībai), gan pēc biezuma 4,5 mm (tirgū esošā bagāžas plaukta biezums).

Aprites cikla sistēmas robežas un datu kvalitāte

Kaņepju/PLA un linu/PLA kompozītu *DCA* aprēķina salīdzināšanai lietota starpposma aprites cikla pieeja “*cradle to gate*”, t. i., no izejvielu iegūšanas (“šūpulis”) līdz gatavā produkta izvades no ražotnes (“vārtiem”) (2.12. att.). Šajās pētījuma robežās ietilpst vairāki 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.



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

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 izvēlētās kaņepāju un līnu šķiedras, kā arī matricai izvēlētais bioloģiski noārdošais PLA polimērs ir 100 % dabīgas izcelsmes izejvielas. Kaņepāji un līni ir ikgadēji iegūstami resursi. Gan kaņepāju, gan līnu šķiedru ieguve to augšanas laikā ir saistāma ar CO₂ piesaisti no apkārtējās vides.

Gan izvēlētās augu šķiedras, gan PLA polimēršķiedra ir piemērotas NM izgatavošanai ar mehānisko adatu cauradatošanas metodi. Mehāniskā adatu cauradatošana ir ātrražīga un 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 ārmalās 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 veicta blīvuma un virsmas blīvuma aprēķināšana un stiepes izturības noteikšana, kas uzskatāmas par standarta materiāla novērtēšanas metodēm. Kompozītiem veiktā trīs punktu lieces pārbaude papildus raksturo mehāniskās īpašības. *Hemp_nw* NM 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 lina 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

Neausto materiālu īpašību salīdzinošā analīze

Neausto materiālu salīdzinošā vizuālā analīze

PLA šķiedru klātbūtnes ietekmē abu kompozīciju NM iegūti gaišāki nekā katras augu šķiedras dabiskā krāsa (3.1. att. – *Hemp_nw* NM paraugi, 3.2. att. – *Flax_nw* NM paraugi). Paraugu virsmās redzami NM izgatavošanas laikā atstātās cauradatošanas adatu iedobes, kas izteikti redzamas tajā materiāla virsmā, ko cauršauj cauradatošanas iekārtas adatu plātnes. Pēc adatas atstātajām iedobēm abu NM paraugiem var noteikt virzienu, kādā sloksnes izcirstas – mašīnas vai perpendikulāri mašīnas darba virzienam.



3.1. att. *Hemp_nw-1* NM parauga sloksnes.

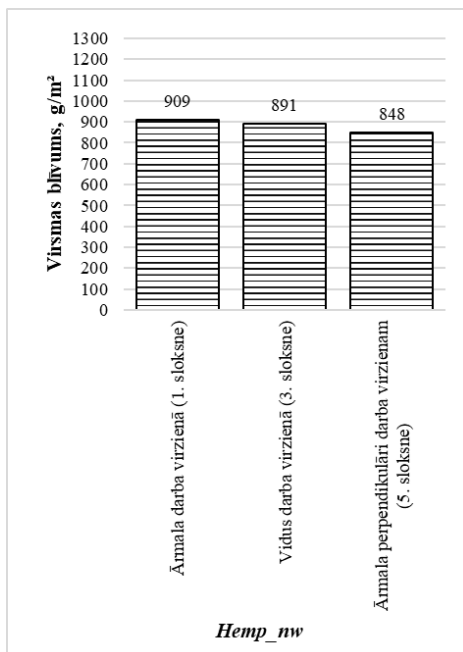


3.2. att. *Flax_nw-1* NM paraugu sloksnes.

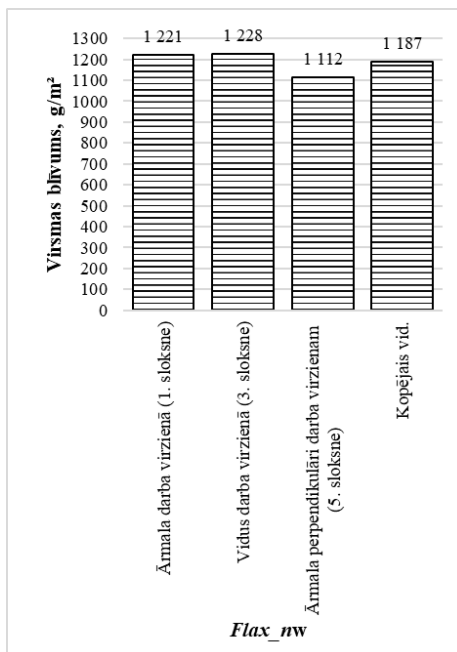
Neausto materiālu tehniskās īpašības

Saskaņā ar veiktajiem mērījumiem *Hemp_nw* paraugu sloksņu (50 mm × 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. 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. *Hemp_nw* NM ir plānāki (7,0–8,8 mm), un šķiedras ir ciešāk sasaistītas nekā līnu šķiedras saturošajā NM (13,6–14,9 mm).

Salīdzinot *Hemp_nw* NM blīvumu, atrasts, ka tas ir par ~ 28 % blīvāks (vidējais blīvums 108,3 kg/m³) nekā *Flax_nw* NM (vidējais blīvums 84,4 kg/m³). Salīdzinot virsmas blīvumu, novērojams, ka *Hemp_nw* NM (883 g/m²) ir par 35 % mazāks virsmas blīvums nekā *Flax_nw* NM (1187 g/m²). 3.3. 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 ārmaļā, bet arī to izgatavošanas darba virziens ir perpendikulārs mašīnas darba virzienam.



a)



b)

3.3. att. NM virsmas blīvuma atkarība no parauga izciršanas virziena: a) kaņepju un PLA šķiedras saturošais *Hemp_nw*; b) līnu un PLA šķiedras saturošais *Flax_nw*.

Neusto materiālu stiepes izturības īpašības

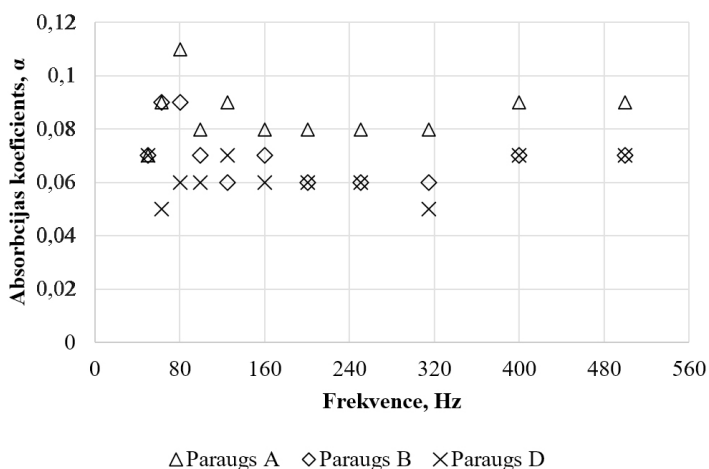
Abu NM izturības rādītājus ietekmē mašīnas darba virziens, kādā ir orientētas pārbaudītās paraugu sloksnes – mašīnas darba virzienā materiālam stiepes izturība ir augstāka. *Hemp_nw* NM paraugiem orientētiem mašīnas darba virzienā materiāla σ_{\max} variē amplitūdā 0,05–0,1 MPa, perpendikulāri mašīnas darba virzienam σ_{\max} variē 0,05–0,08 MPa. Stiepes izraisītais pagarinājums jeb materiāla $\varepsilon_{F_{\max}}$ paraugiem, kas orientēti mašīnas darba virzienā, variē ~ 29–39 % robežās, perpendikulāri mašīnas darba virzienam $\varepsilon_{F_{\max}}$ variē ~ 36–46 % robežās. *Flax_nw* NM paraugiem mašīnas darba virzienā σ_{\max} variē amplitūdā 0,03–0,07 MPa, perpendikulāri mašīnas darba virzienam σ_{\max} variē 0,04–0,05 MPa. Līnu/PLA NM materiāla pagarinājums paralēli mašīnas darba virzienam $\varepsilon_{F_{\max}}$ variē ~ 49–59 % robežās, perpendikulāri mašīnas darba virzienam $\varepsilon_{F_{\max}}$ variē ~ 40–47 % robežās.

Savstarpēji salīdzinot *Hemp_nw* NM un *Flax_nw* NM vidējās vērtības, augstāka sprieguma $\sigma_{\max \text{ vid}}$ un mazāks materiāla pagarinājums $\varepsilon_{F_{\max \text{ vid}}}$ 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* NM. Kaņepāju šķiedras saturošajai NM kompozīcijai materiāla pagarinājums $\varepsilon_{\text{vid } F_{\max}}$ ir ~ 36 % liels, un tas ir par 42 % mazāks nekā *Flax_nw* NM.

Neusto materiālu akustisko īpašību salīdzinoša analīze

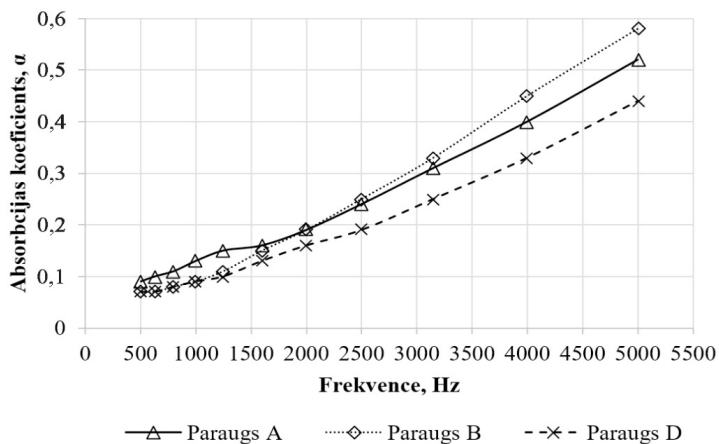
Mehāniskā adatu cauradatošanas metode nodrošina gaisa tukšumus NM struktūrā. Šiem gaisa ieslēgumiem ir pozitīva ietekme uz materiāla spēju izolēt skaņu. *Hemp_nw* NM paraugi *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_4* testēti 50–5000 Hz frekvenču joslā. Kā jau minēts iepriekš, automašīnās ir svarīga trokšņu absorbcija zemajās frekvencēs līdz 500 Hz, kas ir tuva skaņas starojumam no dzinēja, ieplūdes un izplūdes sistēmām. Otra izplatītākā trokšņu frekvenču josla ir 500–2000 Hz ar maksimumu pie 1000 Hz – riepu-ceļa troksnis. NM paraugiem *Hemp_nw_1*, *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_4* gandrīz visā zemo frekvenču amplitūdā (3.4. att., 3.1. tab.) 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 (3.5. att., 3.1. tab.). 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, pie frekvences 3150 Hz – D klasei. Nedaudz sliktāka ir paraugu *Hemp_nw_2* un *Hemp_nw_4* absorbcijas spēja.



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

NM demonstrē tendenci, ka, pieaugot skaņas frekvencei, pieaug skaņas absorbcijas koeficients (pieaug skaņas absorbcijas klase).



3.5. att. *Hemp_nw* paraugu absorbcijas koeficientu vērtības vidējas frekvences starojuma diapazonā.

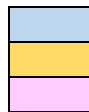
3.7. tabula

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	α	SPZK	α	SPZK
Frekvence (Hz)		(dB)		(dB)		(dB)
50	0,07	1,20	0,07	1,90	0,07	0,79
63	0,09	1,20	0,09	2,00	0,05	1,52
80	0,11	1,30	0,09	2,10	0,06	1,68
100	0,08	1,40	0,07	2,20	0,06	1,92
125	0,09	1,40	0,06	2,30	0,07	2,20
160	0,08	1,50	0,07	2,40	0,06	2,30
200	0,08	1,50	0,06	2,50	0,06	2,36
250	0,08	1,50	0,06	2,50	0,06	2,50
315	0,08	1,50	0,06	2,50	0,05	2,62
400	0,09	1,60	0,07	2,60	0,07	2,72
500	0,09	1,70	0,07	2,60	0,07	2,86
630	0,10	1,70	0,07	2,70	0,07	3,02
800	0,11	1,80	0,08	2,80	0,08	3,14
1000	0,13	1,70	0,09	2,80	0,09	3,16
1250	0,15	1,80	0,11	2,80	0,10	3,26
1600	0,16	2,00	0,15	2,90	0,13	3,50
2000	0,19	2,10	0,19	3,10	0,16	3,72
2500	0,24	2,20	0,25	3,20	0,19	3,94
3150	0,31	2,40	0,33	3,30	0,25	4,20
4000	0,40	2,50	0,45	3,50	0,33	4,50
5000	0,52	2,80	0,58	3,90	0,44	5,04

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

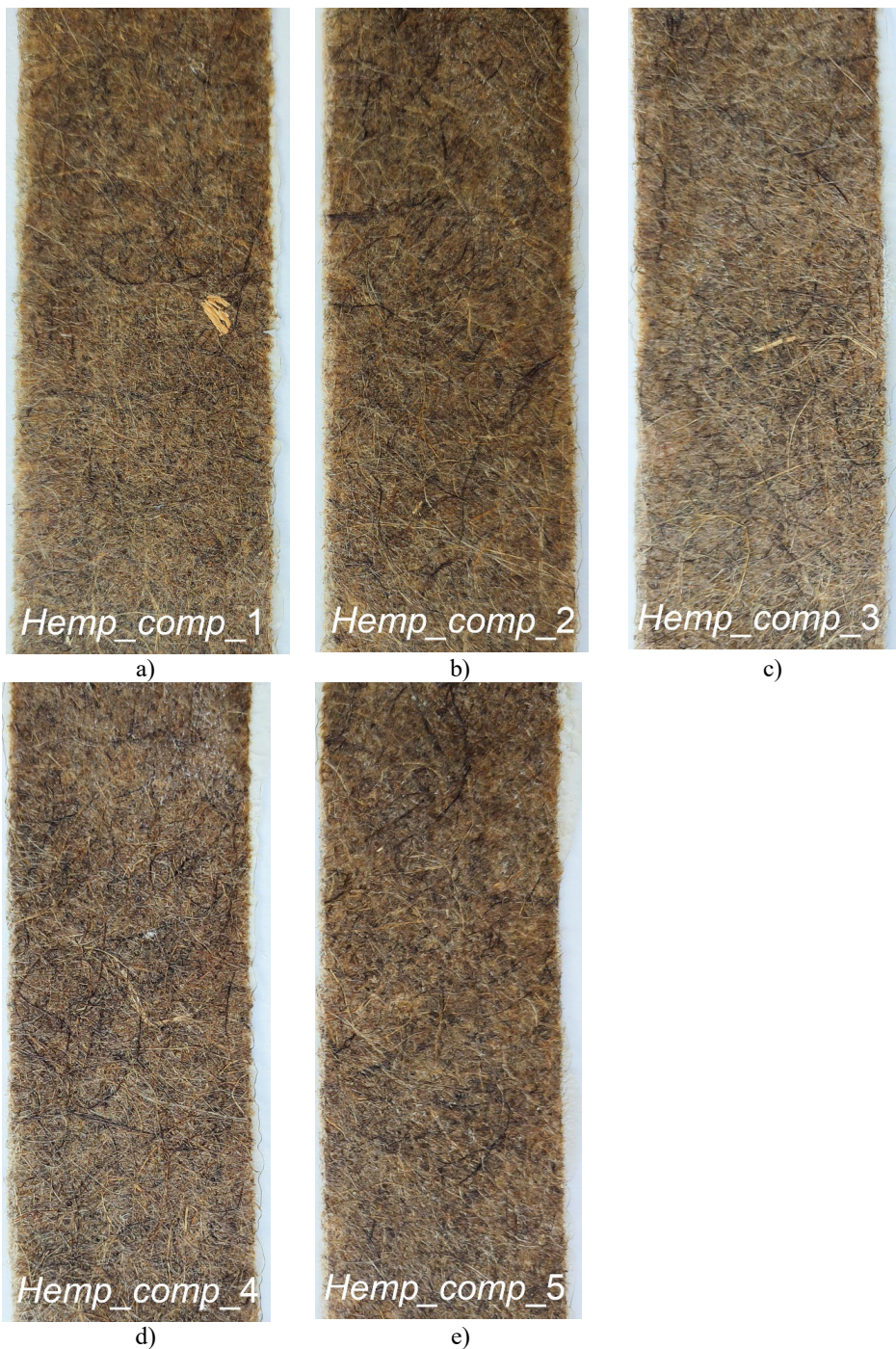
Kompozītu īpašību salīdzinošā analīze

Kompozītu salīdzinošā vizuālā analīze

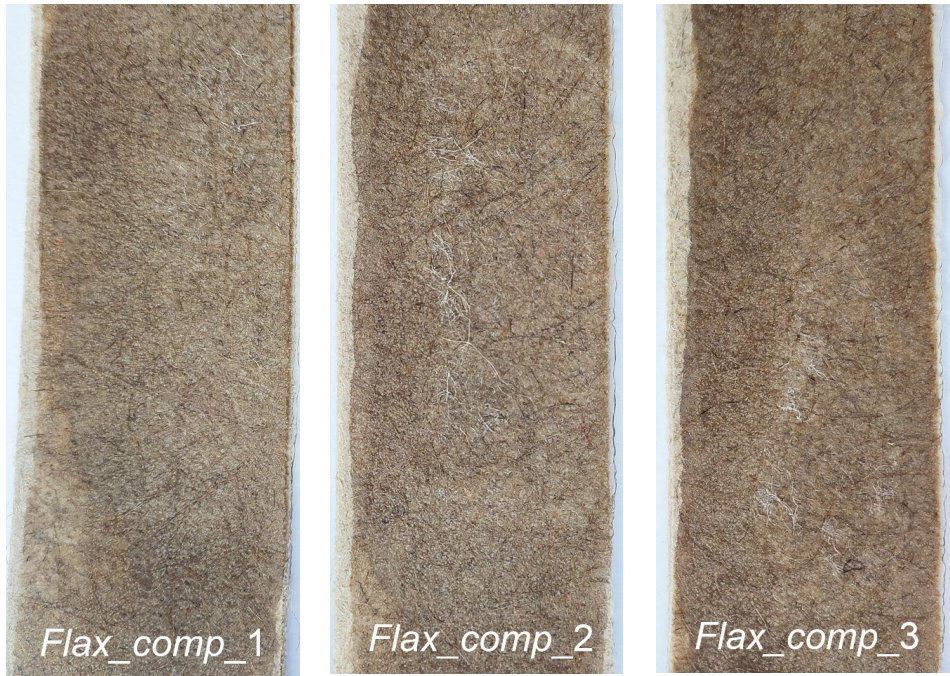
Abu kompozīciju kompozītu paraugi (3.6. att. – *Hemp_comp* kompozītu paraugi, 3.7. att. – *Flax_comp* kompozītu paraugi) pēc termiskās apstrādes (C presē) kļuvuši tumšāki (salīdzinot ar to pašu NM kompozīciju), pieņemot dabisko šķiedru krāsu. Termiskās apstrādes ietekmē PLA polimēra šķiedras pēc izkušanas veido caurspīdīgu masu.

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

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

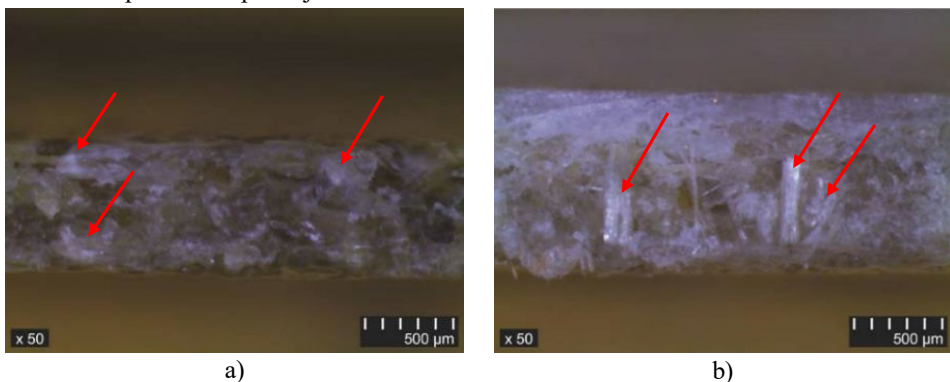


3.6. att. *Hemp_comp* kompozīta paraugu: a) *Hemp_comp_1*; b) *Hemp_comp_2*; c) *Hemp_comp_3*; d) *Hemp_comp_4*; e) *Hemp_comp_5* sloksnes.



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

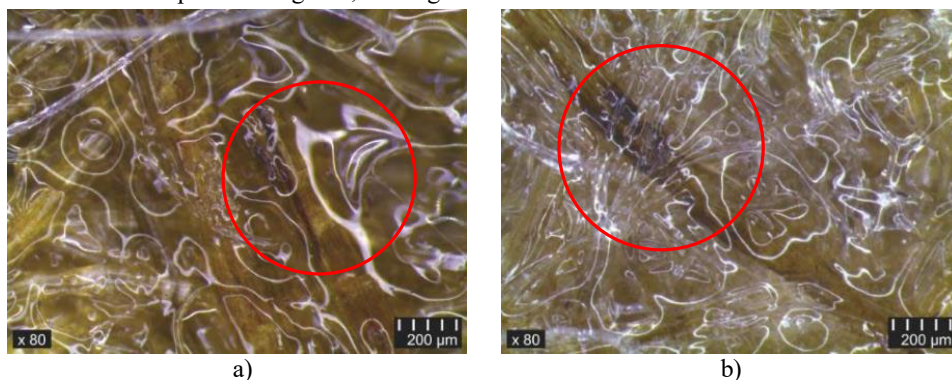
3.8. attēlā redzami abu kompozīciju kompozītu paraugu šķērs griezumi, kuros dažādās pozīcijās redzamas baltas zonas, ko veido pilnībā neizkusušais PLA. Neizkusušais PLA *Flax_comp* kompozīta šķērs griezumā ir saglabājis daļēji kristāliskāku struktūru, un tas to atšķir no otras kompozīta kompozīcijas.



a) b)
 3.8. att. Kompozītu šķērs griezumi: a) *Hemp_comp*; b) *Flax_comp* kompozīts.

200 μm optiskā mikroskopa palielinājumā gan uz kaņepāju, gan linu šķiedrām var novērot tumšākus plankumus (3.9. att.), ko varētu pieņemt par šķiedru defektiem. Tomēr tumšie

plankumi nav neparasta parādība. Tumšo plankumu izcelsmi var skaidrot arī ar augu šķiedru sastāvā esošo biopolimēru lignīnu, kas ir gaišdzelteni brūnā krāsā.



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

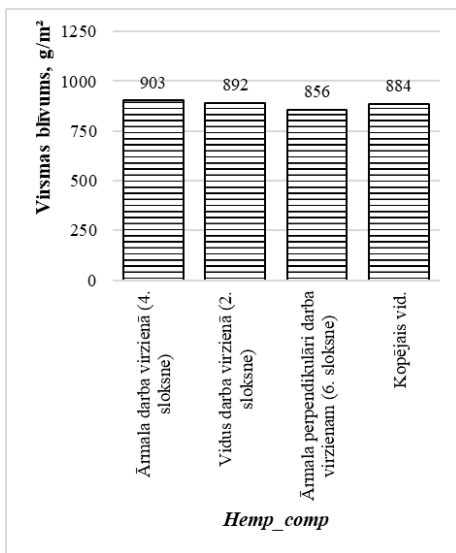
Kompozītu paraugu tehniskās īpašības

Saskaņā ar veiktajiem mērījumiem visu *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu paraugu sloksnes pēc termiskās presēšanas procesa saglabājušas vienādu platuma dimensiju, tā ir tāda pati kā NM sloksnēm – 50 mm. *Hemp_comp* kompozītu sloksnes garums variē 232–244 mm, *Flax_comp* kompozītu garums variē 233–242 mm.

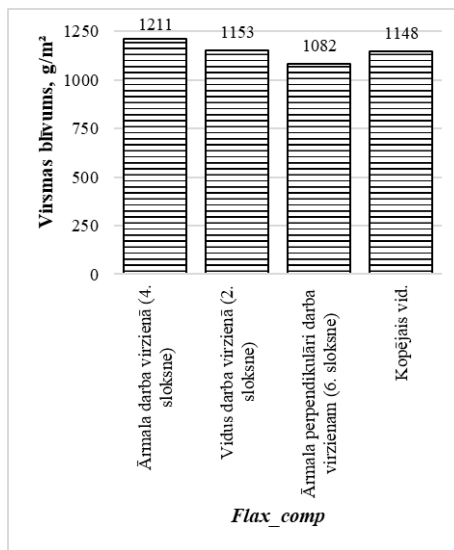
Hemp_comp kompozīti ir plānāki (1,3–1,6 mm) nekā *Flax_comp* kompozīti (1,7–1,9 mm).

Vidējās blīvuma vērtības abiem kompozītiem ir līdzīgas – *Hemp_comp* kompozīts ir par ~ 1 % blīvāks (vidējais blīvums 646,1 kg/m³) nekā *Flax_comp* kompozīts (vidējais blīvums 637,6 kg/m³).

Salīdzinot vidējo virsmas blīvuma vērtības (3. 10. att.), var novērot, ka *Hemp_comp* kompozītam (884 g/m²) tas ir par gandrīz 30 % mazāks nekā *Flax_comp* kompozītam (1148 g/m²). *Hemp_comp* kompozīta virsmas blīvums mašīnas darba virzienā ir par aptuveni 5 % lielāks, savukārt *Flax_comp* kompozīta gadījumā – par 12 % lielāks nekā paraugiem, kas izcirsti perpendikulāri mašīnas virzienam.



a)



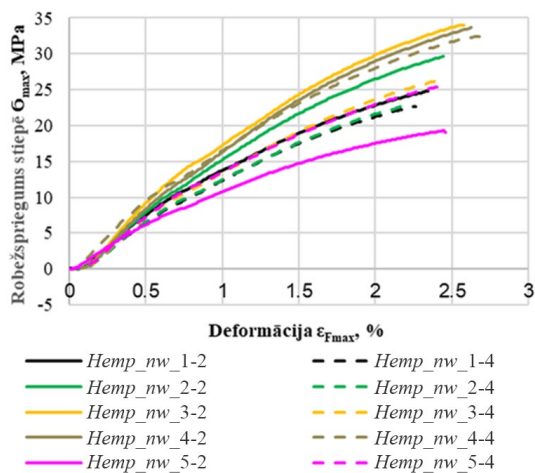
b)

3.10. att. Kompozītu virsmas blīvuma atkarība no sākotnēji izgatavotā NM parauga izcirkšanas virziena: a) *Hemp_comp*; b) *Flax_comp*.

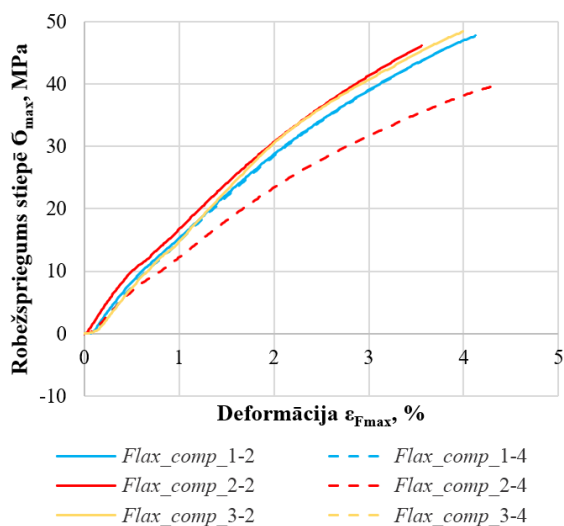
Salīdzinot ar NM vidējiem virsmas blīvuma rezultātiem, kaņepāji-PLA kompozīcijai starp NM un kompozītu vērtībām starpība ir mazāka par 1 %. Lielāka starpība ir starp lini-PLA kompozīcijas materiāliem – NM variācijai vidējais virsmas blīvums ir par 3 % augstāks nekā kompozītam.

Kompozītu stiepes izturības īpašības

Abu veidu kompozītiem stiepes izturība noteikta parauga sloksnēm, kas izcirkstas paralēli mašīnas darba virzienam. *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu paraugu sloksņu stiepes spriegumu-deformācijas līknes (3.11. un 3.12. att.) iedomāti sadalāmas elastīgas robežas, tecēšanas robežas un maksimālās izturības un galīgās stiepes izturības robežas 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. Par abu kompozīciju kompozītu tecēšanas robežu pieņemama katra materiāla σ_{\max} . *Hemp_comp* kompozītam stiepes izturība σ_{\max} variē amplitūdā 19,3–34,0 MPa, ar $\sigma_{\max \text{ vid}} = 27,1$ MPa. Stiepes izraisītais materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$ pagarinājums *Hemp_comp* kompozītam variē 2,2–2,7 % robežās ar $\epsilon_{F_{\max \text{ vid}}} = 2,45$ %. *Flax_comp* kompozītam stiepes izturība σ_{\max} variē 39,6–48,4 MPa amplitūdā, ar $\sigma_{\max \text{ vid}} = 45,2$ MPa. Stiepes izraisītais materiāla $\epsilon_{F_{\max}}$ pagarinājums variē 3,6–4,3 % amplitūdā ar $\epsilon_{F_{\max \text{ vid}}} = 3,91$ %.



3.11. att. *Hemp_comp* robežspriegums stiepē līdz materiāla sagrūšanai 2. un 4. sloksnei paraugos: *Hemp_comp_1*, *Hemp_comp_2*, *Hemp_comp_3*, *Hemp_comp_4* un *Hemp_comp_5*.



3.12. att. *Flax_comp* robežspriegums stiepē līdz materiāla sabrukumam 2. un 4. sloksnei paraugos: *Flax_comp_1*, *Flax_comp_2* un *Flax_comp_3*.

Tradicionāli izmantotie materiāli un metodes vieglās automašīnas tekstilmateriālu detaļu izgatavošanā

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

- 1) ciets, viengabalains (3.13. att.);
- 2) *roll up* (izvelkams) principa (3.14. att.).



3.13. att. Automašīnas *Citroën C5 Aircross* bagāžas nodalījums un bagāžas plaukts [45].



3.14. att. Automašīnas *BMW X6* bagāžas nodalījums un “roll up” bagāžas plaukts [46].

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, novērots, ka ASV biežāk izmanto PP, savukārt pārējā pasaulē – PET. Bagāžas plaukta izgatavošanā ASV tirgū izmantoto PP šķiedru lineārais blīvums variē 15–18 denjē, tā nodilumizturības prasības specifikācijā ir augstākas, savukārt Tālo Austrumu valstīs un Japānā, kur autobūvē izmantoto tekstilmateriālu, nodilumizturības prasības ir zemākas – izmanto PET šķiedras ar lineāro blīvumu 6 denjē [34]. Slodzi nesošās kārtas biezums variē ~ 3 mm, dekoratīvās kārtas biezums ~ 1,5 mm, kopējam virsmas blīvumam sasniedzot ~ 1250 g/m² [7].

Lai veiktu tālāku tirgū esošā bagāžas paneļa salīdzināšanu ar abiem promocijas darbā izstrādātajiem kompozītiem, ir izvēlēts bagāžas paneļa izmērs: 1000 mm × 500 mm. Tādējādi, lai izturētu 4,1 kN lielu spēku, *Hemp_comp* kompozīta nepieciešamais biezums ir 3,0 mm (jeb 32,8 % mazāk nekā tirgū esošajam paraugam), savukārt *Flax_comp* kompozītam nepieciešamais biezums būtu tikai 1,80 mm (jeb 59,6 % mazāk nekā tirgū esošajam paraugam). Pēc noteiktā nepieciešamā masas daudzuma vissmagākais ir tirgū esošais *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras bagāžas plaukts, *Hemp_comp* kompozīts ir vieglāks par 35,0 %, visvieglākais būtu *Flax_comp* kompozīts – 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* kompozītu paraugiem, tomēr pastāv bažas par šo abu materiālu stingrību. Šī iemesla dēļ kompozīti salīdzināti pēc biezuma, par salīdzinošo vērtību pieņemot 4,5 mm (vērtība, kas ir tuva tirgū esošā kompozīta biezumam) biezumu. Pie vienāda biezuma – 4,5 mm (3.2. tab.) – *Hemp_comp* kompozīta robežstiprība ir par 48,8 %, *Flax_comp* kompozīta robežstiprība – pat par 147,8 % augstāka nekā *PA66/GF*. Savukārt nepieciešamais masas apjoms 1000 mm × 500 mm × 4,5 mm paneļa izgatavošanai visiem trim kompozītiem mainās 3,2–4,5 % robežās.

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 konstatēts, ka pie vienāda materiāla biezuma *Flax_comp* kompozīta robežstiprība ir ievērojami augstāka nekā abiem pārējiem kompozītiem. Lai *Hemp_comp* un *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras kompozītiem robežstiprība būtu vienāda ar *Flax_comp* kompozīta robežstiprību (3.3. tab.), *Hemp_comp* kompozīta biezums jāpalielina par 66,5 % un *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras kompozīta biezums – par 147,8 % vairāk nekā *Flax_comp* kompozīta biezums. Kompozītu biezums panākams ar masas palielinājumu: *Hemp_comp* kompozīta svars ir par 68,6 % un *PA66* un 30 mas. % stikla šķiedras kompozīts par 159,4 % smagāks nekā *Flax_comp* kompozītam.

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

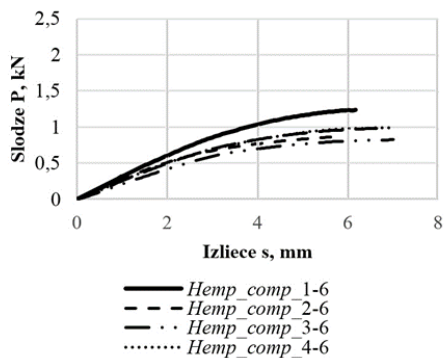
Promocijas darbā abi iegūtie kompozīti ir vieglāki pēc masas (vieglā masa ietaupa izejvielu apjomu, savukārt gatavā materiāla izmantošana autobūvē ļauj samazināt degvielas patēriņu) un izgatavoti no atjaunīgajiem resursiem, kas ir saskaņā ar Eiropas zaļo kursu.

Kompozītu trīs punktu lieces īpašības

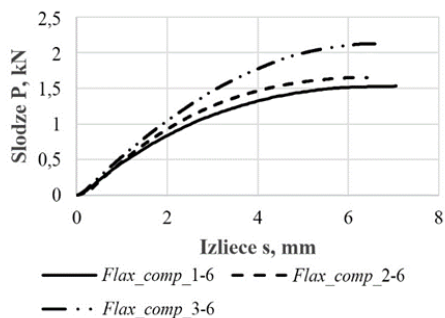
Trīs punktu lieces izturību ietekmējošs raksturlielums – testējamā parauga vidējais šķērsriezuma laukums – *Flax_comp* kompozītam ir par 33 % lielāks nekā *Hemp_comp* kompozītam. *Flax_comp* kompozīta lieces pretestības pārsvars pār *Hemp_comp* kompozītu ir 81 %.

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

Trīs punktu lieces slodzes un izlieces līkņu diagrammas redzamas 3.15. attēlā. Salīdzinot izlieces deformāciju, abu kompozīciju kompozīti uzrāda līdzvērtīgu rezultātu ~ 6 mm. *Hemp_comp* kompozīta izliece iegūta ~ 0,8–1,2 kN lielas slodzes amplitūdā. *Flax_comp* kompozītam ~ 6 mm liela deformācija iegūta pie 1,5–2,1 kN lielas slodzes.



a)



b)

3.15. att. Kompozītu sloģošanas 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*.

Neausto materiālu un kompozītu izgatavošanas orientējošas izmaksas

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 galaprodukts iegūstams, uztīts uz ruļļa, un tā malas apgriežamas. Kompozītu izgatavošanai iepriekš minētā ražošanas līnija papildināma ar kalandra iekārtu.

Pētījuma gaitā aprēķināta NM un kompozīta pašizmaksa, šo aprēķinu ieejas dati apkopoti 3.4. tabulā.

3.10. tabula

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

3.4. tabulas turpinājums

Nosaukums	Parametrs kaņepāju kompozīcijām	Parametrs linu kompozīcijām
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums, strādājot vienā maiņā (tk. m/gadā)	104,3	99,6
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums, strādājot divās maiņās, (tk. m/gadā)	208,7	199,3
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums, strādājot vienā maiņā (tk. m ² /gadā)	244,2	233,2
Ražošanas līnijas produkta izlaides ātrums, strādājot divās maiņās (tk. m ² /gadā)	488,3	466,3
Līnijas jauda (kW)	117,5	117,5
Līnijas elektroenerģijas patēriņš (kW/h (veido 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 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

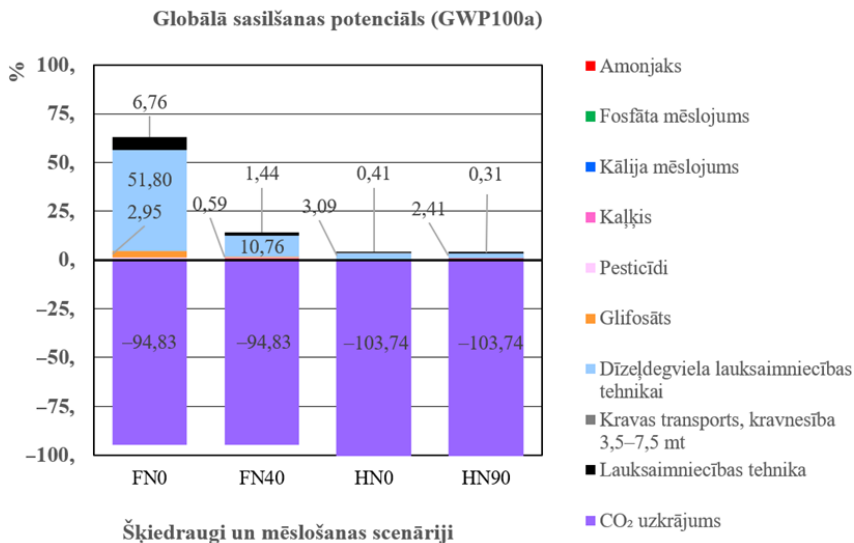
Salīdzinot NM pašizmaksu vienas kompozīcijas ietvaros, atkarībā no tā, vai tas saražots vienā vai divās maiņās ir minimāla. Caurdatota 26,0 mm bieza (108,3 kg/m³) *Hemp_nw* NM orientējošā pašizmaksas, ražojot vienā maiņā, ir 13,03 EUR/m², ražojot divās maiņās, pašizmaksa ir par 4 % lētāka – 12,51 EUR/m². Salīdzinājumam – caurdatota 35,0 mm bieza (84,4 kg/m³) *Flax_nw* NM orientējošā pašizmaksa, ražojot vienā maiņā, ir 14,84 EUR/m², ražojot divās maiņās, pašizmaksa ir par ~ 5 % lētāka – 15,53 EUR/m². Jāņem vērā tas, ka linu šķiedras saturošās kompozīcijas izgatavošanai uz 1 m² NM tiek izmantots par gandrīz 2 % mazāk materiāla.

Salīdzinot kompozītu 1 m² pašizmaksu, *Flax_comp* (15,18 EUR/m², kas saražots divās maiņās) ir gandrīz par 18 % dārgāks nekā *Hemp_comp* (12,66 EUR/m², ražojot to divās maiņās).

Neausto materiālu un kompozītu aprites cikla inventarizācijas datu analīzes rezultāti

Kaņepju un linu audzēšanas ietekme uz vidi

CML grafikā (3.16. att.) atspoguļoti emisiju avoti uz GSP kaņepju (mēslošanas scenāriji HN0 un HN90) un linu (mēslošanas scenāriji FN0 un FN40) audzēšanā. Kaņepju audzēšanā HN0 mēslošanas scenārijā galvenie kaitīgo vielu emisiju avoti ir dīzeļdegviela un to patērējošās lauksaimniecības tehnikas izmantošana. HN90 mēslošanas scenārijā iepriekš minēto emisiju avotu papildina amonjaka emisija, ko izraisa minerālmēslojuma izmantošana. Abos kaņepju audzēšanas gadījumos iepriekš minētās emisijas ievērojami pārspēj lielais CO₂ uzkrājums, kas ir – 96 % no kopējām ietekmēm abos mēslošanas scenārijos.



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

Linu audzēšanas gadījumā galvenie emisiju avoti FN0 mēslojuma scenārijā ir dīzeļdegviela un to patērējošā lauksaimniecības tehnika, kā arī pesticīdu un herbicīdu izmantošana. FN0 mēslošanas scenārijā CO₂ uzkrājums ir gandrīz –66 % no šī scenārija kopējām vides ietekmēm. Palielinoties mēslojuma normai (FN40 mēslošanas scenārijā), 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 1,5 %. FN40 scenārijā novērojama CO₂ uzkrājuma palielināšanos līdz –83 %, kas linu gadījumā atspoguļo mēslošanas lietderību.

Gan kaņepju, gan linu zaļās masas ražas pieaugums no laukuma vienības apliecina N mēslojuma lietderību. Ir izvērtējams ražas ekonomiskais ieguvums, ņemot vērā emisiju, kas rodas mēslojuma un lauka operāciju dēļ, ietekmi uz vidi.

Kompozītu izgatavošanas ietekme uz vidi

Ietekme uz vidi no kompozīta ražošanas viedokļa aplūkota, 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, tas ir proporcionāls tam, kādas novēro šo abu kompozīciju NM ražošanā. *Hemp_comp* HN0 kompozīta ietekme uz vidi no ražošanas procesa skatpunkta ir mazāka nekā *Flax_comp* FN0 kompozītam, izņēmums ir ietekme uz *GSP*. Abu kompozītu ražošanas procesi veido ietekmi, kas rodas NM ražošanas procesā (galvenokārt visa ietekme) un kompozīta izgatavošanai izmantotā elektroenerģijas patēriņā (veido mazāk nekā 1 % *Hemp_comp* HN90 kompozīta un nedaudz virs 1 % *Flax_comp* FN40 kompozīta gadījumā).

Promocijas darbā izstrādāto *Hemp_comp* un *Flax_comp* kompozītu un tirgū esošā *PA66/GF* kompozītu gadījumā lielāka ietekme uz vidi (3.17. att.) novērojama otrās funkcionālās vienības (kompozītu biezums 4,5 mm) apskatītajām kompozītu variācijām. Pirmās funkcionālās vienības kompozītiem tikai *PA66/GF* variācijas kompozīta biezums ir 4,5 mm, pārējiem abiem kompozītiem tas ir mazāks, tāpēc arī izmantojamais šķiedru apjoms un ar to iegūšanu saistīto emisiju ietekme uz vidi ir mazāka. Lai sasniegtu izvēlētais izturības sliekšni, katra kompozīta izgatavošanai ir nepieciešams atšķirīgs izejvielu daudzums. Atšķirība starp mazāko un lielāko nepieciešamo šķiedru apjomu ir 61 %. Pie *GSP* izteikti vismazāko ietekmi novēro *Flax_comp* 4,1 kN (1,8 mm) (0,7 kg CO₂ ekv.) kompozītam, kas ir 2,4 reizes mazāk nekā *Hemp_comp* 4,1 kN (3,0 mm) kompozītam, savukārt vislielāko ietekmi rada *PA66/GF* kompozīts ar 13,7 kg CO₂ ekv. (kas ir par gandrīz 20 reizi vairāk nekā novērotās mazākās ietekmes *Flax_comp* kompozītam). Pētot abiotisko izsīkšanu, visiem trim kompozītiem novēro līdzīgu ietekmi, un tā variē 7,08E-06–78E-06 kg Sb ekv. amplitūdā.

Ir izvērtējama *Hemp_comp* kompozīta biezuma 3,0 mm nodrošinātā formas noturība pret salīdzinoši plānākā 1,8 mm *Flax_comp* kompozīta mazākajām ietekmēm uz vides dažādajām kategorijām (piemēram, globālo sasilšanas potenciālu, ozona slāņa noārdīšanos, paskābināšanos, toksicitāti cilvēkiem, sauszemes, saldūdens ūdens un jūras ūdens ekotoksicitāti).

Trešās nodaļas kopsavilkums

Kaņepāji-PLA un lini-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 kompozītu virsmas blīvums ir mazāks nekā tradicionāli pieņemtajai bagāžas plaukta dekoratīvajai un slodzi nesošajām kārtām kopā (~ 1250 g/m²). Salīdzinājumam, kaņepāji-PLA kompozīcijas materiāliem virsmas blīvums ir par 29 % mazāks nekā tradicionāli pieņemtajam bagāžas plaukta materiālam jeb NM – 883 g/m², kompozītam – 884 g/m². Lini-PLA kompozīcijas materiālam virsmas blīvums ir par 5–8 % mazāks jeb NM – 1187 g/m², kompozītam – 1148 g/m².

50–2000 Hz ir frekvences izolācijas apgabals, kas vislabāk raksturo izstrādātā *Hemp_nw* NM akustisko veiktspēju, pilnībā ietverot arī automašīnā dominējošo trokšņu frekvenču amplitūdu, kas ir 1000 Hz, un dzinēja trokšņus, kas ir frekvenču amplitūdā zem 500 Hz.

Salīdzinot ar tirgū esošā bagāžas plaukta materiāla, kas izgatavots no poliamīda 66 un 30 mas. % stikla šķiedras, konstatēto robežspriegumu, *Hemp_comp* kompozītam tas ir ~ 1,5 reizes augstāks (27,1 MPa), savukārt *Flax_comp* kompozītam tas ir ~ 2,5 reizes augstāks (45,2 MPa). *Flax_comp* kompozīts uzrāda augstākus rezultātus arī trīs punktu lieces izturībā, kur vidējā lieces robežstiprība ir 1,0 MPa, un tā ir 1,9 reizes augstāka nekā *Hemp_comp* kompozītam (0,5 MPa).

Abu kompozīciju gadījumā lētāka materiālu pašizmaksa ir tad, ja to ražošana tiek organizēta divās maiņās, taču 1 m² *Flax_nw* NM pašizmaksa (14,84 EUR/m²) ir gandrīz par 17 % dārgāka nekā *Hemp_nw* NM (12,51 EUR/m²). 1 m² *Hemp_comp* kompozīta pašizmaksa (12,66 EUR/m²) ir gandrīz par 18 % lētāka nekā *Flax_comp* kompozītam (15,18 EUR/m²).

N mēslojuma lietošana demonstrē gan kaņepju, gan linu zaļās masas ražas pieaugumu no laukuma vienības. Linu maksimālā mēslojuma scenārijā ievērojami samazinās kopējais emisijas apjoms uz linu ražas vienību.

Starp abām apskatītajām funkcionālajām vienībām mazāka ietekme uz vidi novērojama kompozītu variācijām pie pirmās funkcionālās vienības. Šajā gadījumā kompozīta biežums ir atkarīgs no stiepes izturības robežsprieguma 4,1 kN. Gan *Hemp_comp*, gan *Lini_comp* kompozīti tirgū esošā pārseguma panelim pārbaudīto robežspriegumu sasniedz pie ievērojami mazāka materiāla biežuma nekā 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 ($\epsilon_{\text{vid Fmax}} = \sim 36 \%$).
- 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 $\sim 1,5$ 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 neatjaunīgiem 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 atjaunīgiem 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 neatjaunīgiem 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 izlikties. Bagāžas plaukta vai cita plāksņveida izstrādājuma formas noturības pastiprināšanai projektēšanas gaitā iespējams 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, savukārt to mehāniskā izturība neapšaubāmi pieaugtu.
- *Hemp_nw* NM akustikas īpašības vidējā frekvenču amplitūdā ir iespējams uzlabot, laminējot materiāla ārējās virsmas, piemēram, ar gatavajiem uzņēmuma *Tex Tech* polimēra pārklājumiem [47] (paredzēti konkrētu īpašību uzlabošanai, tai skaitā trokšņa slāpēšanai), kombinējot materiālu vairākās kārtās.
- PLA šķiedru saražošana ir energoietilpīga, tāpēc lini-PLA un kaņepāji-PLA maisījumu kompozītu potenciāls samazināt CO₂ pēdas var pieaugt, vai nu padarot videi draudzīgāku PLA šķiedru ieguves procesu, vai arī PLA šķiedras aizvietojo ar mazāk energoietilpīgām biopolimēru šķiedrām.
- *Hemp_nw* NM, *Flax_nw* NM, *Hemp_comp*, *Flax_comp* un kompozītus var integrēt ne tikai automašīnas salona detaļu uzbūvē, bet arī ēkas interjera apdares materiālos, piemēram, griestu plāksnēs, sienu paneļos, nodalošajās starpsienās. Saliekot kompozītus vairākās kārtās, 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 skolēniem, studentiem). 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* kompozītus, integrējot gan automašīnas salona detaļās, gan ēkas interjera apdares materiālos, nepieciešams aplūkot iespēju PLA polimēra šķiedrām pievienot pigmentus. Pievienojot PLA polimēram pigmentu, termopresēšanas 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. 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>.
11. 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>.

12. 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).

13. Bosch, R. *Bosch Automotive Handbook*, 6th ed. Lincoln: Professional Engineering Publishing, 2004. ISBN 13: 9781860584749.

14. 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>.

15. 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>.

16. Sponner, 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>.

17. 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>.

18. Soliženko, Rita. *Kaņepju šķiedru īpašības un izmantošanas iespējas polimēru kompozītos*. Maģistra darbs. Rīga: [RTU], 2012. 104 lpp.

19. 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>.

20. 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/mstet.2013.016.

21. 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.

22. Alibaba.com. *PLA fiber* [online]. *Alibaba.com*, 2018 [accessed 8 Augusts 2018]. Available from: <https://www.alibaba.com/showroom/pla-fiber.html>.

23. 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>.

24. 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.

25. Crompton, T. R. *Physical Testing of Plastic*. Shawbury: Smithers Rapra Technology, 2012, 404 p. ISBN 978-1847354853.

26. Mohanty, A. K., Misra, M. and Drzal, L. T. Natural Fibres, Biopolymers, and Biocomposites. **In:** Mohanty, A. K., Misra, M. and Drzal, L. T. *Natural Fibres, Biopolymers, and Biocomposites*. 1st Edition. Abingdon: Taylor & Francis, 2005, pp. 15–50. Available from: doi: 10.1201/9780203508206.

27. 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.

28. Tripathi, D. *Practical Guide to Polypropylene*. Shawbury: Smithers Rapra Press, 2002, 104 p.
29. 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>.
30. Ramaswamy, S. (Institut für Textiltechnik of ITA RWCH Aachen University, Aachen, North Rhine-Westphalia, Germany). Personal communication, 2013.
31. Hargitai, H., Rácz, L., Anandjiwala, R. D. Development of HEMP fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, pp. 165–174, 21 (2), 2008.
32. BaFa Neu GmbH. [Hanf-Industrieprodukte](https://www.bafa-gmbh.de) [online]. *bafa-gmbh.de*, 2014 [accessed 26 June 2022]. Available from: <https://bafa-gmbh.de/Produkte-Industrieprodukte.asp>.
33. Sheikh, H. R. Modernisation option for conventional Blow Rooms. *Pakistan Textile Journal*, No. 9, 2003.
34. 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>.
35. Tornado-tex.de. *Second-hand Nonwoven and Textile Machines* [online]. *Tornado-tex.de*, 2017 [accessed 17 March 2017]. Available from: <http://www.tornado-tex.de/textile-machines-second-hand/needle-loom-laboratory.html>.
36. LVS EN 12127:2001. *Tekstilzstrādājumi - Audumi - Masas noteikšana uz laukuma vienību, lietojot mazus paraugus*. Latvijas valsts standarts LVS/STK/000 Standartizācijas nodaļa. Rīga, 2001. gada 29. marts.
37. ISO 9073-2:1995. *Textiles – Test methods for nonwovens – Part 2: Determination of thickness*. ISO Standards, 5 p., March 1995.
38. 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.
39. LVS EN ISO 14125:2001 – *Ar šķiedru stiprināti plastmasas kompozīti – Lieces īpašību noteikšana*, Latvijas Standarts, Rīga, Apr. 30, 2001.
40. 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.
41. 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: [doi:10.2478/rtuect-2020-0114](https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0114). e-ISSN 2255-8837.
42. 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>.
43. 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.
44. 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.
45. 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/>.
46. NetCarShow.com *BMW X6* [online]. *NetCarShow.com*, 2009 [accessed 12 October 2013]. Available from: https://www.netcarshow.com/bmw/2009-x6_uk_version/#2.
47. Textechindustries.com. *Coating and Lamination* [online]. Textechindustries.com, 2022 [accessed 1 January 2023]. Available from: <https://textechindustries.com/capabilities/coating-technology/>.



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.