

Ērika Teirumnieka

KAŅEPJU ATTĪSTĪBAS ILGTSPĒJA ENERĢĒTIKĀ UN CITĀS TAUTSAIMNIECĪBAS NOZARĒS

Promocijas darbs



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte

Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Ērika Teirumnieka

Doktora studiju programmas “Vides inženierija” doktorante

**KANĒPJU ATTĪSTĪBAS ILGTSPĒJA
ENERGĒTIKĀ UN CITĀS
TAUTSAIMNIECĪBAS NOZARĒS**

Promocijas darbs

Zinātniskā vadītāja

profesore *Dr. habil. sc. ing.*

DAGNIJA BLUMBERGA

RTU Izdevniecība

Rīga 2023

ANOTĀCIJA

Teirumnieka Ē. Kaņepju attīstības ilgtspēja enerģētikā un citās tautsaimniecības nozarēs: promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2023.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 77 attēli, 20 tabulu, 16 formulu, kopā 165 lappuses. Literatūras sarakstā 184 nosaukumi.

Promocijas darbs ir izstrādāts Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā laika posmā no 2018. gada līdz 2022.gadam.

Darba mērķis – analizēt faktorus kaņepju produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, eksperimentāli noteikt sējas kaņepju (*Cannabis sativa L.*) ilgtspējīgai audzēšanai nepieciešamos apstākļus Latvijā, ņemot vērā klimata pārmaiņas, un pamatot ilgtspējīgu kaņepju izmantošanu mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos, kombinējot datu analīzes metodes.

Mērķa sasniegšanai tika definēti šādi uzdevumi:

- 1) veikt lauka pētījumu datu analīzi dažādu sējas kaņepju šķirņu ražības noteikšanai atkarībā no klimatiskajiem faktoriem, lai noteiktu Latvijas apstākļiem vispiemērotākās sējas kaņepju šķirnes noteikta produkta iegūšanai (sēklas, šķiedra, spaļi);
- 2) noteikt agrotehnoloģisko rādītāju efektivitāti (izsējas norma un slāpekļa mēslojuma deva) ilgtspējīgai sējas kaņepju audzēšanai, orientējoties uz noteikta produkta iegūšanu;
- 3) izpētīt kaņepju produktu daudzveidību un to pārstrādes tehnoloģijas, lai identificētu ilgtspējas indikatorus vislabākās kaņepju lietošanas alternatīvas noteikšanai;
- 4) izvērtēt slāpekļa mēslojuma noplūdes izraisīto ūdensaugu, konkrēti niedru, izmantošanas lietderību bioekonomikā;
- 5) laboratorijas apstākļos eksperimentāli izstrādāt kaņepju produktus ar augstāku pievienoto vērtību, lai, balstoties konkrētos pilotrisinājumos, pierādītu kaņepes kā izejvielas potenciālu arī Latvijas apstākļos;

- 6) izmantojot datu un ilgtspējas kritēriju analīzi, kombinējot regresijas analīzes, dzīves aprite cikla un daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodes, parādīt kaņepju un niedru izmantošanas lietderību noteiktos vides, ekonomiskajos un ģeopolitikas apstākļos.

Promocijas darba **ievadā** aprakstīta tēmas aktualitāte, zinātniskā novitāte, definēts pētījuma mērķis un uzdevumi, sniegta informācija par pētījuma metodiku, darba struktūru, pētījuma praktisko nozīmi un tā aprobāciju.

Pirmajā nodaļā ir atspoguļoti dažādu šķirņu sējas kaņepju (*Cannabis sativa L.*) audzēšanas lauka pētījumu rezultāti, kas veikti piecus gadus četrām sējas kaņepju šķirnēm, no kurām divas paredzētas kaņepju sēklu iegūšanai, divas – kaņepju šķiedru un spaļu iegūšanai. Identificēta vispiemērotākā šķirne audzēšanai Austrumlatvijā mainīgos klimatiskajos apstākļos. Veicot kaņepju izsējas normas un slāpekļa minerālmēslojuma devas ietekmes uz kaņepju ražu datu regresijas analīzi, iegūti empīriskie vienādojumi, kas izmantojami agrotehnoloģisko parametru noteikšanai konkrētu kaņepju produktu iegūšanai (sēklas, šķiedra, spaļi). Uzskatāmi pierādīta slāpekļa (N) mēslojuma izmantošanas efektivitāte kaņepju audzēšanā. Vairākkārtīgi samazinot izmantotā slāpekļa mēslojuma devas, var mazināt slāpekļa (I) oksīda (N_2O) emisijas no lauksaimniecības sektora, tādā veidā veicinot klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu lauksaimniecības sektorā, nemainot īpatnējo ražas apjomu.

Otrā nodaļā ietver literatūras apskatu par sējas kaņepes saturošo produktu daudzveidību un to ražošanas tehnoloģijām. Balstoties uz literatūras datiem, ir veikta produktu un tehnoloģiju izvērtēšana, uz kuras pamata tika izvēlēti indikatori un alternatīvas turpmākai analīzei.

Trešajā nodaļā aprakstīti laboratorijas apstākļos iegūtie kaņepes saturošo izstrādājumu pilotrisinājumi – kaņepju materiālu saturošais kompozītmateriāls un kaņepju betons. Ietverta informācija par produktu izgatavošanu, to īpašībām un iespējamo apstrādi.

Lauku pārmēslošanas rezultātā notiek barības vielu noplūde dabiskajā vidē, kas veicina biomasas strauju attīstību tajā. **Ceturtajā nodaļā** ir izvērtēta kaņepju un niedru izmantošana, kombinējot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas un dzīves cikla analīzes metodes. Aprakstīta izstrādātā metodoloģija agrotehnoloģisko un ilgtspējas kritēriju un datu analīžu metožu kombinēšanai, lai efektīvāk izmantotu kaņepju produktus mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitikajos apstākļos. Darba noslēgumā ietverti secinājumi.

ANNOTATION

Teirumnieka Ē. Sustainability of Hemp Use in Energy and Other Economic Sectors: Doctoral Thesis for the promotion to the scientific degree Doctoral of Science. Riga: Riga Technical University, 2023. The Doctoral Thesis has been written in Latvian. It is consisted of Introduction, 4 chapters, conclusions, bibliography, appendix, 77 figures, 20 tables, 16 formulas; the total number of pages is 165. The bibliography contains 184 titles.

The Doctoral Thesis is developed in the Riga Technical University, Faculty of Electrical and Environmental Engineering, Institute of Energy Systems and Environment from 2018 until 2022.

The aim of the Thesis is analysis of the factors for production of hemp products having high added value to demonstrate experimentally the required conditions for sustainable cultivation of hemp (*Cannabis sativa L.*) in Latvia taking into consideration the climate change and, by combining data analysis methods, to justify sustainable use of hemp under changing environmental, economic and geopolitical conditions.

In order to achieve this aim, the following objectives were set:

1. To carry out field studies for determination of productivity of different varieties of hemp depending on the climatic factors in order to determine the most suitable varieties of hemp for the acquisition of a particular type of product for Latvian conditions (seed, fiber, shives).
2. To identify the efficiency of agrotechnological indicators: the seeding rate and the dose of nitrogen fertilizer, with a focus on obtaining a specific product for sustainable cultivation of hemp.
3. To explore the diversity of hemp products and their recycling technologies in order to identify sustainability indicators for identification of the best alternative for hemp use.
4. To evaluate usefulness of bioeconomic use of aquatic plants, reeds in particular, created by leakage of nitrogen fertilizers.
5. Experimental development of hemp products with higher added value under laboratory conditions in order to demonstrate the potential of hemp as a raw material also in the conditions of Latvia, based on specific pilot solutions.

6. By means of analysis of data and sustainability criteria, combining regression analysis, life circulation cycle and multi-criteria decision-making methods to demonstrate the usefulness of hemp and reed application under certain environmental, economic and geopolitical conditions.

The introduction of the Doctoral Thesis describes the Topicality of the subject, scientific novelty, defines the purpose and tasks of the research, provides information about the research methodology, the structure of the thesis, studied the practical significance and its approbation.

The first chapter presents the results of field studies of different varieties of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*), conducted over five years for four varieties of industrial hemp, two of which are intended for the production of hemp seeds, two for the production of hemp fibers and shives. The most suitable variety for growing in Eastern Latvia in changing climatic conditions has been identified. By carrying out the regression analysis of the influence of the hemp seeding rate and the dose of nitrogen mineral fertilizer on the hemp yield data, empirical equations were obtained, which can be used to determine the agrotechnological parameters for the production of a specific hemp product (seeds, fiber, shives). The excessive use of nitrogen fertilizers against the achieved yield increase is considered to be proven. By repeatedly reducing the doses of applied nitrogen (N) additional fertilizer, nitrogen (I) oxide N_2O emissions from the agricultural sector can be reduced, thus promoting the achievement of climate neutrality goals in the agricultural sector, without changing the specific volume of the harvest.

The second chapter includes a literature review on the variety of seed hemp products and their production technologies. Based on literature data, an evaluation of products and technologies has been carried out, indicators and alternatives were chosen for their further analysis.

The third chapter describes pilot solutions of hemp-containing products obtained in laboratory conditions - composite material containing hemp material and hemp concrete. Contains information about the manufacture of the products, their properties and possible processing.

As a result of fertilizing fields, nutrients leak into the natural environment, which contributes to the rapid development of biomass in it. **The fourth chapter** covers the evaluation of the use of hemp and reed, combining multi-criteria decision making and life cycle

analysis methods. The developed methodology for combining agrotechnological and sustainability criteria and data analysis methods for more effective application of hemp products in changing environmental, economic and geopolitical conditions is described. Conclusions are included at the end of the paper.

PATEICĪBAS

Promocijas darbs izstrādāts sadarbībā ar Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta komandu. Izsaku lielu pateicību ikvienam, kurš sniedza padomu, atbalstu, diskutēja par darba tematiku.

Vislielākais paldies promocijas darba vadītājam profesori Dagnijai Blumbergai par ieguldīto laiku, enerģiju, padomiem studiju un promocija darba izstrādes laikā!

Pateicos Latgales lauksaimniecības zinātnes centra komandai par lielo ieguldījumu lauka pētījumu nodrošināšanā un ilggadēju sadarbību kopīgu pētījumu veikšanā, īpaši pateicos *Dr. agr. Venerandai Stramkalei!*

Pateicība visai projekta “Inovātīvi risinājumi industriālo kaņepju apstrādē un pārstrādē” (ELFLA projekts Nr. 18-00-A01612-000026) komandai par iespēju kopā ģenerēt jaunas idejas, izmantot projekta pētījumu rezultātus promocijas darba tapšanā, lielākā pateicība Edgaram Romanovskim par iesaistīšanu projekta komandā.

Paldies manai ģimenei par atbalstu!

Tikai komandas darbs dod rezultātus un motivē jaunu virsotņu sasniegšanai!

SATURS

IEVADS.....	10
1. Kaņepju audzēšanas ilgtspējības aspekti.....	28
1.1. Kaņepju audzēšanas ilgtspējības mērķi.....	32
1.2. Sējas kaņepju (<i>Cannabis sativa L.</i>) audzēšanas apjomi pasaulē, Eiropā un Latvijā.....	34
1.3. Audzēšanas agrotehnoloģiskie rādītāji.....	39
1.3.1. Klimatiskie apstākļi.....	39
1.3.2. Materiāli un metodes.....	42
1.3.3. Klimatisko faktoru ietekmes izvērtējums.....	46
1.3.4. Izsējas normas ietekme.....	55
1.3.5. Slāpekļa mēslojumam izvirzītās prasības.....	58
1.3.6. Zemes apstrādes SEG emisijas.....	62
2. Kaņepju lietojuma ilgtspējības aspekti.....	64
2.1. Kaņepes pārtikas nozarē.....	65
2.2. Tekstilmateriālu ražošana.....	73
2.3. Būvniecības materiāli.....	76
2.4. Papīra un kartona materiāli.....	78
2.5. Kompozītmateriāli dažādās nozarēs.....	78
2.6. Enerģijas ražošana.....	80
2.7. Tehniskie materiāli dažādās nozarēs.....	84
2.8. Tradicionālās un modernās žāvēšanas tehnoloģija kaņepju pārstrādē.....	88
2.9. Kaņepju biorafinēšana.....	90
2.10. Kaņepju ieguves un pārstrādes procesu kvalitatīvais novērtējums.....	92
3. Kaņepju izstrādājumu pilotrisinājumi.....	95
3.1. Kompozītmateriāls un tā apstrāde.....	95
3.2. Kaņepju spaļu betons.....	104
4. Datu analīžu metožu kombinēšana ilgtspējīgai kaņepju un niedru biomasas izmantošanai Latvijā.....	108
4.1. Metodoloģija.....	108

4.1.1. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metode	109
4.1.2. Jutīguma analīze	112
4.1.3. Dzīves cikla analīze.....	113
4.2. Metožu lietošanas piemēri.....	115
4.2.1. Niedru izmantošanas analīze	115
4.2.2. Kaņepju izmantošanas analīze.....	127
SECINĀJUMI.....	145
ATSAUCES.....	147
PIELIKUMS	166

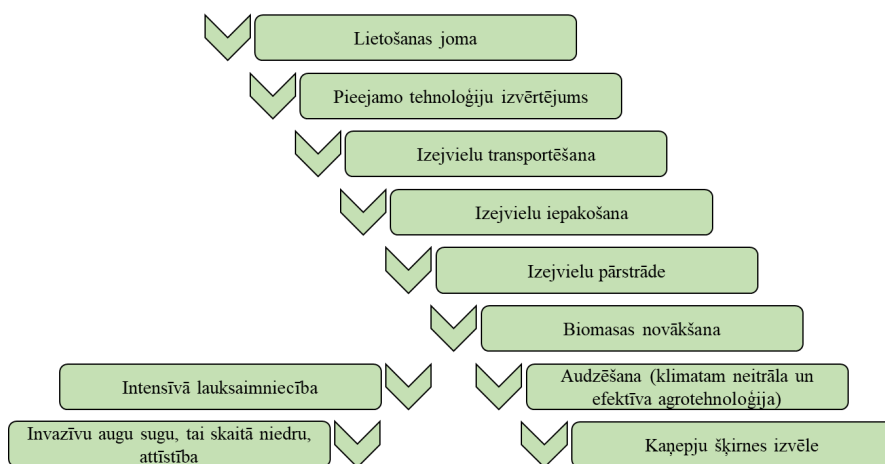
IEVADS

Tēmas aktualitāte

Sabiedrības un valsts attīstība tiešā veidā ir atkarīga no resursu, īpaši energoresursu ilgtermiņa pieejamības un ilgtspējas. Mūsdienu situācijā, kad jau ir iestājusies enerģētiskā krīze, kā arī ir traucētas globālās fosilo un neatjaunojamo resursu un to izstrādājumu piegādes ķēdes, ekonomiskā attīstība palēninās, ir jūtamas klimata izmaiņu sekas, aktuāla ir kļuvusi vietējo ilgtspējīgo resursu pieejamības nodrošināšana valstij nepieciešamās produkcijas un enerģijas ražošanai. Svarīgi ir atrast metodes, kā efektīvi un ātri iespējams novērtēt resursu izmantošanu mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos. Tas noteikti būtu pamats arī tehnoloģiju pielāgošanai un izstrādei, kas mūsdienu inovāciju attīstības tempos ir izdarāms salīdzinoši ātri. Šādos apstākļos bioekonomika un aprītes ekonomika kļūst par ilgtspējīgas attīstības dzinējspēku. Arvien vairāk izmantojot bioloģiskus produktus un procesus, rodas jauna ekonomika, un tai raksturīga augsta atjaunojamo resursu efektivitāte un ārkārtīgi zema oglekļa emisija. Bioekonomikas attīstībā ļoti svarīga nozīme ir zinātniskajiem pētījumiem, apvienojot vietējās izejvielas ar globālo zinātni. Kā rāda pieejamā informācija, publikāciju skaits šajā jomā pēdējā desmitgadē ir būtiski palielinājies un izveidojušas starptautiskās sadarbības ķēdes starp zinātniskajām institūcijām. [1] Latviju bioekonomikas pētījumu jomā pārstāv arī Rīgas Tehniskā universitāte, kas līdzdarbojas BIOEAST tīklā. [2] Plaši pētījumi daudzu gadu garumā bioekonomikā ir veikti Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātē, kā arī universitātes vadībā izstrādāta Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2030. [3]

Galvenais uzvars šajā pētījumā ir likts uz sējas kaņepēm kā ilgtspējīgu un bioekonomikai atbilstošu izejmateriālu dažādās tautsaimniecības nozarēs, to audzēšanas iespējām, mazinot slodzi vidē, un kaņepju lietošanas izvērtēšanu, izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas un dzīves cikla analīzes metožu kombināciju mainīgos ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos. Sējas jeb industriālās kaņepes (*Cannabis sativa L.*) ir augs, kas atbilst bioekonomikas prasībām un kam ir liels potenciāls produktu lietojamībā. [4]–[6] Visas auga daļas – stublāju, sēklas, ziedus un lapas – var novākt un apstrādāt, padarot kaņepes par augu, ko var daudzveidīgi izmantot. Tas nozīmē, ka no vienas kultūras ir iespējams ražot plašu produktu klāstu. Pētījumā aktualizēts arī jautājums par kultūraugu mēslošanā izmantoto barības vielu noplūdes radīto biomasas pieaugumu ūdenstilpēs, konkrēti, par niedrēm un to lietojumu.

Promocijas darbā kompleksi risināti jautājumi par lietderīgāko kaņepju produktu identificēšanu konkrētos ekonomiskajos un vides apstākļos, to ilgtspējīgas audzēšanas iespējām, kā arī kaņepes ekosistēmas ilgtspēju kopumā, nodrošinot bioekonomikas principu ievērošanu. Darbā autore ir izmantojusi starpdisciplināro hierarhisko metodi: augšā – kaņepju palietošanas joma, lejā – piemērotākās sējas kaņepju šķirnes izvēle audzēšanai un invazīvu augu sugu apzināšana, kas attīstās paralēli intensīvai lauksaimniecībai, tai skaitā kaņepju intensīvai audzēšanai (1.att.).

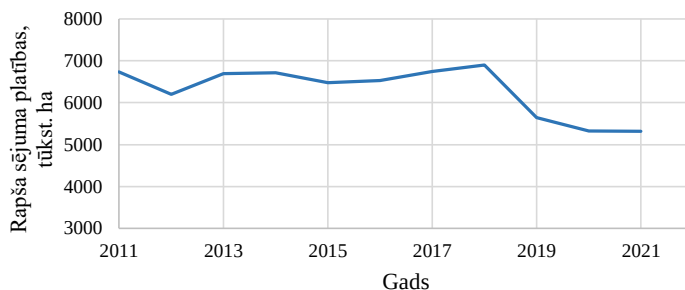


1. att. Starpdisciplināra hierarhiskā metode.

Autores veidots attēls.

Augsne ir viens no nozīmīgākajiem un vienlaikus ierobežotākajiem Latvijas resursiem, kas ietekmē biomasas ražošanu. Kaņepju sējumu platības var palielināt, aizstājot kādu no pašreiz kultivētajām kultūrām, piemēram rapsis. Pēc biogēno elementu izskalošanās (noplūdes) apjoma ūdeņos videi visnelabvēlīgākās un piesārņojošākās kultūras ir ziemas rapsis un ziemas kvieši, savukārt vislabvēlīgākās kultūras – āboliņš un auzas. [7] Rāpšu audzēšanā izmanto lielu minerālmēslojuma un augu aizsardzības līdzekļu apjomu [8], kas rada emisijas gaisā N_2O veidā, kavējot sasniegt klimata mērķus lauksaimniecības sektorā, kā arī noplicina augsni. Vienlaikus slāpekļa savienojumi, nonākot ūdenstilpēs, veicina to aizaugšanu un monokultūru invāziju. Jārēķinās arī ar lauksaimniecības tehnikas patērēto dīzeļdegvielu mēslojuma iestrādei un augu aizsardzības līdzekļu izsmidzināšanai. Enerģijas izmantošanas palielināšana lauksaimniecības sektorā izraisa daudzas vides problēmas: siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas; apjomīgs neatjaunojamo dabas resursu patēriņu, vides piesārņojumu.

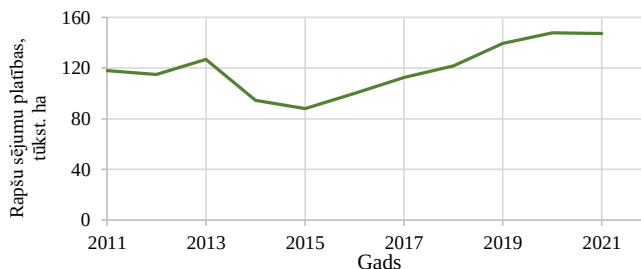
Pēc Eurostat datiem, Latvija rapša sējumu platību ziņā pašreiz ieņem 10. vietu Eiropas Savienībā (ES). Rapša sējumi ES valstīs 2021. gadā veidoja 531,97 tūkstošus ha, maksimālās ar rapsi apsētās platības bija 2018. gadā – 6900,62 tūkstoši ha (2. att.). [9]



2. att. Rapšu sējumu platības ES tūkstošos ha.

Autores veidots attēls, izmantojot Eurostat datus. [9]

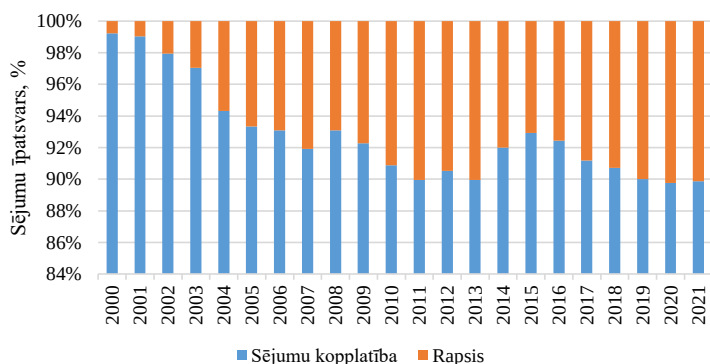
Latvijā rapša sējumu platības kopš 2018. gada nesamazinās, kā tas ir ES, bet gan palielinās, veidojot 147,4 tūkstošus ha 2021. gadā (3. att.). Jāatzīmē, ka 2020. un 2021. gadā rapša platības ir palikušas nemainīgas. [9] Ņemot vērā rapša platību sējumu dinamiku gan ES valstīs, gan Latvijā, pastāv reāla iespēja nepilnu 10 gadu laikā samazināt rapša sējumu platības Latvijā, mazinot arī slodzi vidē no rapšu audzēšanas. Promocijas darbā izvērtēta iespēja aizstāt rapšu sējumus ar sējas kaņepēm (*Cannabis sativa L.*), kas ir rūpnieciska kultūra ar augstvērtīgām sēklām, šķiedru un koksni. Kaņepju audzēšana salīdzinoši ir videi draudzīgāka, jo sējas kaņepju izaudzēšanā nav jāizmanto pesticīdi. [10] Kaņepju audzēšana novērš augsnes eroziju, uzlabo tās struktūru un sekmē aerāciju. Tās ir labs priekšaug daudzām kultūrām, jo nomāc daudzgadīgās nezāles un auga lapas ir augsnes dabiskais mēslojums.



3. att. Rapšu sējumu platības Latvijā tūkstošos ha.

Autores veidots attēls, izmantojot Eurostat datus. [9]

Pēc Eurostat datiem, Latvijā rapša sējumu platības aizņem nedaudz vairāk par 10 % no kopējiem sējumiem (4. att.). Ir redzams, ka ir bijuši periodi, kad rapšu platības ir samazinājušās pat līdz 2 % no kopējo sējumu platībām. Bet, lai pārietu no rapša uz sējas kaņepi, ir svarīgi identificēt priekšnoteikumus kaņepju izmantošanas pieaugumam. Galvenais ir pieprasījums pēc kaņepju produktiem, kam seko to pārstrāde un audzēšana. Būtiski ir izvērtēt ekosistēmu kopumā, kas ietver kaņepes kā rapšu aizvietošanu un rapšu lauku pārmēslošanas dēļ dabiskajā vidē pastiprināti augošo biomasu – niedres.

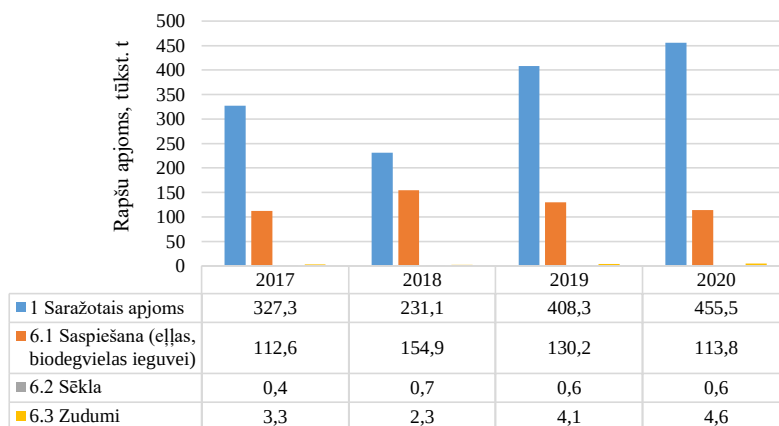


4. att. Rapša sējumu īpatsvars % no sējumu kopplatībām Latvijā.

Autores veidots attēls, izmantojot Eurostat datus. [9]

Pēc Latvijas oficiālās statistikas datiem, vairāk nekā 85 % no Latvijā izaudzētā rapša tiek eksportēts. [11] Tas nozīmē, ka rapsis netiek efektīvi izmantots kā vietējais resurss ražošanā, bet tikai rada slodzi vidē audzēšanas gaitā kā eksportprece ar zemu pievienoto vērtību. Importa daļu pārsvarā veido ievestais sēklas materiāls. Rapša aizstāšana ar kaņepēm ir iesākama tikai pēc pozitīvu izpētes rezultātu iegūšanas par iespējamajiem kaņepju lietošanas veidiem un pieejamajām tehnoloģijām, lai vietējam tirgum un eksportam radītu iespējami augstas pievienotās vērtības produktus.

Latvijā rapši pārsvarā izmanto eļļas un biodegvielas ražošanā (5. att.). Savukārt Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva (ES) 2018/2001 par no atjaunojamajiem energoresursiem iegūtas enerģijas izmantošanas veicināšanu, nosaka modernās biodegvielas ražošanu, kuru neiegūst no pārtikas augiem. [12]



5. att. Rapšu izmantošana eļļai un biodegvielai. [11]

Savukārt kaņepju lietojums ir ārkārtīgi plašs, un par to ir veikti daudzi pētījumi. Ar kaņepēm saistītos patentus ASV patentu birojs izsniedz kopš 1942. gada. Vairāk nekā 1500 pieteikumu ir iesniegti tikai ASV patentu birojā. Tostarp aptuveni 500 pieteikumu ir ieguvuši patentaizsardzības tiesības. Patenti dažādās jomās tiek reģistrēti arī citās valstīs, vislielākais patentu skaits ir reģistrēts farmaceitiskajā nozarē. [13] Milzīgs ir arī publikāciju skaits par kaņepēm dažāda līmeņa un veida izdevumos. Kaņepe var būt izejviela ražošanā, aizstājot daudzus ilgi augošus, grūti iegūstamus un izsīkstošus dabas resursus. Gandrīz katru produktu, ko izgatavo no koka, kokvilnas, rapša un naftas, var izgatavot arī no kaņepēm. Kaņepes var izmantot un pārstrādāt pilnībā, neradot lauksaimnieciskos atkritumus. Kopumā no kaņepēm var izgatavot vairāk nekā 25 000 izstrādājumu. Iespējams, ka sējas kaņepju izmantošanu un audzēšanu kavē arī sabiedrībā valdošais aizspriedums par kaņepju izmantošanu marihuānas izgatavošanai. Ir jāuzsver būtiskā atšķirība psihotropās vielas tetrahidrokanabinola (*THC*) saturā starp sējas kaņepi (*Cannabis sativa L.*) un Indijas kaņepi (*Cannabis Indica*) – sējas kaņepēs *THC* < 0,3 %, Indijas kaņepēs *THC* > 7 %. [14]

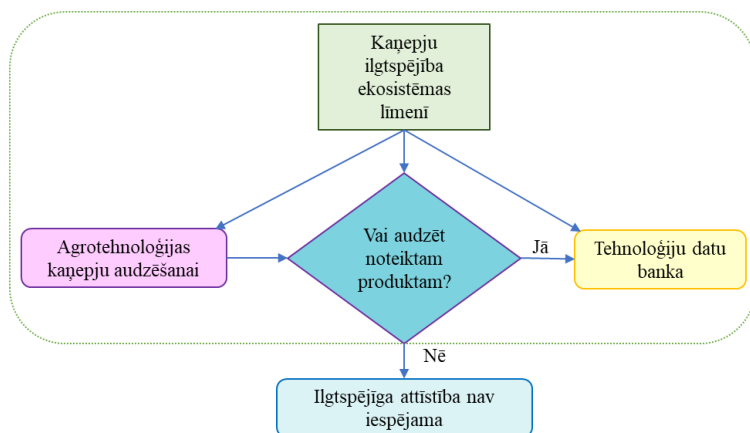
Lauksaimniecības sektora ietekme uz klimata pārmaiņām ir liela, tāpēc ir svarīgi audzēt tādus kultūraugus, kas spēj vairāk saistīt CO₂ veģetācijas periodā. Viens kaņepju sējumu hektārs gadā adsorbē četras reizes vairāk CO₂ nekā viens hektārs meža. [15]

Kaņepju ilgtspējību nosaka pieprasījums pēc:

- 1) noteikta kaņepju produkta veida (sēklas, šķiedra, spaļi);
- 2) pieejamās kaņepju saturošā izstrādājuma ražošanas tehnoloģijas;

3) kaņepju audzēšanas klimatam neitrāla un efektīva agrotehnoloģija (6. att.).

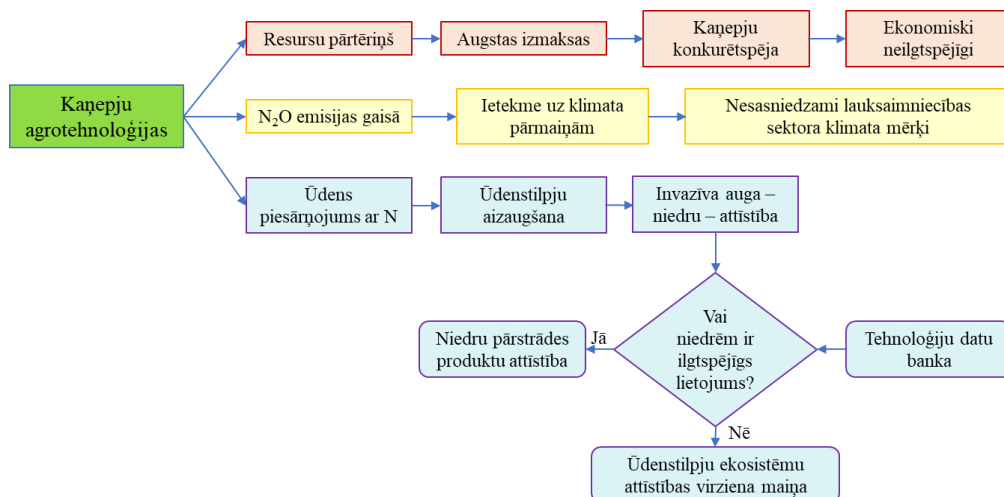
Promocijas darbā analizēts kaņepju lietojums, kombinējot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas un dzīves cikla analīzes metodes, lai sabiedrības pieprasījuma apmierināšana pēc noteikta produkta un tā ražošanai nepieciešamās izejvielas izvēle būtu ilgtspējīga ekosistēmas līmenī. Tehnoloģiju attīstība mūsdienās notiek strauji līdz ar pieprasījuma pieaugumu un izejvielu pieejamību.



6. att. Kaņepju attīstības ilgtspēja.

Autores veidots attēls.

Kaņepju audzēšanas agrotehnoloģija ir jāpielāgo konkrētai audzēšanas teritorijai, lai iegūtu maksimāli labus rezultātus ar mazākiem ieguldījumiem un ietekmi uz vidi. Būtiskākais ir samazināt resursu patēriņu, lai mazinātu gan ekonomiskos izdevumus, gan slodzi vidē, vienlaikus palielinot kaņepju konkurētspēju citu bioresursu vidū. Ja netiek izpildīts iepriekšminētais, tad nav iespējams panākt ekonomisko ilgtspēju. Kaņepju audzēšanā arī lieto slāpekļa minerālmēslojumu, bet ne tik plaši kā rapšiem. Analizējot kaņepju audzēšanas lauka pētījumos iegūtos datus, jārod risinājumi slāpekļa mēslojumu devu samazināšanai. Bioekonomikas mērķu sasniegšanai un rapša aizstāšanai jāvērtē visa kaņepju ekosistēma, tai skaitā rapša audzēšanas ietekmē jau radītās izmaiņas dabiskajā vidē. Tāpēc promocijas darbā ir risināta arī izplatītākā ūdensauga – niedres – lietderīga izmantošana bioekonomikā, radot produktus ar augstu pievienoto vērtību (7. att.).



7. att. Kaņepju audzēšanas agrotehnoloģijas risināmie jautājumi antropogēnās slodzes mazināšanai vidē.

Autores veidots attēls.

Katra bioresursa izmantošanai ir plašas iespējas, un ar to veiksmīgi var aizstāt citus bioresursus, kuru iegūšana un pārstrāde rada lielāku piesārņojumu dabā. Kaņepes ir viens no visātrāk augošajiem augiem, tāpēc to audzēšana prasa mazāk resursu nekā citi biomateriāli. Kaņepju šķiedru īpašības ļauj ar šo materiālu aizstāt arī izejvielas, kas iegūtas no naftas produktiem.

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis – analizēt faktorus kaņepju produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, eksperimentāli noteikt sējas kaņepju (*Cannabis sativa L.*) ilgtspējīgai audzēšanai nepieciešamos apstākļus Latvijā, ņemot vērā klimata pārmaiņas, un pamatot ilgtspējīgu kaņepju izmantošanu mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos, kombinējot datu analīzes metodes.

Mērķa sasniegšanai tika definēti šādi uzdevumi:

- 1) veikt lauka pētījumu datu analīzi dažādu sējas kaņepju šķirņu ražības noteikšanai atkarībā no klimatiskajiem faktoriem, lai noteiktu Latvijas apstākļiem vispiemērotākās sējas kaņepju šķirnes noteikta produkta iegūšanai (sēklas, šķiedra, spaļi);
- 2) noteikt agrotehnoloģisko rādītāju efektivitāti (izsējas norma un slāpekļa mēslojuma deva) ilgtspējīgai sējas kaņepju audzēšanai, orientējoties uz noteikta produkta iegūšanu;
- 3) izpētīt kaņepju produktu daudzveidību un to pārstrādes tehnoloģijas, lai identificētu ilgtspējas indikatorus vislabākās kaņepju lietošanas alternatīvas noteikšanai;
- 4) izvērtēt slāpekļa mēslojuma noplūdes izraisīto ūdensaugu, konkrēti niedru, izmantošanas lietderību bioekonomikā;
- 5) laboratorijas apstākļos eksperimentāli izstrādāt kaņepju produktus ar augstāku pievienoto vērtību, lai, balstoties konkrētos pilotrisinājumos, pierādītu kaņepes kā izejvielas potenciālu arī Latvijas apstākļos;
- 6) izmantojot datu un ilgtspējas kritēriju analīzi, kombinējot regresijas analīzes, dzīves arites cikla un daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodes, parādīt kaņepju un niedru izmantošanas lietderību noteiktos vides, ekonomiskajos un ģeopolitikas apstākļos.

Hipotēze

Sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) audzēšana mērķtiecīgai kaņepju produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai Latvijā ir pamats rapšu lauku aizstāšanai līdz 2030. gadam.

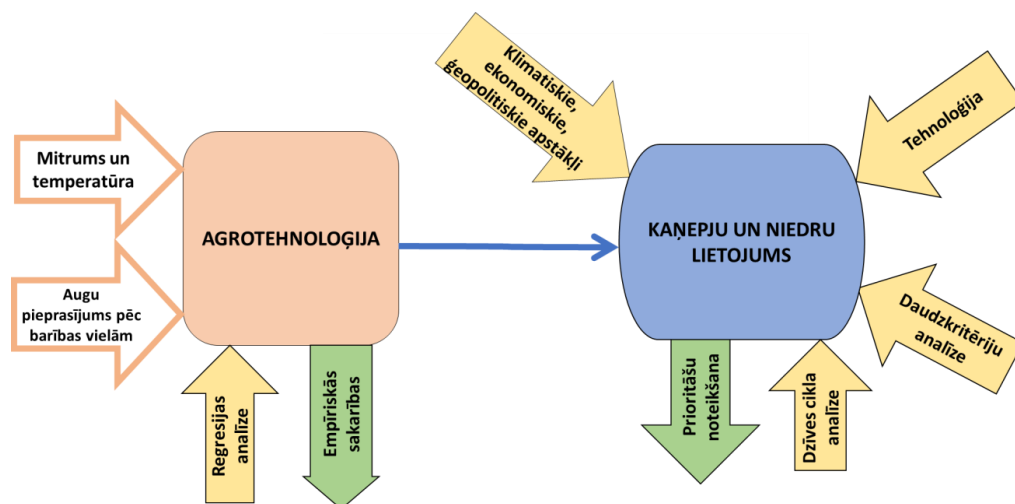
Pētījuma struktūra un izmantotās metodes

Promocijas darba mērķa sasniegšanai, uzdevumu izpildei un hipotēzes pierādīšanai ir izstrādāta pētījuma struktūra, kas ietver:

- 1) lauka izmēģinājumu datu apstrādi;

- 2) laboratoriskos eksperimentus (paraugu analīze, kaņepju betona un kaņepju šķiedru saturošā kompozītmateriāla izstrāde);
- 3) regresijas analīzi ar empīrisko sakarību iegūšanu;
- 4) daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzi;
- 5) dzīves cikla analīzi.

Pētījuma struktūra redzama 8. attēlā. Lauka pētījumi veikti piecus gadus četrām sējas kaņepju šķirnēm, no kurām divas paredzētas kaņepju sēklu iegūšanai, divas – kaņepju šķiedru un spaļu iegūšanai. Pētījumi vērsti uz klimatisko apstākļu, slāpekļa mēslojuma, izsējas normas ietekmi uz kaņepju ražu, lai, izmantojot regresijas analīzi, atrastu empīriskās sakarības starp minētajiem parametriem un noteiktu agrotehnoloģiskos indikatorus. Analizējot zinātnisko literatūru, kā arī balstoties personīgo pētījumu rezultātos, ir atlasīti indikatori un izvēlētas alternatīvas kaņepju ilgtspējīgai lietošanai Latvijā mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos. Kombinējot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas un dzīves cikla analīzes metodes, jānosaka vislabākās kaņepju izmantošanas alternatīvas Latvijas apstākļos.



8. att. Pētījuma struktūra.

Autores veidots attēls.

Zinātniskā novitāte

Promocijas darbā aprakstīta sējas kaņepju ilgtspēja ekosistēmas līmenī, kas ietver kaņepju agrotehnoloģijas aspektus konkrēta kaņepju produkta (sēklas, šķiedra, spaļi) iegūšanai mainīgos klimatiskajos apstākļos, vienlaikus mazinot slodzi vidē. Zinātniski pamatota vispiemērotākās sējas kaņepju (*Cannabis sativa* L.) šķirnes izvēle noteiktu kaņepes produktu iegūšanai Latvijas apstākļos.

Pētījuma rezultātā, veicot kaņepju audzēšanas lauka pētījumu datu regresijas analīzi, eksperimentāli pamatota slāpekļa mēslojuma devu samazināšana, lai samazinātu ietekmi uz vidi un veicinātu kaņepju vides ilgtspējību, vienlaikus saglabājot nemainīgi labas ražas. Atrastie empīriskie vienādojumi ir izmantojami slāpekļa mēslojuma lietošanas efektivitātes un kaņepju izsējas normas aprēķināšanai noteikta kaņepju produkta iegūšanai. Vairākkārtīgi samazinot lietotā slāpekļa mēslojuma devas, var mazināt N₂O emisijas no lauksaimniecības sektora, tādā veidā veicināt klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu lauksaimniecībā.

Lauku pārmēslošanas rezultātā, ko izraisa pārmērīga slāpekļa mēslojuma izmantošana rapšu audzēšanā, notiek barības vielu noplūde dabiskajā vidē, kas veicina biomasas strauju attīstību tajā. Zinātniskā novitāte ir niedru kā bioekonomikas komponentes lietošanas izvērtēšana, izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodi un jutīguma analīzi, lai izvērtētu alternatīvu stabilitāti mainīgos apstākļos.

Izstrādāta inovatīva metodoloģija agrotehnoloģisko un ilgtspējas kritēriju un datu analīzes metožu kombinēšanai kaņepju produktu efektīvākai lietošanai mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos.

Izstrādāti kaņepes saturošu produktu ar augstu pievienoto vērtību pilotrisinājumi – kaņepju betons un kaņepes saturošs kompozītmateriāls. Novitāte ir uzlabotu kaņepes saturošu bioproduktu prototipu izgatavošanas, to īpašību un arī apstrādes paņēmieni izpēte.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

1) Divi galvenie aspekti, kas nosaka nepieciešamību analizēt slāpekļa mēslojuma lietošanas efektivitāti, ir šādi:

- slāpekļa mēslojuma lietderīga izmantošana ir ekonomiski izdevīga;

- slāpekļa mēslojuma ilgtspējīga lietošana ir Latvijas klimatneitralitātes pamatnosacījums; samazinot slāpekļa mēslojuma devas kaņepju audzēšanā, tā izmantošanas efektivitāte palielinās, vienlaikus samazinās slāpekļa noplūde dabiskajā vidē un monokultūru (šajā pētījumā – niedru) biomasas pieaugums ūdenstilpēs, kas ir klimatam neitrāla un efektīva pieeja;

2) ir pienācis pēdējais brīdis Latvijā izlemt par kaņepju audzēšanas mērķi, definējot produktus ar augstu pievienoto vērtību. Kaņepju pārstrādes tehnoloģiju pieejamība un pieprasījums pēc inovatīviem kaņepes saturošiem produktiem nosaka atbilstošas šķirnes izvēli un mērķtiecīgu kaņepju audzēšanu izejvielu (sēklu un stiebru) iegūšanai

3) pastāv dažādas metodes, ar kuru palīdzību var izvērtēt kaņepju lietojuma daudzveidību un identificēt ilgtspējīgākos risinājumus. Datu un ilgtspējas kritēriju analīze, kombinējot regresijas analīzes, dzīves aprites cikla un daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodes, parāda kaņepju un niedru izmantošanas lietderību noteiktos vides, ekonomiskajos un ģeopolitikas apstākļos.

Darba praktiskā nozīme

Pētījumu gaitā eksperimentāli noteikti sējas kaņepju (*Cannabis sativa L.*) audzēšanas agrotehnoloģiskie paņēmieni, kas vērsti uz slodzes mazināšanu vidē, ar mazākiem resursiem sasniedzot labas ražas. Izmantojot darbā izteiktās rekomendācijas un atrastās empīriskās sakarības kaņepju audzēšanas agrotehnoloģijā, mazinās lauksaimniecības sektora ietekme uz klimatu, jo mazāka slāpekļa mēslojuma lietošanas rezultātā samazinās SEG emisijas. Vienlaikus tiek mazināta slodze uz virszemes ūdeņiem, jo biogēno elementu izskalošanās un nonāksana ūdenstilpēs samazinās līdz ar mazākām slāpekļa minerālmēslojumu devām. Atrasta saite ekosistēmā starp kaņepju un niedru biomasa pieaugumu ūdenstilpēs, kas ir svarīgi, lai prognozētu biomasas resursu plūsmu ražošanā.

Zinātniski pamatota informācija lauksaimniekiem par slāpekļa pārtēriņu. Izpētītie indikatori liecina par nepieciešamību lauksaimniekiem ieviest indikatoru sistēmu, lai novērstu nelietderīgu resursu patēriņu un ierobežotu ķīmisko elementu pārvešanu no litosfēras hidrosfērā un atmosfērā, kā arī ar mazākiem ieguldījumiem sasniegt labus rezultātus.

Promocijas darba gaitā izveidoto kaņepju produktu pilotrisinājumu praktiskā nozīme ir iespēja vizualizēt Latvijas zinātnieku sasniegumus un plašāk izplatīt informāciju par šādu

inovatīvu produktu ražošanu Latvijā. Pilotrisinājumu izstrāde sniegusi arī nozīmīgas atziņas turpmāko pētījumu veikšanai, lai sasniegtu nākamās tehnoloģiju gatavības līmeņus to komercializācijai. Izstrādātie pilotrisinājumi izmantojami industrijā produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanas attīstībai uz vietējo resursu bāzes.

Pētījumu aprobācija

Promocijas darba pētījuma rezultāti ir prezentēti septiņās starptautiskajās zinātniskajās konferencēs.

1. Teirumnieka, E., Patel, N., Laktuka, K., Dolge, K., Veidenbergs, I., Blumberga, D. Is Hemp Sustainable Energy Resource? 1st International Conference on Sustainable Chemical and Environmental Engineering, Greece, 31st August to 4th September, 2022.
2. Teirumnieka, Ē., Pīgožnis, K., Blumberga, D., Teirumnieks, E., Lazov, L. Lasers Processing of Composite Materials. XXII International conference and school on quantum electronics “Laser physics and applications” Bulgarian Academy of Sciences, Virtual forum 19–23 September 2022.
3. Stipniece-Jekimova, A.A., Teirumnieka, E., Blumberga, D. When Reed Application is Sustainable. CONECT, Conference of Environmental and Climate Technologies, 11–3 May, 2022, Latvia.
4. Teirumnieka, Ē., Blumberga, D., Teirumnieks, E., Stramkale, V. Product-oriented production of industrial hemp according to climatic conditions. Biosystem Engineering 2021, May 5, 2021, Estonia.
5. Teirumnieka, Ē., Blumberga, D., Teirumnieks, E. The application of hemp in bioeconomy. The 13th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources. 2021, 17–8 June, Latvia.
6. Pubule, J., Kalnbalkite, A., Blumberga, D., Teirumnieka, E. The use of multi-criteria analysis for an evaluation of the Environmental Engineering study programme at university. CONECT, Conference of Environmental and Climate Technologies, 15–7 May, 2019, Latvia.

7. Teirumnieks, E., Pīgožnis, K., Teirumnieka, Ē., Bernāne, I., Jakovele, I. Šķiedragu izmantošana kompozītmateriālu izgatavošanā. Latvijas Universitātes 76. Starptautiskā zinātniskā konferences Zemes un vides zinātnes sesija „Vides tehnoloģijas un dabas resursu ilgtspējīga izmantošana”, Rīga, 2018. gada 26. janvāris.

Promocijas darba pētījumu rezultāti ir atspoguļoti sešās starptautiskajās zinātniskajās publikācijās.

1. Teirumnieka, Ē., Blumberga, D., Teirumnieks, E., Stramkale, V. (2021) Product-oriented production of industrial hemp according to climatic conditions. *Agronomy Research* 19(4), 2026–2036. <https://doi.org/10.15159/AR.21.123>
2. Teirumnieka, E., Patel, N., Laktuka, K., Dolge, K., Veidenbergs, I., Blumberga, D. (2022) Sustainability Dilemma of Hemp Utilization for Energy Production. *Energy Nexus* (pieņemts publicēšanai).
3. Teirumnieka, Ē., Pīgožnis, K., Blumberga, D., Teirumnieks, E., Lazov, L. (2022) Lasers Processing of Composite Materials. // Pieņemts publicēšanai Bulgārijas zinātņu akadēmijā. <http://www.icsqe2022.ie-bas.org/proceedings.htm>. *Journal of Physics* (iesniegts publicēšanai), 2022.
4. Stipniece-Jekimova, A.A., Teirumnieka, E., Blumberga, D. (2022) When Reed Application is Sustainable. // *Environmental and Climate Technologies 2022*, vol. 26, no. 1, pp. 697–707. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0053>
5. Teirumnieka, Ē., Blumberga, D., Teirumnieks, E. (2021) The application of hemp in bioeconomy. // *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Volume I*, pages 281–287. <https://dx.doi.org/10.17770/etr2021vol1.6966>
6. Poisa, L., Adamovics, A., Antipova, L., Siaudinis, G., Karcauskiene, D., Platace, R., Zukauskaite, A., Malakauskaite, S., Teirumnieka, E. (2011) The chemical content of different energy crops. // *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference. Volume I*, pages 191–196. <https://doi.org/10.17770/etr2011vol1.913>

Patenti

LV patents Nr. 14869 S. Pleikšnis, Ē. Teirumnieka. Sapropeļa un kaņepju spaļu betons ēku siltumizolācijai, 2014. Izgudrojums attiecas uz siltumizolācijas kompozītmateriāla iegūšanu no sapropeļa un sējas kaņepju atlikumiem.

Citas publikācijas

1. Lazov, L., Angelov, N., Teirumnieks, E., Adijāns, I., Pacejs, A., Teirumnieka, Ē., (2021) Laser ablation of paint coatings in industry. // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Volume III. – Rezekne, pp. 187–194. Online ISSN 2256-070X (Scopus) <https://doi.org/10.17770/etr2021vol3.6662>
2. Kangro, I., Kalis, H., Teirumnieka, Ē., Teirumnieks, E., (2021) Special spline approximation for the solution of the non-stationary 3-d mass transfer problem. // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Volume II. – Rezekne, pp. 69–73. Online ISSN 2256-070X (Scopus) <https://doi.org/10.17770/etr2021vol2.6577>
3. Silicka, I., Dembovska, I., Teirumnieka E., Dembovskis, I. (2020) Analysis of Hiking Food Processing Technologies on the Market. Journal of Regional Economic and Social Development No. 1 (12). pp.171–181, <http://dx.doi.org/10.17770/jresd2020vol1.12.5398>
4. Silicka, I., Dembovska, I., Teirumnieka E., Dembovskis, I. (2020) Lyophilized Hiking Food Development Trends. Journal of Regional Economic and Social Development No. 1 (12). pp.182–191, <https://doi.org/10.17770/jresd2020vol1.12.5400>
5. Lazov, L., Teirumnieka, E., Teirumnieks, E., Atanasova, N. (2020) Laser Safety for Eu Defence Forces – E-Learning Platform. Proceedings of International Scientific Conference, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems , pp. 21–28. http://www.aadcf.nvu.bg/scientific_events/papers/dtf2020.pdf
6. Pubule J., Kalnbalkite. A., Teirumnieka, E., Blumberga, D. Evaluation of the Environmental Engineering Study Programme at University. Published Online: 18 Nov 2019, Volume & Issue: Volume 23 (2019) – Issue 2 (November 2019) Special

Issue of Environmental and Climate Technologies Part I: Energy, bioeconomy, climate changes and environment nexus, Page range: 310–324, DOI: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2019-0070>

7. Kangro, I., Kalis, H., Teirumnieka, Ē., Teirumnieks, E. (2019). Special Hyperbolic Type Approximation for Solving of 3-D Two Layer Stationary Diffusion Problem. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 95–100. Print ISSN 1691-5402, Online ISSN 2256-070X. Database: Scopus. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2019vol3.4079>
8. Lazov, L., Angelov, N., Teirumnieks, E., Teirumnieka, Ē. (2019). Preliminary Numerical Analysis for the Role of Speed On Laser Technological Processes. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 137–142. Print ISSN 1691-5402, Online ISSN 2256-070X. Database: Scopus. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2019vol3.4154>
9. Lazov, L., Teirumnieks E., Angelov, N., Teirumnieka, E. (2019). Methodology for Automatic Determination of Contrast of Laser Marking for Different Materials. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 137–142. Print ISSN 1691-5402, Online ISSN 2256-070X. Database: Scopus. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2019vol3.41434>
10. Lazov, L., Teirumnieks, E., Teirumnieka, E., Cacivkin, P., Angelov, N., Karadzhev, T. (2019). Laboratory Exercise to Determine Contrast in Laser Marking of Articles. Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference, I, pp. 331–339. Database: Web of Science. <http://dx.doi.org/10.17770/sie2019vol1.3906>
11. Lazov, L., Teirumnieka, E., Teirumnieks, E., Atanasova, N., Karadzhev, T. (2019). Online Professional Training for Workers With the Moodle System to Improve Professional Skills in Green Constructions. Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference, I, pp. 393–402. Database: Web of Science. <http://dx.doi.org/10.17770/sie2019vol5.3908>
12. Lazov, L., Teirumnieka, E., Atanasova, N. (2019) Green building training through Web modules – exchange of good practices. International Scientific Journal "Industry 4.0", WEB ISSN 2534-997X; PRINT ISSN 2534-8582, Year IV, Issue 4, pp. 191–194.

13. Lazov, L., Teirumnieka, E., Teirumnieks, E., Atanasova, N., Angelov N., Karadzov, T., (2019) Основни принципи на концепцията „пасивна сграда“ Engineering. Technologies. Information Technologies. Management. Safety And Ecology. pp. 121–123. <https://techtos.net/sbornik/2019/1-2019.pdf>
14. Lazov, L., Teirumnieka, Ē., Teirumnieks, E., Pacejs, A., Kijaško, M. (2019) Laser safety training needs analysis in VET 11. Mittweidaer Lasertagung, Vol. 1. pp. 146–150. <https://www.lasertagung-mittweida.de/files/16E7F481119/16E7F4810B7.pdf>
15. Lazov, L., Nikolić, V., Jovic, S., Milovančević, M., Deneva, H., Teirumnieka, E., Arsic, N. (2018) Evaluation of laser cutting process with auxiliary gas pressure by soft computing approach. Infrared Physics & Technology, Vol. 91, pp. 137–141. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.04.007>
16. Nikolic, V., Petkovic, D., Milovanevic M., Deneva H., Lazov, L., Teirumnieka, E., (2018) Optimization of laser cutting parameters using an adaptive neuro-fuzzy methodology. Lasers in Engineering Volume 40, Issue 4-6, Pages 341–346.
17. Deneva H., Teirumnieka, E., Lazov, L., Nikolic, V., Milovanevic M., (2018) Analysis of the influence of auxiliary gas pressure on cut characteristics of laser cut steel. Lasers in Engineering, Volume 40, Issue 4-6, Pages 253–263.
18. Lazov, L., Deneva, H., Teirumnieka, E. (2017). Laser as a device for measurement of thin threads – a school laboratory experiment in physics. Society. Integration. Education Proceedings of the International Scientific Conference. Volume II, pp. 72–80 <http://dx.doi.org/10.17770/sie2017vol2.2404>
19. Kangro, I., Kalis, H., Teirumnieka, Ē., Teirumnieks, E. (2017). On Mathematical Modelling of the 2-D Filtration Problem in Porous Axial Symmetrical Cylinder. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 129–135. Print ISSN 1691-5402. Database: Scopus. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2017vol3.2566>
20. Lazov, L., Deneva, H., Teirumnieka, E. (2017). Influence of Defocus Position on Laser Cutting Process in Sheet Steel. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 163–167. Print ISSN 1691-5402. Database: Scopus. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2017vol3.2658>
21. Lazov, L., Deneva, H., Teirumnieka, E. (2017). Study of Auxiliary Gas Pressure on Laser Cutting Technology. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the

- 11th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 159–162. Print ISSN 1691-5402. Database: Scopus. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2017vol3.2659>
22. Vilkaste, A., Lazov, L., Deneva, H., Teirumnieka, Ē., Teirumnieks, E., Narica, P. (2017). Laser Technologies – Master`s Program Between Two European Universities of Applied Sciences from Latvia and Germany. Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference, I, pp. 434–441. Database: Web of Science. <http://dx.doi.org/10.17770/sie2017vol1.2405>
 23. Lazov, L., Teirumnieka, E., Teirumnieks, E., Deneva, H. (2017). Dangers of Irradiation of Military Staff With Laser Light. Defense Technology Forum 2017, International scientific conference, collection of papers, pp. 264–274. ISSN 2367-7902.
 24. Lazov, L., Teirumnieka, E., Teirumnieks, E., Deneva, H. (2017). Infrared Lasers in the Military Action. Defense Technology Forum 2017, International scientific conference, collection of papers, pp. 275–284. ISSN 2367-7902
 25. Teirumnieka, Ē. (2017). Inženierzinātņu speciālistu sagatavošana un ietekme uz izaugsmi Latgalē. 4. pasaules latgaliešu saiets “Latgales simtgades kongress”, tēzes, 71. lpp.
 26. Teirumnieka, Ē., Kangro, I., Teirumnieks, E., Kalis, H. (2015). The Analytical Solution of the 3D Model With Robin's Boundary Conditions for 2 Peat Layers. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, III, pp. 186–192. Print ISSN 1691-5402. Database: Scopus.
 27. Prols, J., Teirumnieka, Ē., Teirumnieks, E. (2015). Distribution of Iron and Iron Compounds in the Kemer-Jaunkemeri Occurrence of Sulphide Water. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, II, pp. 244–250. Print ISSN 1691-5402. Database: Scopus.
 28. Kangro, I., Kalis, H., Gedroics, A., Teirumnieka, E., Teirumnieks, E. (2014). On Mathematical Modelling of Metals Distribution in Peat Layers. Mathematical Modelling and Analysis, 19 (4), pp. 568–588. ISSN: 1392-6292, Online ISSN: 1648-3510. Databases: Scopus, Thomson Reuters Web of science. DOI:10.3846/13926292.2014.963718; <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/13926292.2014.963718#.VFCbqFcixvk>
 29. Teirumnieka, Ē., Kangro I., Teirumnieks, E., Kalis, H. (2013) The mathematical modeling of metals mass transfer in three layer peat blocks. Environment. Technology.

Resources. Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference. Volume I. Rezekne: Rēzeknes Augstskola, 87–94. ISSN 1691–5402. doi:10.17770/etr2013vol1.833

30. Patents: Nr.14869 Sapropēja un kaņepju spaļu betons ēku siltumizolācijai, 2014.
31. Mednis, M., Matisovs, I., Teirumnieka, E., Martinovs, A., Valgis, G., Overview of the river basin management plans in the Baltic region under the waterpraxis project. Environment. Technology. Resources, Proceedings of the 8th international scientific and practical conference, 2011, vol I, pages 146– 151, published 2011, Indexed 2011-01-01, Document Type: Proceedings Paper.
32. Teirumnieka, E., Kangro, I., ; Teirumnieks, E., Kalis, H., Gedroics, A, The mathematical modeling of Ca and Fe distribution in peat layers. Environment. Technology. Resources, proceedings of the 8th International scientific and practical conference, 2011, VOL II, pages 40–47, published 2011, Indexed 2011-01-01, Document Type: Proceedings Paper.
33. Teirumnieks, E., Teirumnieka, E., Kangro, I., Kalis, H., The mathematical modeling of metals content in peat | Metālu saturs kūdrā matemātiskā modelēšana. Vide. Tehnoloģija. Resursi – Environment. Technology. Resources. 2009, 1, pp. 249–257
34. Noviks, G., Teirumnieks, E., Lemešenoka, N., .Teirumnieka, E., Miklaševičs, Z., Evaluation of brownfields in Latvia | Degradēto teritoriju izvērtējums Latvijā. Vide. Tehnoloģija. Resursi - Environment, Technology, Resources, 2009, 1, pp. 185–192

Projekti

Projekts “Inovātivi risinājumi industriālo kaņepju apstrādē un pārstrādē”, Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai projekts Nr. 18-00-A01612-000026.

Projekta mērķis – izpētīt un uzlabot industriālo kaņepju audzēšanu, izpētot audzēšanas tehnoloģiju ietekmi uz kaņepju produktivitāti, kvantitatīvajiem un kvalitatīvajiem parametriem, produkcijas iznākumu, to piemērotību produktu ražošanai ar augstu pievienoto vērtību un izstrādāt rekomendācijas optimālai kaņepju audzēšanas tehnoloģijai Latvijas agroklimatiskajos apstākļos.

Balstoties pētījumos iegūtajos rezultātos, projekta partneriem 2022.gada sezonai bija ieteiktas Latvijas apstākļiem vispiemērotākās šķirnes – "*Bialobrzeskie*" šķiedru un spaļu iegūšanai, "*Finola*" sēklu iegūšanai. 1. tabulā redzams pārskats par projektā iesaistītajām saimniecībām un sētajām kaņepju šķirnēm.

1. tabula

Saimniecības audzējamās kaņepju šķirnes projekta ietvaros

Gads	SIA "Jumis geo"	SIA "Atzola", bioloģiskā saimniecība	ZS "Kotiņi", bioloģiskā saimniecība	SIA "Mežacīruļi"	SIA "Saimniecība Nākotne", bioloģiskā saimniecība	SIA "Reits"
2022	<i>Bialobrzeskie</i>	Pūriņi	Pūriņi	Pūriņi	—	<i>Bialobrzeskie</i>
2021	Austa	Austa	Pūriņi	Austa	—	Austa
2020	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	—
2019	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	—
2018	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	<i>USO 31</i>	—

Autores veidota tabula, izmantojot projekta Nr. 18-00-A01612-000026 informāciju.

Izmantojot promocijas darbā gūtās pētniecības atziņas, rakstiskā formā tiks sagatavotas rekomendācijas projekta partneriem par sējas kaņepju šķirņu izvēli, izsējas normām un slāpekļa mēslojuma devām 2023.gada audzēšanas sezonai.

1. KAŅEPJU AUDZĒŠANAS ILGTSPĒJĪBAS ASPEKTI

Kaņepes ir daudzfunkcionāla kultūra, ko jau pašreiz izmanto biomateriālu, kosmētikas, dzīvnieku barības, pārtikas un citu plaša patēriņa preču ražošanai. [16] Kaņepju materiāli ir atkārtoti lietojami, bioloģiski noārdāmi un kompostējami, kā arī ir izturīgi un viegli, un no tiem var veidot daudzveidīgu formu un funkcionalitātes izstrādājumus. Tas apliecina, ka pieprasījums pēc kaņepēm kā bioekonomikas komponenta tikai pieaugs, līdz ar to būtiski ir nodrošināt kaņepes saturošo produktu ilgtspēju visā to dzīves ciklā, sākot no audzēšanas. Šajā nodaļā pētījums fokusēts uz kaņepju ilgtspējīgas audzēšanas jautājumiem un slāpekļa mēslojuma izmantošanas efektivitātes izvērtēšanu.

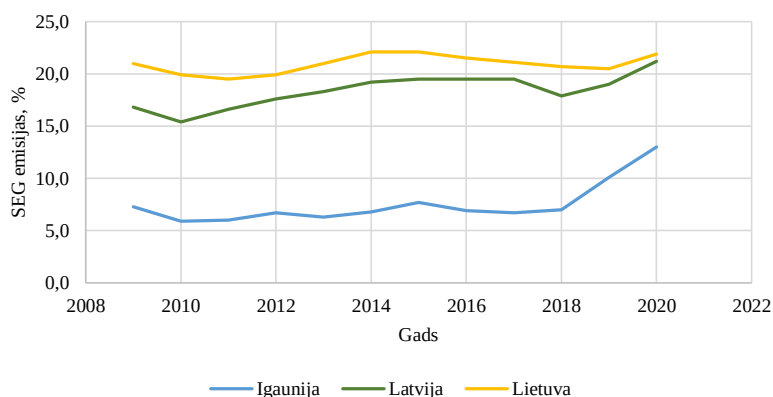
Kaņepju dzimtene ir Himalaji, bet kopš neolīta (4500.–1500. g. m. ē.) tās izplatījušās Indijā un Tālajos Austrumos. Senā Ķīna kļuva par pirmo valsti pasaulē, kas savvaļas kaņepes audzēja kā kultūraugu. Kaņepju šķiedras galvenokārt izmantoja papīra ruļļu, zvejas tīklu, audumu, kā arī pārtikas ražošanā. [17] Eiropā arheoloģiski pierādītās visvecākās kaņepju šķiedras ir atrastas Varnas reģionā, Bulgārijā, un dokumentētas ar 4280. gadu p. m. ē. Eiropā kaņepes bija svarīgs produkts papīra ražošanā un līdz pat 19. gadsimta beigām bija galvenais tā izejmateriāls. Tūkstošiem gadu kaņepes Eiropā ir bijis tradicionāls pārtikas avots. Kaņepju sēklas, lapas, ziedi un ekstrakti ir visas tradicionālās pārtikas sastāvdaļas un uztura bagātinātāji, kas gadsimtiem ilgi ir daļa no mūsu uztura. [18]

Ilgtspējīga attīstība un ekonomika ir vērstas uz dabiskas izcelsmes resursu izmantošanu, tai skaitā maksimāli izmantojot visas auga sastāvdaļas, kā arī attīstot jaunu produktu izstrādi, izmantojot tās vai citas sastāvdaļas vai arī to pārstrādes produktus. Pasaulē un arī Latvijā arvien nopietnāk apsver kaņepju audzēšanas paplašināšanu un produktu attīstību, izmantojot kaņepes, vai to pārstrādes rezultātā iegūtās izejvielas. [19], [20] Jau šobrīd kaņepēm ir ļoti daudzveidīgs lietojums, ir zināmi vairāk nekā 25 000 dažādu kaņepes saturošu produktu. [21]

Pasaules tirgū turpmākajos gados samazināsies gan fosilo izejvielu daudzums, gan arī sintētisko šķiedru un materiālu ražošanas apjomi. Ražojot jaunus produktus, aizvien vairāk izmanto dabiskās izcelsmes materiālus, tai skaitā augu izcelsmes izejvielas, tāpēc svarīgi ir maksimāli palielināt Latvijas atjaunojamo dabisko izejvielu, tai skaitā kaņepju šķiedru, eļļas un spaļu izmantošanu dažādu produktu ražošanā, kā arī niedru biomasas pārvēršanu produktos. Kaņepju šķiedru un tās produktu funkcionalizēšana ir būtisks virziens pasaulē, kas veido pamatu ilgtspējīgai ekonomiskai izaugsmei uz dabiski atjaunojamo resursu bāzes. [22] Lai

iegūtu kvalitatīvu un konkurētspējīgu produkciju, liela nozīme ir gan apkārtējās vides apstākļiem un audzēšanas tehnoloģijai, gan arī ģenētiskajam potenciālam. [23] Pateicoties savām unikālajām īpašībām, jo īpaši labvēlīgajiem ieguvumiem videi, kaņepes ir vērtīga kultūra bioekonomikā. Lai radītu jaunus produktus ar augstu pievienoto vērtību, liela nozīme ir kaņepju ģenētiskajam potenciālam, stiebru, šķiedru, sēklu, spaļu sastāvam, kā arī un vides faktoriem. [24]

Mūsdienu ekonomiskajos apstākļos būtisks konkurētspējīgas lauksaimniecības aspekts ir augstražīgas, vietējiem agroekoloģiskajiem apstākļiem un tirgus prasībām atbilstošas kaņepju šķirnes un ilgtspējīgas, videi un klimatam neitrālas agrotehnikas izvēle. Vērtējot kopējās SEG (CO_2 un tādas gāzes kā N_2O , hlorfluorogļūdeņražus, CH_4 , SF_6 , NF_3 , izteiktas CO_2 ekvivalentā) emisijas atmosfērā no lauksaimniecības Latvijā, tāpat kā citās Baltijas valstīs, kopš 2018. gada nedaudz samazinās, bet SEG emisiju īpatsvars % palielinās (1.1. att.). [25]



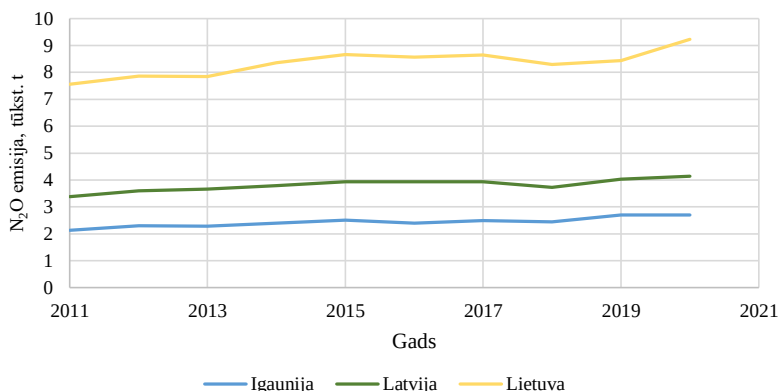
1.1. att. Kopējās lauksaimniecības SEG emisijas Latvijā, Lietuvā un Igaunijā
% no kopējām SEG emisijām.

Autores veidots attēls, izmantojot Eurostat datus. [25]

Dati liecina, ka lauksaimniecība nozare nespēj sasniegt klimata mērķus, nemainot pieeju agrotehnoloģijām. Viens no aspektiem ir slāpekļa mēslojuma izmantošana, jo N_2O emisijas atmosfērā no lauksaimniecības sektora daudzus gadus neuzrāda samazināšanās tendences (1.2. att.).

Iespējamais risinājumiem ir mazināt N_2O emisijas, ko rada slāpekļa mēslojuma izmantošana. Aizstājot sējamajās platībās rapsi ar kaņepēm jau būtu iespējams samazināt N_2O ,

jo kaņepju audzēšanai nepieciešams mazāks slāpekļa mēslojuma daudzums nekā rapšiem. 2020. gadā Latvijā lauksaimniecības sektors radīja 87,3 % no kopējām N_2O emisijām gaisā. [26] Latvija ir 10. vietā ES pēc N_2O emisijām gaisā no lauksaimniecības. *Eurostat* dati pierāda, ka jāveic pētījumi un jārod risinājumi lauksaimniecībā, tai skaitā slāpekļa mēslojuma izmantošanas mazināšanai sējumu platībās, ieviešot izmaiņas kaņepju agrotehnoloģijā.



1.2. att. Lauksaimniecības sektora N_2O emisijas Latvijā, Lietuvā un Igaunijā tūkst. t.

Autores veidots attēls, izmantojot Eurostat datus. [26]

Kaņepes ļoti īsā laikā spēj saražot lielu biomasu, un tām raksturīga ļoti plaša auga daļu izmantojamība rūpnieciskajā pārstrādē, jo visas auga sastāvdaļas ir izmantojamas noteiktu produktu ražošanā. [27] Klasiski no kaņepēm izmanto auga virszemes daļu, tas ir, sēklas, šķiedru un spaļus.

Kaņepju raža atšķiras atkarībā no šķirnes, agroklimatiskajiem apstākļiem, mēslojuma u. c. faktoriem. Piemēram, ja pieņem, ka auga kopmasa veido 7800 kg/ha, tad veidojas šāds sadalījums pa kaņepju produktu grupām:

- sēklas – 1000 kg/ha,
- šķiedra – 2400 kg/ha,
- spaļi – 4400 kg/ha. [28]

Attiecīgi veidojas šāda proporcija: 13 % : 31 % : 56 %.

1.1. Kaņepju audzēšanas ilgtspējības mērķi

2015. gadā ANO Ģenerālajā asamblejā tika pieņemta rezolūcija “Mūsu pasaules pārveidošana”: ilgtspējīgas attīstības programma 2030. gadam jeb Dienaskārtība 2030. Rezolūcijā noteikti 17 ilgtspējīgas attīstības mērķi (IAM) un 169 apakšmērķi. Tos sasniedzot, mazinātos nabadzība un pasaules attīstība būtu ilgtspējīga. IAM līdzsvaroti trīs dimensijās: ekonomika, sociālie aspekti un vide.

IAM ir aktuāli visām valstīm un sasniedzami tikai kopīgiem spēkiem. IAM jāņem vērā, plānojot valstu nacionāla līmeņa izaicinājumus un mērķus. IAM aptverto tēmu loks ir salīdzinoši plašs, tāpēc valstis izvēlas tām aktuālākos mērķus, uz ko koncentrēties līdz 2030. gadam. [29]

No IAM un to paskaidrojošās daļas redzams, ka kaņepju audzēšana un produktu ieguve un ražošana lielā mērā ir saistīta ar turpmāk uzskaitītajiem mērķiem.

- Izskaust badu, panākt pārtikas nodrošinājumu un uzlabotu uzturu, veicināt ilgtspējīgu lauksaimniecību:
 - līdz 2030. gadam nodrošināt ilgtspējīgas pārtikas ražošanas sistēmas un īstenot noturīgu (angļu val. *resilient*) lauksaimniecības praksi, kas palielina produktivitāti un ražošanu, palīdz saglabāt ekosistēmas, nostiprina spēju pielāgoties klimata pārmaiņām, galējiem laikapstākļiem, sausumam, plūdiem un citām dabas katastrofām un pakāpeniski uzlabo zemes un augsnes kvalitāti.
- Nodrošināt visiem piekļuvi uzticamai, ilgtspējīgai un mūsdienīgai enerģijai par pieejamu cenu:
 - līdz 2030. gadam būtiski palielināt atjaunojamās enerģijas īpatsvaru vispārējā energoresursu struktūrā;
 - līdz 2030. gadam divkārtot energoefektivitātes uzlabošanas tempu visā pasaulē;
 - līdz 2030. gadam uzlabot starptautisko sadarbību, lai veicinātu piekļuvi tīrās enerģijas izpētei un tehnoloģijai, tostarp atjaunojamai enerģijai, energoefektivitātei un uzlabotai un tīrākai fosilā kurināmā tehnoloģijai, un veicināt ieguldījumus energoinfrastruktūrā un tīrās enerģijas tehnoloģijā.
- Nodrošināt ilgtspējīgus patēriņa paradumus un ražošanas modeļus:

- līdz 2030. gadam nodrošināt dabas resursu ilgtspējīgu apsaimniekošanu un lietderīgu izmantošanu.

Latvijas Bioekonomikas stratēģijā 2030. gadam noteiktie uzdevumi paredz maksimāli palielināt Latvijas atjaunojamo dabisko izejvielu izmantošanu dažādu rūpniecības produktu (šķiedru, virvju, audumu, filca, siltumizolācijas, būvniecības un kompozītmateriālu), pārtikas (lobīti un nelobīti riekstiņi, aizdars, eļļa, proteīns, tēja) un barības produktu izejvielu ražošanā. [30]

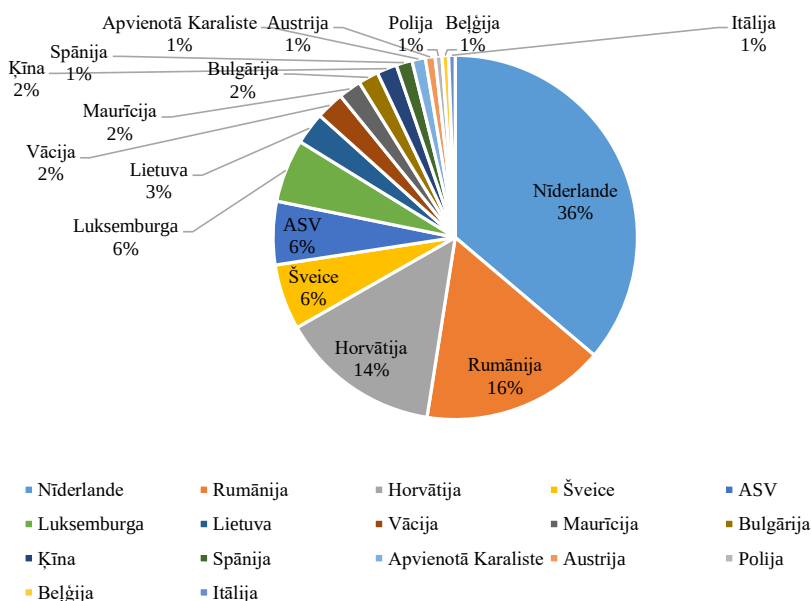
Ņemot vērā iepriekš aprakstīto, Latvija atrodas ļoti labā pozīcijā, lai ar kaņepju audzēšanas un pārstrādes politiku būtu līdzvalsts vismaz Baltijas jūras reģionā ANO rezolūcijas IAM sasniegšanas jomā. Jāņem vērā, ka kaņepes ir unikāls kultūraugs, kas dod iespēju to izmantot gan pārtikā, gan medicīnā, gan apkurē, gan arī citu saimnieciski izmantojamu produktu ražošanā. Pateicoties Latvijas klimatiskajiem apstākļiem, kaņepju selekcijai un pieredzei kaņepju produktu izstrādē, paveras plašas iespējas ietekmēt ne tikai Latvijas, bet arī ES tautsaimniecību, kas attiecināma uz plaša spektra kultūraugu, tai skaitā kaņepju, izmantošanu.

Kaņepes ir ilgtspējīgas attiecībā pret ietekmes uz vidi mazināšanu. Kaņepes kā augu var izmantot augsnes attīrīšanā, konkrēti – fitoremedācijā. [31] Degradēto teritoriju piesārņojums, īpaši vēsturiskais grunts piesārņojums, ir gan Latvijas, gan citu pasaules valstu problēma. Metodes, kas saistītās ar grunts izrakšanu un secīgu ķīmisko vai fizikālo attīrīšanu, ir dārgas, jāņem vērā arī grunts transportēšanas ietekme. Ķīmisko vielu lietošanai jebkurā gadījumā ir savs ietekme, jo ķīmiskie elementi jau vidē nepazūd, tie tikai pārvēršas stabilākos savienojumos. Savukārt augu izmantošana grunts atjaunošanā nerada iepriekšminētās problēmas. Pozitīvi, ka kaņepes spēj attīrīt grunti arī no smagajiem metāliem. [32] Kaņepēm ir piemēroti apstākļi augšanai visā Eiropā, līdz ar to ir plaša lietošanas zona. [5], [21]

Vērtējot kaņepju audzēšanas ilgtspēju, noteikti jāpiemin enerģētika, kas vērtējama kā klimatam neitrāla, jo augu izmantošanā enerģētikā veidojas īsa oglekļa cikls [27], kā arī tas, ka iespējams iegūt enerģiju arī efektīvāk, piemēram, kaņepju gazifikācijas ceļā, nekā izmantojot klasisko dedzināšanu. [33] Tā kā pārtika ražošanas ir globāla prioritāte, tad kaņepe ir reāla ilgtspējīga konkurente arī pārtikas sektorā, tai skaitā nelielās saimniecībās. [34], [35] Latvijā ir labi piemēri, kad nelielas saimniecības, audzējot kaņepes dažos hektāros, spēj attīstīt savu uzņēmējdarbību, ražojot jaunus un daudzveidīgus kaņepju produktus. [36]

1.2. Sējas kaņepju (*Cannabis sativa L.*) audzēšanas apjomi pasaulē, Eiropā un Latvijā

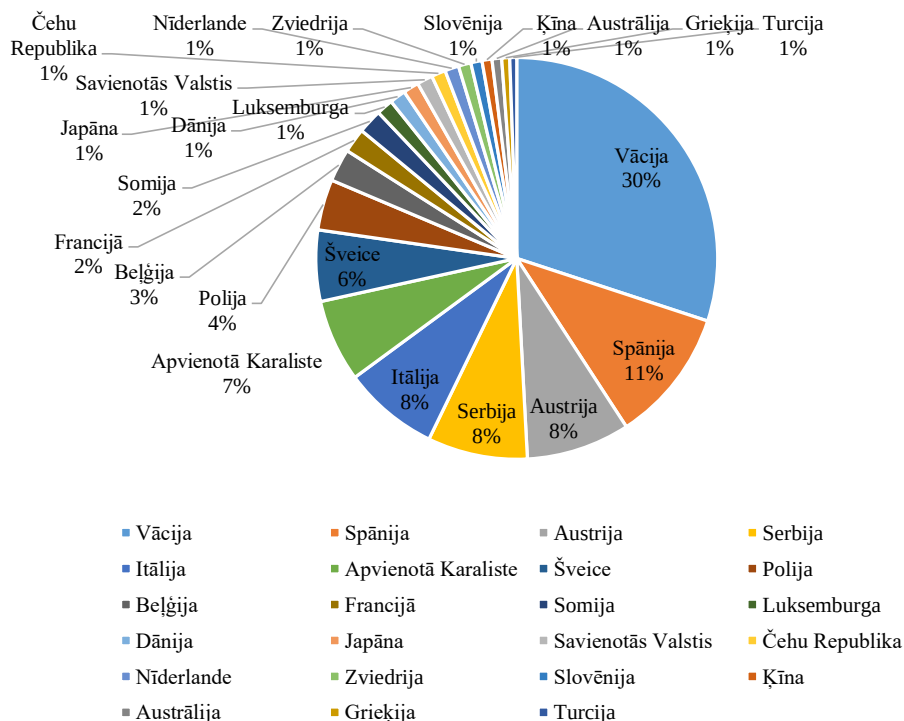
Nozīmīgākās valstis pēc kaņepju audzēšanai izmantojamajām platībām ir sarindojamas šādā secībā: Kanāda, Ķīna, Francija un ASV. Savukārt pasaulē vislielākie eksportētāji mainās atkarībā no kaņepju apstrādes veida. Piemēram, nevērpto, bet citā veidā apstrādāto kaņepju šķiedru lielākās eksportētājvalstis 2020. gadā bija Francija, Horvātija, Nīderlande, ASV un Ķīna. Savukārt vērptas dzijas vislielākā eksportētājvalsts bija Ķīna, apsteidzot citas valstis vismaz 20 reizes. Neapstrādātu vai tilinātu kaņepju eksporta līderes 2020. gadā bija Šveice, Nīderlande un ASV. 2018. gadā kaņepes bija 725. visvairāk tirgotais produkts, kura kopējais tirdzniecības apjoms bija 19,4 miljoni ASV dolāru (USD). 2018. gadā lielākās kaņepju eksportētājas bija Nīderlande (6,89 miljoni USD), Rumānija (3,1 miljons USD), Horvātija (2,72 miljoni USD), Šveice (1,11 miljoni USD) un ASV (1,07 miljoni USD) (1.2.1. att.).



1.2.1. att. Kaņepju eksports pasaulē.

Autores veidots attēls, izmantojot The Observatory of Economic Complexity datus. [37]

2018. gadā lielākās kaņepju importētājas bija Vācija (5,57 miljoni USD), Spānija (1,99 miljoni USD), Austrija (1,54 miljoni USD), Serbija (1,49 miljoni USD) un Itālija (1,43 miljoni USD) (1.2.2. att.). Kaņepju tirdzniecība veido 0,0001 % no pasaules kopējās tirdzniecības. Baltijas valstu vidū kaņepju tirdzniecībā aktīvāk iesaistās Lietuva, eksportējot 3% no kopējā globālā kaņepju eksporta apjoma. [37]



1.2.2. att. Kaņepju eksports pasaulē.

Autores veidots attēls, izmantojot The Observatory of Economic Complexity datus. [37]

ASV kaņepju audzēšana cieta no 1937. gadā pieņemtā “Marihuānas nodokļa”, ko ieviesa, lai kontrolētu narkotisko vielu izmantošanu, taču tas padarīja grūtāku arī kaņepju šķiedras un dažādu izstrādājumu ražošanas ekonomisko pamatojumu. Prezidents Baraks Obama 2014. gadā pieņēma nozīmīgu likumu kaņepju ražošanas attīstības nākotnei. Ar šo likumu tika atļauta industriālā audzēšana pētījumu nolūkos. 2018. gadā tika pieņemts likums par kaņepju audzēšanas legalizāciju. Joprojām kaņepju audzēšana ir atļauta tikai licencētiem

audzētājiem, un šie atvieglojumi attiecas uz tikai uz sējas kaņepi (*Cannabis sativa L.*), kuras sastāvā ir mazāk nekā 0,3 % narkotiskās vielas tetrahidrokanabinola (*THC*). [38]

Pēdējās desmitgadēs daudzās valstīs aizvien vairāk sāk audzēt kaņepes. Arī produktu klāsts ar katru gadu pieaug. [39] ASV laikā no 2015. līdz 2019. gadam sējas kaņepju platības palielinājās par 99 %. Vēsturiski ASV kaņepju sēklas, šķiedras un citus produktus importēja no Kanādas, Ķīnas un ES valstīm (Polijas, Rumānijas, Nīderlandes, Dānijas). ASV valsts līmenī sniedz atbalstu sējas kaņepju audzēšanai un pārstrādei, kā arī būtiski ir pieaugušas investīcijas šajā nozarē. [40] Eiropā visvairāk sējas kaņepes audzē Francijā. [39]

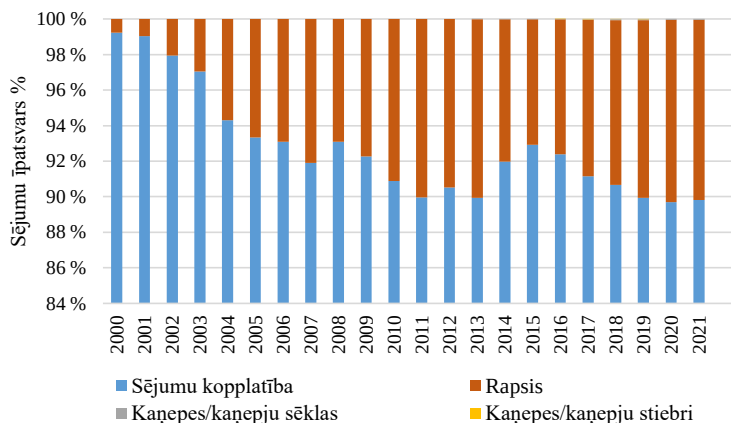
Latvijas Republikas likums “Narkotisko un psihotropo vielu un zāļu, kā arī prekursoru likumīgās aprites likumu” paredz, ka, sākot ar 2020. gada 1. janvāri, Latvijā ir atļauta sējas kaņepju audzēšana rūpnieciskām vajadzībām atklātā laukā, izmantojot tikai ES kopējā augu šķirņu katalogā [41] iekļauto šķirņu sertificētas vai kaņepju saglabājamās šķirnes, oficiāli pārbaudītas sēklas. Izmaiņas normatīvajos aktos veiktas, lai pēc iespējas ierobežotu Indijas kaņepju audzēšanu, ko izmanto narkotisko vielu ražošanai. Latvijā Lauku atbalsta dienesta (LAD) vienoto platību maksājumus var saņemt tikai par kaņepēm, kuru sējā izmantota sertificēta sēkla un ir platībā virs 0,3 ha. [42]

Sējas kaņepju audzēšanai nav nepieciešamas speciālas atļaujas vai licences, nav arī jāatskaitās, kādiem mērķiem tās tiek audzētas. Vienīgais ierobežojums – saskaņā ar Narkotisko un psihotropo vielu un zāļu, kā arī prekursoru likumīgās aprites likumu sējas kaņepju sējumus drīkst ierīkot tikai atklātā laukā, tās nedrīkst audzēt telpās un segtajās platībās – siltumnīcās vai zem plēves. [43]

Pēc LAD datiem, arī Latvijā pēdējā desmitgadē ar kaņepēm apsēto platību lielums ir nedaudz pieaudzis (kopā 2021. gadā nedaudz vairāk kā 1000 ha). LAD sniedz atbalstu platību maksājumu veidā kaņepju audzētājiem, kā arī publicē atbalsttiesīgo vai saglabājamo kaņepju šķirņu sarakstu. Lai saņemtu atbalstu, kaņepju audzētājiem ir jāievēro arī papildnosacījumi – minimālā izsējas norma 25 kg/ha, jānodrošina *THC*, kas ir galvenā kaņepju augu psihoaktīvā viela, monitorings. Latvijas apstākļos augošajām kaņepēm tas ir niecīgs (*THC* < 0,2 %). [44]

Kaņepes ir augs, par kuru cilvēku domas dalās. Liela daļa sabiebrības to stereotipiski asociē ar narkotiskajām vielām, tai pašā laikā pētnieki un uzņēmēji tikai salīdzinoši nesen ir sākuši nopietni interesēties par kaņepju īpašībām un plašajām izmantošanas iespējām. Pēc Latvijas Oficiālā statistikas portāla datiem par lauksaimniecības kultūragu sējumu platībām [45] var secināt, ka lauksaimnieki Latvijā vēl ir pasīvi kaņepju audzēšanā, par ko liecina 1.2.3.

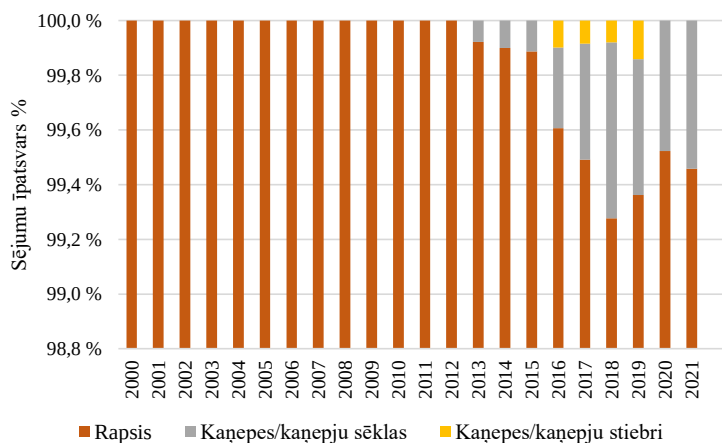
un 1.2.4. attēlā redzamais rapšu un kaņepju sējumu platību salīdzinājums. Nelielas platības tiek sētas kaņepju sēklu iegūšanai (1000 ha 2013. gadā, 8000 ha 2021. gadā. Pēdējos gados netiek audzētas kaņepes stiebrņu iegūšanai (1000 ha 2016. gadā, 2000 ha 2019. gadā).



1.2.3. att. Rapša un kaņepju sējumu īpatsvars % no kopējām sējumu platībām Latvijā.

Autores veidots attēls, izmantojot Latvijas Oficiālā statistikas portāla datus. [45]

Kaņepju sējumu īpatsvars ir ļoti mazs < 1 % un nav saskatāms 1.2.3. attēlā, bet 1.2.4. attēlā tas ir redzams.

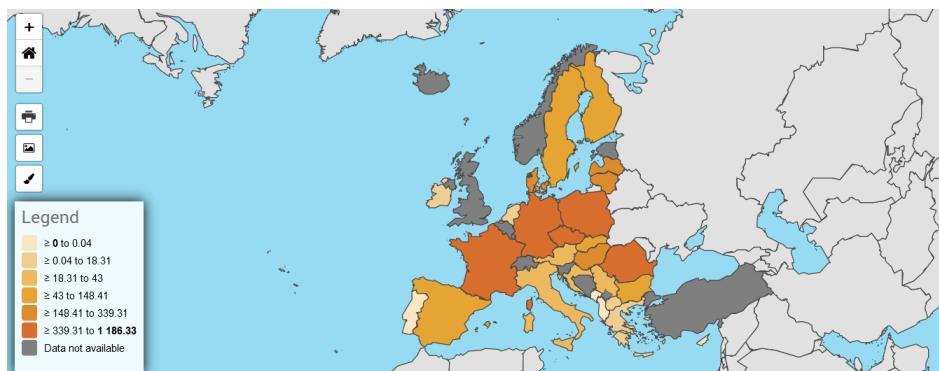


1.2.4. att. Rapša, kaņepju/kaņepju sēklu un kaņepju/kaņepju stiebru sējumu īpatsvars % no kopējām sējumu platībām Latvijā.

Autores veidots attēls, izmantojot Latvijas Oficiālā statistikas portāla datus. [45]

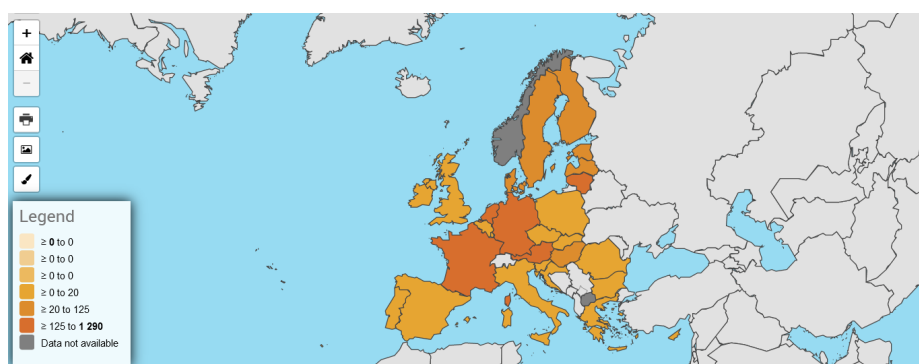
Vērtējot rapšu un kaņepju sējumu platības Eiropā pēc *Eurostat* datiem, var secināt, ka novērojama kopējo rapšu sējumu platība samazināšanās pēdējo četru gadu laikā. [46]

1.2.5. attēlā ir redzamas ar rapsi apsētās platības Eiropā 2022. gadā. Baltijas valstu vidū Latvijā un Lietuvā ir līdzīgas apsēto teritoriju platības.



1.2.5. att. Ar rapsi apsētās platības Eiropā. [47]

1.2.6. attēlā ir redzamas ar kaņepēm apsētās platības Eiropā, kas ir būtiski mazākas nekā rapša sējumu platības. No Baltijas valstīm Lietuvā ir lielākas kaņepju teritorijas nekā Latvijā un Igaunijā.



1.2.6. att. Ar sējas kaņepēm apsētās platības Eiropā. [48]

1.3. Audzēšanas agrotehnoloģiskie rādītāji

1.3.1. Klimatiskie apstākļi

Klimata izmaiņas ir viena no galvenajām vides ietekmes problēmām. Šī ir neizbēgama problēma, ar kuru jātiek galā katrai valstij. Jo vairāk būs pētījumu šajā jomā, jo katra valsts būs gatavāka pārvarēt klimata pārmaiņu radītās grūtības.

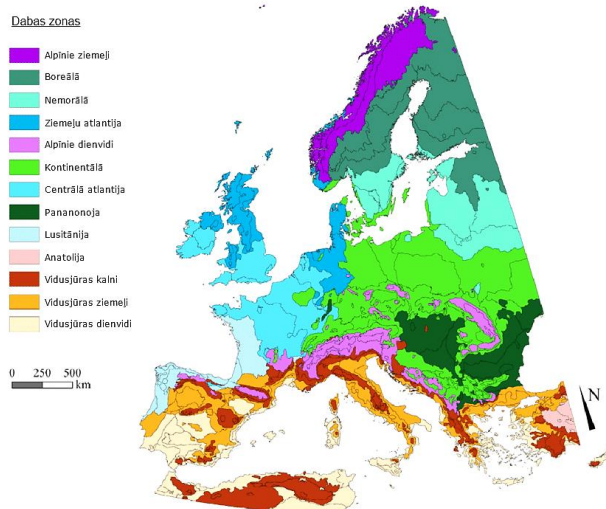
Pamatā ir četri faktori, kas ietekmē kaņepju augšanu un to dzīvotspēju:

- 1) fotosintēze,
- 2) temperatūra,
- 3) nokrišņi,
- 4) augsnes mitrums un sastāvs. [49]

Klimatiskie apstākļi ir viens no būtiskākajiem faktoriem, kas ietekmē kaņepju ražu. [21] Šo faktoru ietekme ir jāizpēta konkrētā kaņepju vietā, lai novērtētu klimatisko faktoru ietekmi uz ražu. [5] Liela daļa pētījumu ir vērsta uz kanabidiola satura noteikšanu kaņepēs saistībā ar klimatiskajiem apstākļiem, jo īpaši temperatūru un nokrišņiem. [50]–[52] Kanabidiols ir farmakoloģiski aktīva viela, kas ir ļoti svarīga medicīnā. [53]

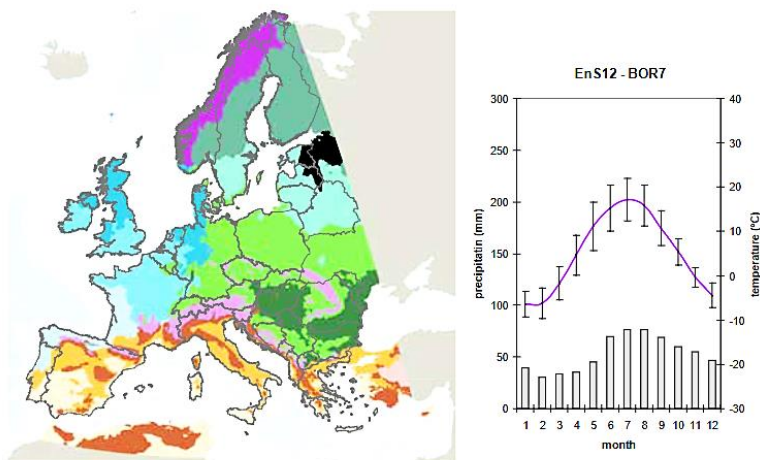
Daudzu eksperimentālo pētījumu rezultāti liecina, ka raža gadu no gada ievērojami svārstās pat praktiski vienādos kaņepju audzēšanas apstākļos. Latvijā ļoti nepastāvīgos agrometeoroloģiskajos apstākļos šādas svārstības ir neizbēgamas. Dažādu kultūru ražas stabilitātes rādītāji ir maz pētīti, jo lauka apstākļos nav iespējami pat divi vienādi gadi. Austrumlatvijā ir novērojamas lielas temperatūras un nokrišņu svārstības veģetācijas periodā. [54], [55] Ūdens trūkuma dēļ var zaudēt līdz pat 43 % vidējās biomasas ražas, zemas temperatūras dēļ ražas zudumi var būt līdz 6,4 %. [56] Temperatūra zem vai virs pieņemamās robežas var pasliktināt gan ražu kopumā, gan šķiedru kvalitāti. Protams, ražu ietekmē ne tikai klimatiskie apstākļi, bet arī šķirne, augsne, mēslojums, izsējas norma u. c. faktori.

Kaņepēm piemērots ir maigs klimats, mitra atmosfēra un nokrišņu daudzums, kas ir vismaz 64–76 cm gadā. Pirms sēklu izsēšanas augsnes temperatūrai jāsasniedz vismaz 5,5–7,7 °C, lai gan sēklas sāk dīgt jau 1 līdz 2 °C temperatūrā, nepieciešamā siltuma summa ir 1800–2000 °C. Eiropas vides stratifikācijas trīspadsmiit dabas zonas redzamas 1.3.1.1. attēlā. [57] Latvijā apmēram 70 % ir nemorālā zona un 30 % boreālā zona, kas dominē Austrumlatvijā. Raksturīgs vēss mērens klimats, augšanas perioda sezona ir īsa (185 dienas). Teritorijas ir līdzēnas, ar nelieliem pauguriem.



1.3.1.1. att. Eiropas vides stratifikācijas dabas zonas. [57]

1.3.1.2. attēlā ir redzams, ka Austrumlatvija atrodas klimatisko apstākļu zonā (iekrāsots melnā krāsā), kur ir iespējams audzēt kaņepes. Šajā teritorijā vismaz 200 dienas gadā temperatūra ir virs $+5^{\circ}\text{C}$, siltuma summa ir 2278°C un vislielākais nokrišņu apjoms ir augu veģetācijas periodā. Tikai svarīgi ir izvēlēties klimatiskajiem apstākļiem vispiemērotākās šķirnes, ņemot vērā audzēšanas mērķi, tas ir, sēklu, šķiedru vai spaļu iegūšana.



1.3.1.2. att. Austrumlatvijas dabas zonas raksturojums. [57]

Pašlaik kaņepes audzē apgabalos, kur vidējā temperatūra svārstās robežās no 5,6 °C līdz 27,5 °C, Latvijā – no 8 °C līdz 18 °C. Tomēr vislabākie augšanas apstākļi ir vidējā diennakts temperatūrā no 13 °C līdz 22 °C, optimālā augšanas temperatūra ir no 21 °C līdz 26,4 °C. Būtisks ir pieejamais ūdens daudzums, īpaši pirmajās sešās augšanas nedēļās. Pieauguši augi, pateicoties plašajai sakņu sistēmai, var izturēt īslaicīgus plūdus un sausuma periodus, taču pēc stresa stāvokļa negatīvi var tikt ietekmēta raža, īpaši smagās augsnēs. Visā augšanas periodā nepieciešami 500 mm līdz 700 mm vai pat 970 mm ūdens, turklāt veģetācijas sākumā apmēram puse no nepieciešamā ūdens.[58]

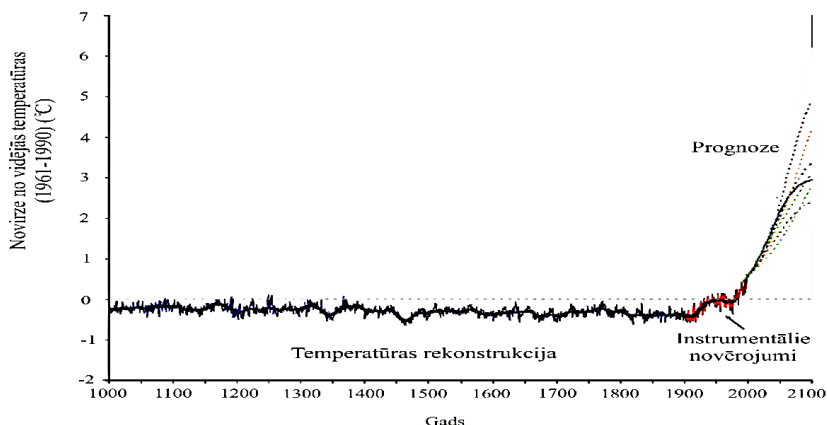
1.3.1.3. attēlā zaļā krāsā iezīmētas teritorijas, kurās ir iespējama sējas kaņepju audzēšana.



1.3.1.3. att. Atbilstoši klimatiskie apstākļi kaņepju audzēšanai (zaļā krāsā). [58]

Teritorijās, kur uz šobrīd ir optimāla temperatūra kaņepju audzēšanai, nākotnē līdz ar temperatūras pieaugumu (1.3.1.4. att.) pasliktināsies ražas kvalitāte, vai tās vispār kļūs nepiemērotas kaņepju audzēšanai, un to audzēšanu nāksies pārcelt uz citiem reģioniem, kuros ir piemērotāka augšanas temperatūra, kas būtu tuvāk Ziemeļpolam. Šīs izmaiņas kaņepēm nebūtu tik sliktas, jo to augšanas teritorija izpletīsies un kļūs labvēlīgāka tādās valstīs kā Krievija, Somija un Norvēģija. Turpretī vietās, kur temperatūra jau ir paaugstināta, var palielināties kaņepju slimību un kaitēkļu daudzums. Mērenās joslas nokrišņu izmaiņas parāda nobīdi uz ziemeļu reģioniem kā optimālām kaņepju audzēšanas zonām. Neskatoties uz to, ka

nākotnē ziemeļu teritorijās klimats kļūtu labvēlīgāks kaņepju audzēšanai, tomēr limitējošie faktori būs augsnes auglība, atšķirīgais dienas ilgums, kas ierobežotu fotosintēzei nepieciešamo apgaismojumu. [49]



1.3.1.4. att. Temperatūras mainība ziemeļu puslodē. [59]

Kā jau minēts iepriekš, noteiktai teritorijai ir sava klimatisko apstākļu specifika un ietekme uz noteiktu kaņepju produktu iegūšanu, izmantojot dažādas šķirnes. Tāpēc veikti pētījumi, lai identificētu klimatisko apstākļu, konkrēti – temperatūras un mitruma, ietekmi uz dažādu kaņepju šķirņu ražību noteikta kaņepju produkta iegūšanai Austrumlatvijā.

1.3.2. Materiāli un metodes

Klimatisko apstākļu, konkrēti – temperatūras un mitruma, ietekmes uz sējas jeb industriālo kaņepju (*Cannabis sativa L.*) ražu izpētei lauka apstākļos tika izvēlētas četras šķirnes: “Pūriņi” (Latvija), “Bialobrzskie” (Polija), “USO 31” (Francija-Ukraina), “Finola” (Somija). Kaņepju šķirne “Pūriņi” ir Latvijā selekcionēta šķirne. Izvēlētās šķirnes ir selekcionētas gan uz ziemeļiem no Latvijas, gan uz dienvidiem. Pētījumam izvēlētās kaņepju šķirnes ir reģistrētas ES augu šķirņu datubāzē [41] (1.3.2.1. tab.). Izvēlētās šķirnes, kurām ir salīdzinoši īss nogatavošanās periods, jo veģetācijas periods Austrumlatvijā ir 185 dienas.

1.3.2.1. tabula

Pētāmās kaņepju šķirnes, kas reģistrētas ES augu šķirņu datubāzē

Šķirne	Audzēšanas gads pētniecībai	Reģistrācija	Izveidotāj-valsts	Piemērotība klimatam	Nogatavošanās periods
<i>Bialobrzeskie</i>	2010–2013	31.12.1967.	Polija	Kontinentālais	Vidējais <140 dienas
<i>Finola</i>	2010–2013, 2019	05.02.2003.	Somija	Kontinentālais	Agrīns <115 dienas
<i>USO 31</i>	2011–2013, 2019	07.06.1999.	Ukraina-Francija	Atlantiskais	Agrīns <125 dienas
Pūriņi	2010–2013, 2019	27.02.2020.	Latvija	Atlantiskais	Agrīns <125 dienas

Autores veidota tabula, izmantojot ES augu šķirņu datubāzes informāciju. [41]

Izmēģinājuma vietas raksturojums: Rēzeknes novada Viļānu pagasts ((N) 56°34,053'; (A) 26°58,868'), 110 metri virs jūras līmeņa, reljefs pārsvarā līdzens un nedaudz paugurains, klimats mēreni kontinentāls, mēreni silts un mitrs. Lauka izmēģinājumi veikti Austrumlatvijā 2010., 2011., 2012., 2013., 2019. gadā. Lauka izmēģinājumu metodoloģija ir parādīta 1.3.2.2. tabulā. Visos parauglaukumos augsne tika uzarta rudenī, pavasarī – veikta sagatavošana ar kombinēto augsnes apstrādes agregātu, kultivēta. Kaņepēm nav nepieciešama speciāla augsnes sagatavošana, līdzīgā kā graudaugiem. Pirms sējas augsnes paraugi analizēti Valsts augu aizsardzības dienesta Agroķīmijas departamenta Agroķīmiskajā laboratorijā. Augsnes agroķīmiskie rādītāji pirms sēšanas – organiskās vielas saturs augsnē 6,5 līdz 7,4 %, pH 6,6 līdz 7,0, P₂O₅ –145 mg/kg līdz 152 mg/kg augsnes, K₂O – 118 mg/kg līdz 112 mg/kg augsnes. Pamatmēslojums pirms sējas fosfors (P₂O₅) - 45 kg/ha, kālija K₂O – 45 kg/ha. Izsējas norma parauglaukumos – 70 kg/ha, sēklas kodinātas.

1.3.2.2. tabula

Lauka izmēģinājumu metodoloģija

Gads	2010	2011	2012	2013	2019
Augsnes tips	Trūdaini podzolēta glejaugsne	Trūdaini podzolēta glejaugsne	Trūdaini podzolēta glejaugsne	Trūdaini podzolēta glejaugsne	Trūdaini podzolēta glejaugsne
Organisko vielu saturs augsnē	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	7,4 %
Augsnes pH	7,0	7,0	7,0	7,0	6,6
P ₂ O ₅	145 mg/kg	145 mg/kg	145 mg/kg	145 mg/kg	152 mg/kg
K ₂ O	118 mg/kg	118 mg/kg	118 mg/kg	118 mg/kg	112 mg/kg
Augsnes apstrāde	Lauks uzarts 2009. gada rudenī, kultivēts 2010. gada pavasarī	Lauks uzarts 2010. gada rudenī, kultivēts 2011. gada pavasarī	Lauks uzarts 2011. gada rudenī, kultivēts 2012. gada pavasarī	Lauks uzarts 2012. gada rudenī, kultivēts 2013. gada pavasarī	Lauks uzarts 2018. gada rudenī, kultivēts 2019. gada pavasarī
Izsējas norma	70 kg/ha	70 kg/ha	70 kg/ha	70 kg/ha	60 kg/ha
Parauglauku ma platība	20 m ²	12 m ²	20 m ²	16 m ²	15 m ²
Atkārtojumi	3	3	3	3	4
Varianti	11	29	29	29	7
Ražas novākšana			Katrai šķirnei no katra varianta novāc 1 m ² kaņepju, sasiņ kūlīšos un nosaka sēklu, šķiedras, spaļu ražu un kopējo biomasu pēc žāvēšanas.		

Autores veidota tabula, izmantojot Latgales Lauksaimniecības zinātnes centra lauka pētījumu ierīkošanas datus.

Kaņepju paraugi tika ņemti no katras šķirnes parauglaukiem (1.3.2.1. att.) četros atkārtojumos.



Pūriņi



Finola



USO 31

1.3.2.1. att. Kaņepju šķirņu Pūriņi, Finola, USO 31 parauglaukumi.

Autores veidots attēls. Avots: SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centra fotoarhīvs.

1.3.2.3. tabulā redzami kaņepju sēšanas un novākšanas datumi. Pēc ražas novākšanas savāktajiem paraugiem noteikta sēklu, stiebru, spaļu, šķiedras un biomasas raža.

1.3.2.3. tabula

Kaņepju sējas un novākšanas datumi

Šķirne	Gads	Sēšanas datums	Novākšanas datums	Veģetācijas dienu skaits
<i>Finola</i>	2010	13. maijs	1. septembris	112
<i>Pūriņi</i>		13. maijs	7. septembris	118
<i>Bialozeberskie</i>		13. maijs	16. septembris	127
<i>Finola</i>	2011	6. maijs	24. augusts	110
<i>Pūriņi</i>		6. maijs	6. septembris	123
<i>Bialozeberskie</i>		6. maijs	22. septembris	139
<i>USO 31</i>		6. maijs	16. septembris	133
<i>Finola</i>	2012	9. maijs	28. augusts	111
<i>Pūriņi</i>		9. maijs	11. septembris	125
<i>Bialozeberskie</i>		9. maijs	26. septembris	149
<i>USO 31</i>		9. maijs	19. septembris	133
<i>Finola</i>	2013	9. maijs	21. augusts	104
<i>Pūriņi</i>		9. maijs	20. augusts	103
<i>Bialozeberskie</i>		9. maijs	6. septembris	89
<i>USO 31</i>		9. maijs	10. septembris	93
<i>Finola</i>	2019	13. maijs	12. septembris	123
<i>Pūriņi</i>		13. maijs	15. septembris	126
<i>USO 31</i>		13. maijs	27. septembris	138

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Kaņepju sēšanas datumi katrai šķirnei kārtējā gadā ir vienādi, bet ražas novākšanas datumi katrai šķirnei ir atšķirīgi (1.3.2.3. tab.), piemēram, 2011. gadā atšķirība ir gandrīz viens mēnesis.

Lauki netika papildus apstrādāti ar minerālmēsliem, tāpēc papildu mēslojuma ietekme uz ražu ir izslēgta. Veģetācijas periodā – no aprīļa līdz septembrim – ir noteikta temperatūra un nokrišņi, lai novērtētu klimatisko apstākļu ietekmi uz kaņepju sēklu, šķiedras un spaļu ražu atkarībā no šķirnes un noteiktu kaņepju šķirnes piemērotību Austrumlatvijas vai līdzīgiem

klimatiskajiem apstākļiem. Datu analīze izmantota, lai noteiktu vispiemērotāko šķirni konkrētam kaņepju produktam: sēklām, spaļiem, šķiedrai.

Ar iekārtu MLKU-6A izžāvētajiem kaņepju paraugiem tika atdalīta lūksne un šķiedra. Pirms atdalīšanas paraugi nosvērti ar laboratorijas svariem HT-NA (precizitāte ± 1 g).

Sēklu, šķiedru un spaļu saturs tika aprēķināti kā trīs atkārtojumu vidējais aritmētiskais. Augu paraugu analīzes veiktas Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Ķīmijas laboratorijā, izmantojot Latvijas valsts noteiktās standarta metodes.

Spaļu un šķiedru saturs (%) tika noteikts katra atkārtojuma vidējam kaņepju paraugam gravimetriski, kas sadalīts divās daļās un žāvēts līdz 8–10 % mitruma. 100 g stiebru no katra parauga tika nosvērti uz precīzajiem laboratorijas svariem *Radweg PS R1* (precizitāte $\pm 0,001$ g), smalcināti un sukāti, lai no šķiedrām atdalītu spaļus.

Hlorofila saturs noteikts ar hlorofilmetru *Minolta SPAD-502, Handy PEA* iekārtu (precizitāte $\pm 1,0$ SPAD vienības). Kaņepju sēklu paraugi attīrīti ar sēklu tīrītāju MNL. Eļļas saturs kaņepju sēklām noteikts ar graudu analizatoru *Infratec 1241tm*, kuram iebūvēts detektēšanas sistēma eļļas satura noteikšanai. Kaņepēm noteikts eļļas saturs sausnā, produktā un pie 8% mitruma. 1000 sēklu masa noteikta 1000 sēklu masas noteikšanas iekārtu *Brauner IVO*.

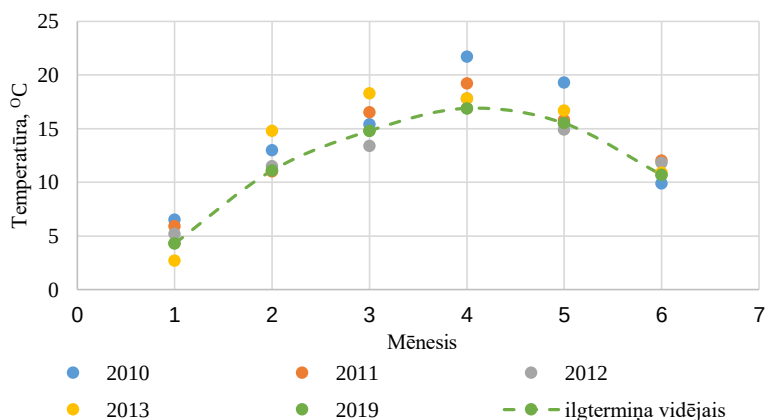
Meteoroloģiskie dati par pētījuma periodu ir ņemti no Viļānu meteoroloģiskās stacijas un ir apkopoti 1. pielikumā.

1.3.3. Klimatisko faktoru ietekmes izvērtējums

Ilggadējie Rīga Universitāte meteostacijas novērojumu dati parāda, ka pastāv cieša korelācija starp augšanai labvēlīgo temperatūru dienām, t. i., dienas, kad vidējā diennakts gaisa temperatūra ir augstāka par 4 °C, un vidējo gaisa temperatūru no aprīļa līdz oktobrim. Tas liecina, ka nākotnē, paaugstinoties vidējai gaisa temperatūrai, ir paredzams arī veģetācijas perioda palielinājums. Augšanas sezonas garums 20. gs. laikā ir palielinājies par 25,9 dienām. [60] Tas nozīmē, ka jāveic regulāra klimatisko faktoru un kaņepju šķirņu ražības izpēte noteiktu kaņepju produktu iegūšanai, lai savlaicīgi izstrādāt rekomendācijas lauksaimniekiem komerciālo kaņepju šķirņu izvēlei noteikta kaņepju produkta – sēklas, šķiedra, spaļi iegūšanai, rekomendējot arī audzēt kaņepes kombinēta lietojuma produktu iegūšanai (vienlaikus gan

sēklas, gan stiebrī). Kopš 2015.gada ir palielinājies zinātnisko publikāciju skaits par kaņepju ražas iegūšanu no kombinēta lietojuma kaņepju šķirnēm. [24]

Latvijā kopumā vidējais veģetācijas perioda dienu skaits variē vairāk kā trīs nedēļu amplitūdā, ko ietekmē ne tikai attiecīgās vieta reģionālā mērogā, bet arī augstums virs jūras līmeņa un reljefs. Mazākais veģetācijas periods ir Latvijas austrumu un ziemeļaustrumu daļās, īpaši augstienēs. [60] Temperatūras mainība lauka pētījumu vietā veģetācijas periodā no 2010. līdz 2013. gadam un 2019.gadā redzama 1.3.3.1. un 1.3.3.2. attēlā.



1.3.3.1. att. Mēneša temperatūra veģetācijas periodā 2010., 2011., 2012., 2013., 2019. gadā un ilgtermiņā vidējais rādītājs Viļānos.

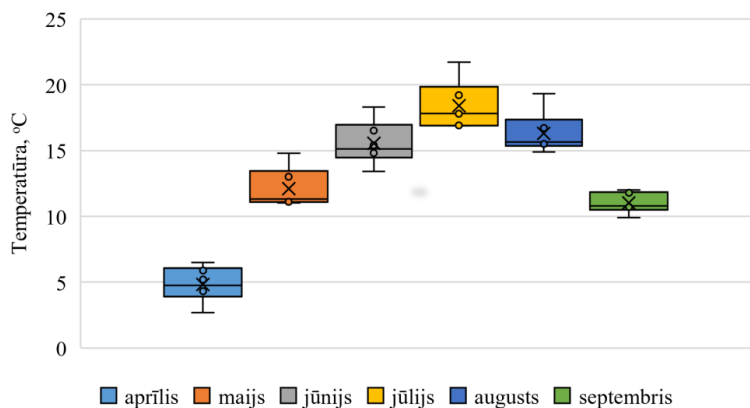
(1 - aprīlis, 2 - maijs, 3 - jūnijs, 4 - jūlijs, 5 - augusts, 6 - septembris)

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas datus.

1.3.3.1. attēlā redzams, ka aizvien biežāk ir novērojamas augstākas vidējās mēneša temperatūras, salīdzinot ar ilgtermiņa vidējo temperatūru, kas apliecina iepriekšminēto veģetācijas perioda palielināšanās tendenci arī Austrumlatvijā. Vidējā temperatūra no aprīļa līdz septembrim bija 13,2 °C, maksimālā 2010.gadā – 14,3 °C, minimālā 2019.gadā – 12,2 °C, bet ilgtermiņa vidējā – 12,2 °C. Pētāmajos gados arī pa mēnešiem pamatā novērota augstākā temperatūra nekā ilgtermiņa vidējā.

Analizējot temperatūru maksimālās un minimālās vērtības pag gadiem mēnešu griezumā, kas apskatāmas 1.3.3.2. attēlā, redzams, ka krasākas temperatūras svārstības bija vasaras mēnešos. Mediānas novietojums parāda, ka no maija līdz augustam biežāk novērojamas

augstas temperatūras. Tas liecina par biežāku ekstremālu laikapstākļu novērošanu tieši kaņepju ziedēšanas laikā.



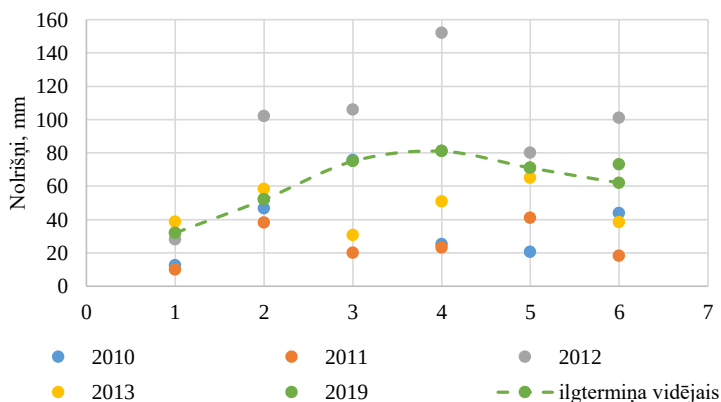
1.3.3.1. att. Temperatūras izmaiņas veģetācijas periodā pa mēnešiem no 2010. līdz 2013. gadam un 2019. gadā.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas datus.

Ekstremālie laikapstākļi raksturo laikapstākļu notikumus, kas ir ekstrēmi vēsturiskā griezumā, īpaši netipiski, bargi vai sezonai neraksturīgi. Ekstremi laikapstākļi to izpausmes veida un ietekmes dēļ visbiežāk tiek definēti lokāli, jo tie ir specifiski un atšķirīgi katrai vietai. Ekstremi laikapstākļi pēc norises veida var būt pēkšņi (intensīva lietusgāze, vētra) vai ilglaicīgi (karstuma viļņi, sausumi). Katrs ekstrēms notikums ir unikāls pēc mēroga, laika norises, atrašanās vietas un iedarbības uz cilvēku dzīves vidi. Mūsdienās veikto pētījumu rezultāti liecina, ka ilggadīgā laika periodā Latvijā novērotas būtiskas ekstremālo klimatisko parādību izmaiņas – biežākas ir kļuvušas ekstremāli karstas dienas un naktis, kā arī dienas ar stipriem nokrišņiem, savukārt ekstremāli aukstas dienas tiek novērotas aizvien retāk. [61]

Kopumā novērojama tendence, ka kaņepju veģetācijas periodā temperatūra palielinās, kas ir labvēlīga kaņepju audzēšanai Austrumlatvijā.

Nokrišņu daudzums veģetācijas periodā pārsvarā ir mazāks par ilglaicīgo nokrišņu vidējo vērtību (1.3.3.3. att.), tikai 2012.gads bija nokrišņiem bagātāks. Vidējais nokrišņu daudzums novērojumu gados no aprīļa līdz septembrim bija 62,2 mm, maksimālais 2012.gadā – 94,8 mm, minimālais 2011.gadā – 25,1 mm, bet ilgtermiņa vidējais – 62,2 mm. Kopumā vasarās nokrišņu daudzums samazinās.

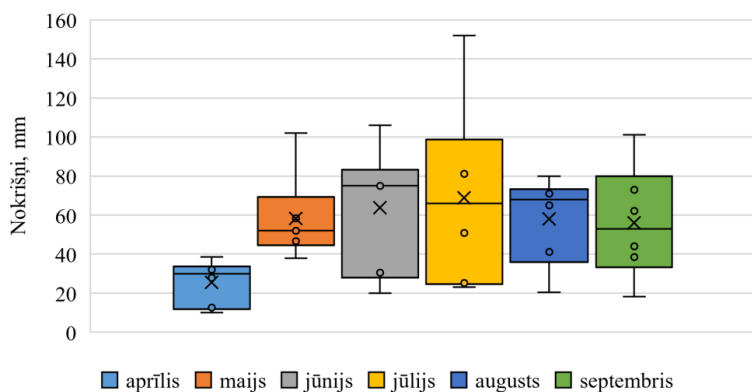


1.3.3.3. att. Mēneša nokrišņi veģetācijas periodā.

(1 - aprīlis, 2 - maijs, 3 - jūnijs, 4 - jūlijs, 5 - augusts, 6 - septembris)

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas datus.

Nokrišņu daudzums, salīdzinot ar temperatūras svārstībām veģetācijas periodā, ir ļoti mainīgs. Maijā nokrišņu ir vairāk nekā vidēji šajā mēnesī, bet jūnijā – mazāk nekā vidēji. Vasaras mēnešos gadu gaitā ir vērojama izteikta nokrišņu mainība, par ko liecina 1.3.3.4. attēlā redzamie maksimālo un minimālo vērtību intervāli. Nokrišņu daudzuma mainīgums augšanas sezonā kļūst krasāks, biežāk novērojams mazāks nokrišņu daudzums.



1.3.3.4. att. Nokrišņu izmaiņas veģetācijas periodā pa mēnešiem no 2010. līdz 2013. gadam un 2019. gadā.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas datus.

Lai izvairītos no augu stresa un iegūtu konkurētspējīgu ražu, aktīvās augšanas laikā, īpaši pirmās sešas nedēļas, ir nepieciešams atbilstošs mitrums. Kaņepes ir jutīgas pret sausuma apstākļiem, un tām ir nepieciešams atbilstošs ūdens daudzums. [62]

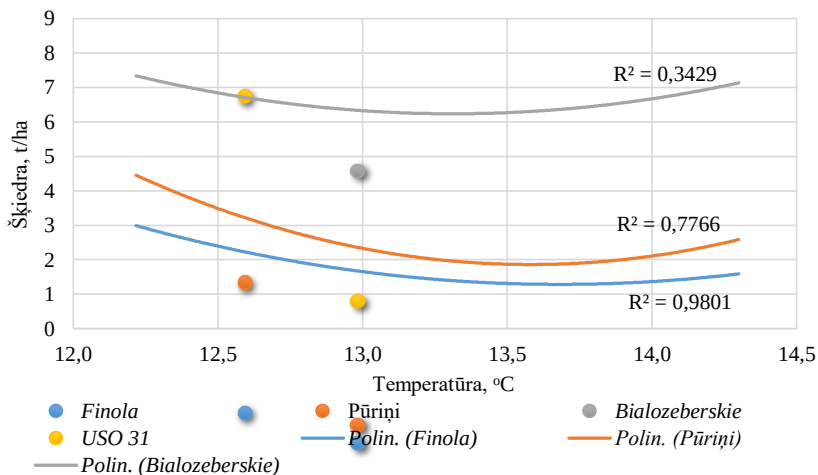
Sējas laikā – parasti aprīlī, maija sākumā – vidējā gaisa temperatūra ir 5 °C, kas ir labvēlīgi apstākļi sēklu dīgšanai. Nokrišņu daudzums aprīlī kopumā ir mazāks nekā citos veģetācijas mēnešos, un krasas izmaiņas nav novērojamas. Tā kā pēc ziemas perioda augsnē ir pietiekami daudz mitruma, apstākļi dīgšanai ir labvēlīgi. Pētījuma periodā 2010. gada aprīlī un maijā bija maz nokrišņu, kas kavēja dīgšanu. Sausajam un karstajam laikam turpinoties maijā un jūnijā, tas negatīvi ietekmēja augu attīstību. Līdzīgi laikapstākļi bija arī 2011.gadā – sauss un karsts laiks. Šādi laikapstākļi samazina stiebru ražu līdz 20 % no vidējās stiebru ražas novērojuma periodā. Lielāks ražas samazinājums bija 2011. gadā, kad nokrišņu daudzums bija vēl mazāks nekā 2010. gadā. Tas vēlreiz apliecina, ka klimatisko apstākļu ietekme ir jāņem vērā, izvēloties šķirni, un lielāka nozīme ir tieši nokrišņu ietekmei.

Vērtējot klimatisko apstākļu svārstības, var secināt, ka augstākus dīgšanas riska faktorus var radīt temperatūras paaugstināšanās un mazais nokrišņu daudzums maijā. Pētījumu periodā maijā nokrišņu daudzums nebija izteikts mazs. Tas mazina augu attīstības riska faktorus, jo augi pret mitruma nepietiekamību jutīgāki ir pirmajās sešās nedēļās. Pētījumā konstatēts, ka laikapstākļi dažādos gados ir diezgan atšķirīgi, tāpēc audzēšanai jāizvēlas tādas šķirnes, kuras ir mazāk jutīgas pret temperatūras un mitruma svārstībām sēšanas laikā un augu attīstības sākumposmā. Salīdzinoši silts un mitrs septembris var pagarināt veģetācijas periodu, tāpēc turpmāk varēs izvēlēties šķirnes ne tikai ar īsu, bet arī ar vidēju veģetācijas periodu.

Kopumā ekstrēmi laikapstākļi ietekmē tautsaimniecības jomas, kas cieši saistīti ar klimatu, piemēram, lauksaimniecība, mežsaimniecība, tūrisms u. c.

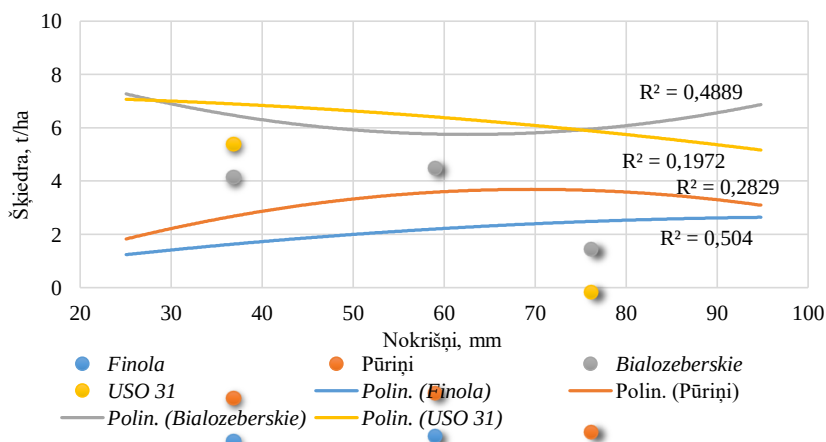
Attēlos 1.3.3.5. – 1.3.3.10. parādītas matemātisko pārveidojumu ceļā iegūto vidējo ražas vērtību atkarība no vidējās temperatūras un vidējā nokrišņu daudzuma veģetācijas periodā. Vidējo vērtību iegūšanai izmantoti 2010., 2011., 2012., 2013., 2019. gadu četru kaņepju šķirņu ražības pētījumu rezultāti (2. pielikums) un attiecīgā perioda klimatisko apstākļu rādītāji (1. pielikums).

Pētāmo kaņepju šķirņu vidējās šķiedru ražas t/ha atkarība no vidējās temperatūras un nokrišņu daudzuma redzama 1.3.3.5. un 1.3.3.6. attēlā. Izmantoti SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu, kas veikti pēc 1.3.2. nodaļa aprakstītās metodikas, rezultāti.



1.3.3.5. att. Šķiedru ražas atkarība no temperatūras.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas un SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

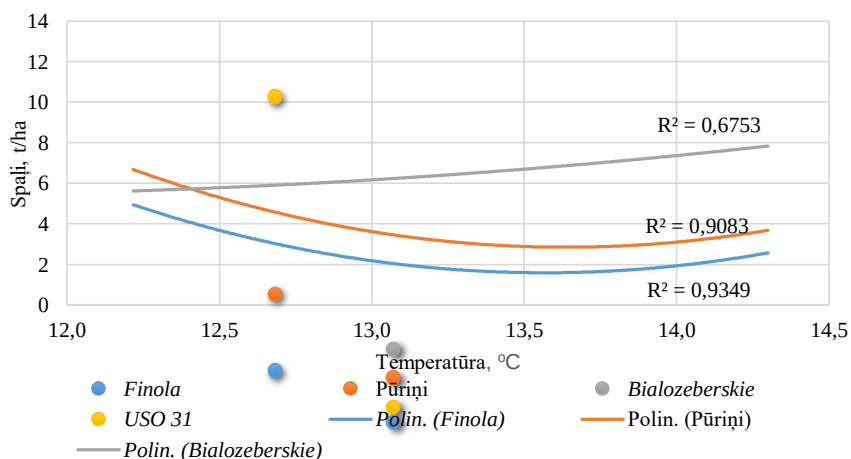


1.3.3.6. att. Šķiedru ražas atkarība no nokrišņu daudzuma.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas un SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Šķiedru raža ir augstāka mērenā mitrumā un zemākā temperatūrā. Paaugstinoties temperatūrai, ievērojami samazinās šķiedru raža šķirnēm “Finola” un “Pūriņi”, nedaudz samazinās “USO 31”, savukārt šķiedras ražu šķirnei “Bialobrzeskie” temperatūras svārstības

praktiski neietekmē. “*Bialobrzeskie*” ir arī augstāki šķiedru iznākuma absolūtie skaitļi neatkarīgi no novērošanas gada. Savukārt šķirnēm “*Finola*” un “*Pūriņi*” mitruma palielināšanās palielina šķiedras ražu, “*USO 31*” – nedaudz samazina, “*Bialobrzeskie*” neietekmē.

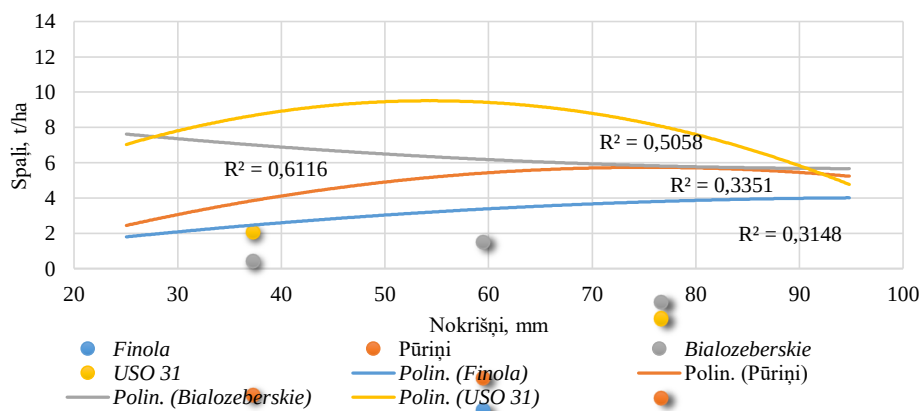


1.3.3.7. att. Spaļu ražas atkarība no temperatūras.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas un SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Līdzīga augsta līmeņa datu izkliede un korelācijas, salīdzinot ar šķiedras ražu, ir novērotas spaļu ražā (1.3.3.7. un 1.3.3.8. att.), izņemot “*Bialobrzeskie*”, kur spaļu raža palielinājās augstākas temperatūras dēļ, bet nedaudz samazinājās mitruma ietekmē. Lielā nokrišņu daudzumā (veģētācijas periodā virs 80 mm) un zemā temperatūrā (ap 12,5 °C augšanas sezonā) spaļu daudzums ir vismazākais visām pētāmajām šķirnēm. Šajā pētījuma netiek salīdzinātas absolūtās ražas vērtības nevienam kaņepju produktam, jo pētījuma mērķis ir izpētīta klimatisko faktoru ietekmes tendenci. Jāpiezīmē, ka pētāmās šķirnes pamatā ir paredzētas sēklu vai šķiedru iegūšanai, nevis kombinētai izmantošanai.

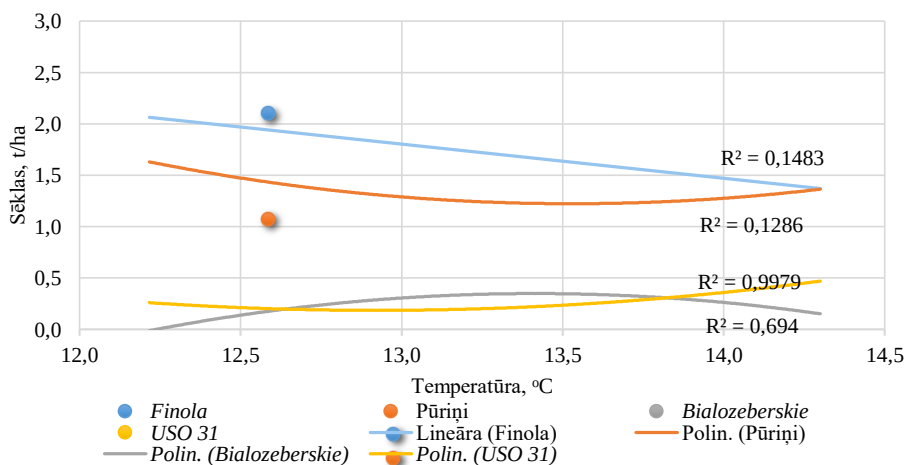
Kombinēta audzēšana gan šķiedras, gan eļļas ieguvei ir problemātiska atšķirīgo novākšanas laiku dēļ. Šķiedras kaņepes ir jānovāc zaļā veidā, un tas var notikt augustā vai septembra sākumā, turpretī sēklu ieguves gadījumā ir jāsagaida pilnīga nogatavošanās, un līdz ar to novākšana var notikt tikai septembra beigās. [63]



1.3.3.8. att. Spaļu ražas atkarība no nokrišņu daudzuma.

Autores veidots attēls. Avots: Viļānu meteoroloģiskās stacijas un SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu dati.

No veiktās datu analīzes var secināt, ka identiskos augšanas apstākļos šķirne “*Bialobrzskie*” ir stabilāka un mazāk atkarīga no klimatiskajiem apstākļiem apstākļiem šķiedru un spaļu ražošanas ziņā. “*Bialobrzskie*” arī dod lielāku kopējo zaļās masas ražu no hektāra.

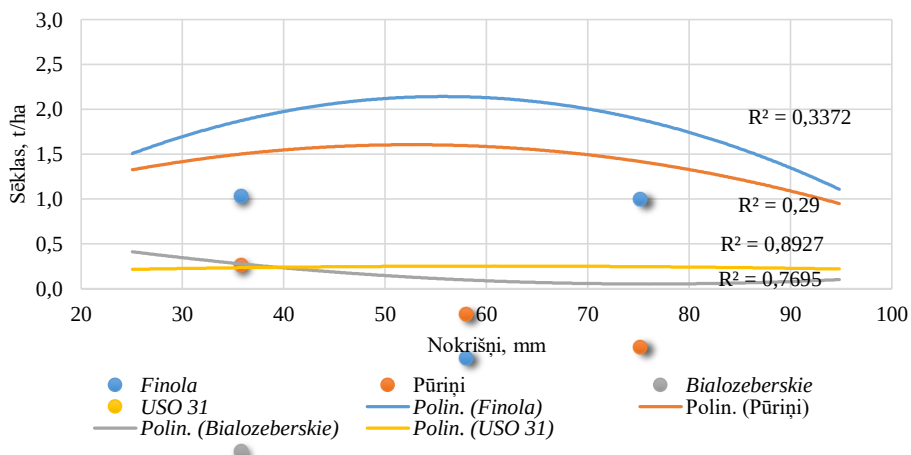


1.3.3.9. att. Sēklu ražas atkarība no temperatūras.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas un SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Visām šķirnēm sēklu raža samazinās, ja nokrišņu daudzums pārsniedz 80 mm, kas pārsniedz ilgtermiņa vidējos rādītājus (1.3.3.9. un 1.3.3.10. att.). Šķirne “*Finola*” dod lielāku

sēklu ražu mainīgos klimatiskajos apstākļos. Vislielākā zaļās masas raža novērota lielākā mitrumā, taču par temperatūras ietekmi secinājumus izdarīt nevar. Līdzīga augsta līmeņa datu izkliede un korelācijas ir novērotas sēklu ražai. Nepietiekams mitrums kavē kaņepju attīstību. Literatūrā [64] norādīts, ka, lai iegūtu lielāku ražu, kaņepju lauki ir pat jāapūdeņo.



1.3.3.10. att. Sēklu ražas atkarība no nokrišņu daudzuma.

Autores veidots attēls, izmantojot Viļānu meteoroloģiskās stacijas un SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Klimatisko faktoru analīze liecina, ka temperatūras un nokrišņu ietekme uz sēklu, spaļu un šķiedru ražu ir ļoti atkarīga no šķirnes. Tādējādi ir iespējams identificēt dažādas kaņepju šķirnes, lai iegūtu konkrētu kaņepes saturošu produktu.

Kaņepju ražu spēcīgāk ietekmē nokrišņu daudzums, liela nokrišņu daudzuma gadījumā nesamazinās tikai biomasa. Ražas samazināšanos augsta mitruma un zemas temperatūras ietekmē bieži skaidro ar sēnīšu augšanu uz augiem.

Dažu parametru analīzē nevarēja noteikt temperatūras ietekmi, jo Latvijā kopumā temperatūra ir nepietiekama kaņepju pilnvērtīgai attīstībai.

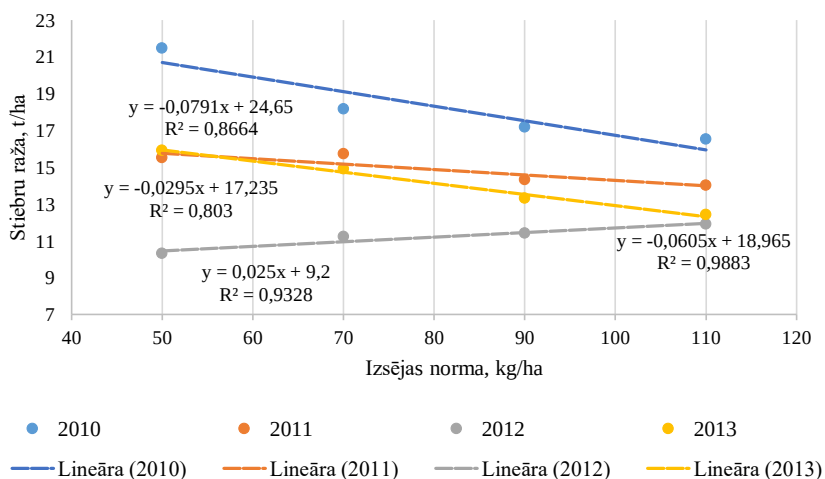
Austrumlatvijas mainīgajos klimatiskajos apstākļos primāri sēklu iegūšanai vislabāk ir audzēt agrīnās šķirnes ar īsu veģetācijas periodu. No pētītajām šķirnēm sēklaudzēšanai var ieteikt “Finola”. “Bialobrzskie” ir piemērota šķiedrām un spaļiem. Kopumā kaņepju šķiedru un spaļu raža ir mainīga, tāpēc ekonomiski izdevīgāk izmantot visas auga daļas, tai skaitā blakusproduktus.

1.3.4. Izsējas normas ietekme

Kaņepju šķirņu stiebru, šķiedru, spaļu, sēklu raža un kvalitāte ir atkarīga arī no izmantotās izsējas normas. [65] Izsējas norma praktiski neietekmē kaņepju siltumspēju un pelnainību. [66]

Pētījuma metodika aprakstīta 1.3.2. nodaļā. Pētījumā laikā veģetācijas periodā tika veikta mēslošana ar amonija salpetri N 60 kg/ha.

Kaņepju šķirnei “*Bialobrzeskie*” tika noteikta izsējas normas ietekme uz stiebru, šķiedru, spaļu un sēklu ražu. Visos pētījumu gados ir konstatēts, ka, palielinot kaņepju izsējas normu, samazinās kaņepju stiebru raža. Izņēmums ir 2012.gads (1.3.4.1. att.), kad nokrišņu daudzums bija virs ilggadējiem vidējiem rādītājiem (1.3.3.3.att.), bet temperatūra zem ilggadējiem vidējiem rādītājiem (1.3.3.1. att.), īpaši vēss un lietains bija jūnijs un augusts. Iespējams, ka kaņepju augšanai nelabvēlīgie meteoroloģiskie apstākļi, bija iemesls zemākai stiebru ražai kopumā.



1.3.4.1. att. Stiebru ražas atkarība no izsējas normas šķirnei “*Bialobrzeskie*”.

Autores veidots attēls, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Izmantojot datu regresijas analīzē iegūto empīrisko vienādojumu pie ciešas pozitīvās korelācijas un augstākām ražām (1), var aprēķināt indikatīvo stiebru ražu.

$$R_s = 23,02 - 0,044 \cdot n, \quad (1.)$$

kur

R_s – stiebru raža, t/ha;

n – izsējas norma, kg/ha.

Līdzīgā veidā iespējams iegūt empīriskās sakarības arī citu kaņepju produktu ražas aprēķināšanai. Tādā veidā iespējams noteikt optimālo izsējas normu viena vai vairāku kaņepju produktu iegūšanai no noteiktas šķirnes.

1.3.4.1. tabulā apkopota kaņepju šķirnes “*Bialobrzесьkie*” stiebru un sēklu raža, kā arī lūksnes saturs % un eļļas saturs sausnā % par 2010. gada pētījumiem. Kaņepju šķirnei “*Bialobrzесьkie*” dažādu izsējas normu gadījumā vidējā sēklu raža ir 0,22 t/ha. Augstākā sēklu raža (0,39 t/ha) iegūta, kad izsējas norma bija 50 kg/ha. Palielinot izsējas normu, būtiski samazinājās iegūtā sēklu raža. Kad izsējas norma bija 110 kg/ha, iegūtā sēklu raža bija 0,08 t/ha, ražas samazinājums – 0,31 t/ha. Palielinot kaņepju šķirnei “*Bialobrzесьkie*” izsējas normu no 50 kg/ha līdz 110 kg/ha, 1000 sēklu masa samazinās no 10,46 g līdz 9,98 g.

1.3.4.1. tabula

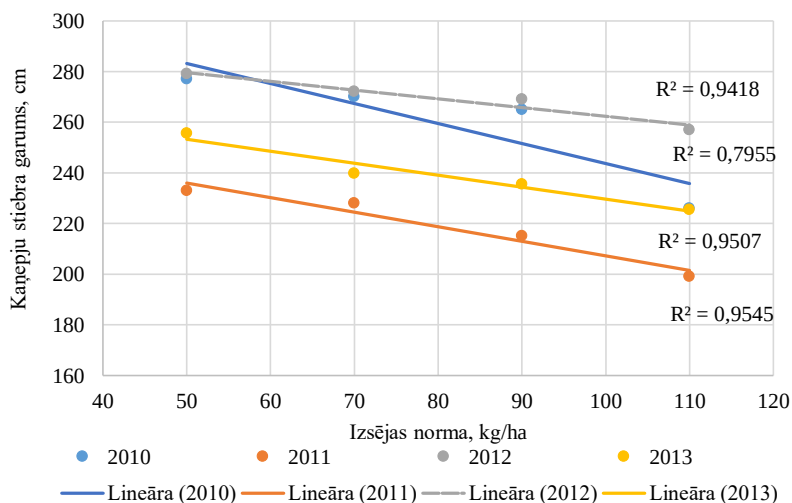
“*Bialobrzесьkie*” sēklu izsējas normas ietekme uz
kaņepju stiebru un sēklu ražu 2010. gadā

Sēklu izsējas norma, kg/ha	Augu biezība uz m ²	Kaņepju stiebru raža			Lūksnes saturs, %	Sēklu raža			Eļļas saturs sausnā, %	1000 sēklu masa, g
		t/ha	±t/ha	%		t/ha	±t/ha	%		
50	128	21,45	0	100	32,1	0,39	0	100	33,0	10,46
70	152	18,15	-3,30	85	29,2	0,28	-0,11	72	32,5	10,07
90	216	17,17	-4,28	80	28,5	0,13	-0,26	33	32,2	10,08
110	260	16,50	-4,95	77	28,9	0,08	-0,31	21	31,4	9,98

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Palielinot izsējas normu, novērojama sēklu ražas krasāka samazināšanās nekā stiebru ražai. Tāpat samazinās lūksnes un eļļas saturs. Līdzīgas tendences tika novērotas arī 2011., 2013., 2014. pētījumu gados. Tas nozīmē, ka var piemērot zemākās izsējas normas, tādā veidā samazinot sēklu iegādes izmaksas. Tāpat zemākas izsējas normas var piemērot resursu pieejamības problēmu gadījumā un sasniegt labu kaņepju stiebru un sēklu ražu.

Izpētot izsējas normas ietekmi uz kaņepju stiebru garumu (1.3.4.2. att.), var secināt, ka pie zemākām izsējas normām kaņepju stiebru garums ir lielāks. Stiebru garuma izmaiņa ir tieši saistīta ar stiebru ražas izmaiņām. 1.3.4.1 tabulā redzams, ka izsējas norma korelē ar augu blīvumu, kas ietekmē arī šķiedras kvalitāti. Augiem konkurējot par gaismu liela blīvuma gadījumā, rezultāts ir īsāki un tievāki stublāji, tiek ietekmēts arī auga diametrs, kas saistīts ar šķiedras kvalitāti. Atdalot lūksnu no tieviem stiebriņiem, iegūst smalkus spaļus un to atdalīšanas efektivitāte ir zemāka. Līdz ar to viskvalitatīvāko lūksnu var iegūt, to atdalot no stiebriņiem, kas auguši šādā blīvumā: 60 līdz 120 augi uz m². [63], [65] Tas nozīmē, ka izsējas normai jābūt 50 kg/ha vai vēl mazākai.



1.3.4.2. att. Izsējas normas ietekme uz kaņepju stiebru garumu šķirnei “*Bialobrzesskie*”.

Autores veidots attēls, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Vairākus gadus (2010–2013) novērojot augu stiebru garuma izmaiņas no sēšanas brīža līdz novākšanai, ir novērojama augu garuma difference. 2013. gada rezultāti redzami 1.3.4.2. tabulā. 2013. gada 9. maijs – sēšanas laiks, 20. maijs – masveida dīģšana, 26. augusts – masveida ziedēšana, 16. septembris – masveida ziedēšanas beigu posms, 10. septembris – novākšanas laiks. Veģetācijas sākumposmā augu stiebru garuma atšķirības nav izteiktas, bet, augiem

attīstoties, atšķirības kļūst izteiktākas un atkal novērojama tendence, ka, pieaugot izsējas normai, samazinās augu stiebru garums.

1.3.4.2. tabula

Izsējas normas ietekme uz kaņepju stiebru garumu cm šķirnei “*Bialobrzesskie*”

veģetācijas periodā 2013. gadā						
Izsējas norma, kg/ha	12.06.	22.06.	02.07.	12.07.	23.07.	12.08.
50	60,2	92,6	154,1	194,2	216,7	255,6
70	62,8	97,8	148,2	188,9	204,5	239,8
90	63,4	95,3	150	184,2	201,6	235,5
110	63,2	90,4	142,6	173,7	187,7	225,5

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Atkarībā no kaņepju produkta iegūšanas mērķa (sēklas, šķiedra vai spaļi) jāmaina izsējas norma. [10] Balstoties uz pētījumu rezultātiem, rekomendējamā izsējas norma šķiedru un spaļu iegūšanai ir 40 kg/ha līdz 60 kg/ha, savukārt sēklu iegūšanai – 50 kg/ha, 45 kg/ha [67] vai pat mazāk. Piemēram, Francijā rekomendējamās izsējas norma ir vēl zemāka – 40 kg/ha līdz 50 kg/ha, atstarpe starp rindām 12 cm līdz 15 cm. [27] Novērots, ka retos sējumos kaņepes izaug žuburotākas, dodot lielāku ziedu un sēklu daudzumu. Savukārt žuburotākām kaņepēm ir grūtāk novākt stiebrus. Sējas jeb industriālo kaņepju stiebru raža, līdz ar to arī šķiedras un spaļu raža, ir atkarīga no kaņepju stiebra garuma veģetācijas periodā, ko arī ietekmē izsējas norma. Variējot ar izsējas normām, var panākt gan vēlamā kaņepju produkta ražas pieaugumu, gan arī samazināt izdevumus, kas saistīti ar izsējamo sēklu daudzumu.

1.3.5. Slāpekļa mēslojumam izvirzītās prasības

Kaņepes ir viengadīgs augs, kas aug no sēklām. Tas aug dažādās augsnēs, bet vislabāk aug zemē, kas dod augstu kukurūzas ražu. Augsnei jābūt labi drenētai, bagātai ar slāpekli un bez skābuma. [23] Tā kā slāpeklis ir nozīmīgākais biogēnais elements kaņepju attīstībā, padziļināti izvērtēta tā pielietotā daudzuma ietekme uz dažādu kaņepju šķirņu stiebru un sēklu ražu. Pētījuma metodika aprakstīta 1.3.2. nodaļā.

Slāpekļa mēslojuma devas efektivitātes noteikšanai tika izmantotas šādas slāpekļa mēslojuma devas: N 30 kg/ha, N 60 kg/ha, N 90 kg/ha, N 100 kg/ha, kā arī kontrollauciņš, kurā netika veikta mēslošana. Katrs parauglauciņš tika novākts atsevišķi, kaņepes sasieta kūlīšos,

izžāvētas, tad noteikta raža. No katra parauglauciņa 10 tipiskiem augiem noteikts augu kopējais garums un lūksnes daudzumu %. 1000 sēklu masa un eļļas saturs tajās noteikts ar graudu kvalitātes analizatoru “Infratec 1241”. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Ķīmijas laboratorijā noteikts spaļu un šķiedras saturs.

Analizējot slāpekļa mēslojuma ietekmes efektivitāti salīdzinājumā ar kontrollauciņā iegūto ražu, var secināt, ka ražas pieaugums ir novērojams visām pētāmajām šķirnēm. Pilna informācija par pētījumos iegūtajiem datiem ir 2.pielikumā. Piemēra, 2019.gada pētījumos līdz ar slāpekļa mēslojuma devas palielināšanu stiebru raža svārstās robežās no 0,23 % (ja N 30 kg/ha) līdz 3,4% (ja N 90 kg/ha) (1.3.5.1. tab.).

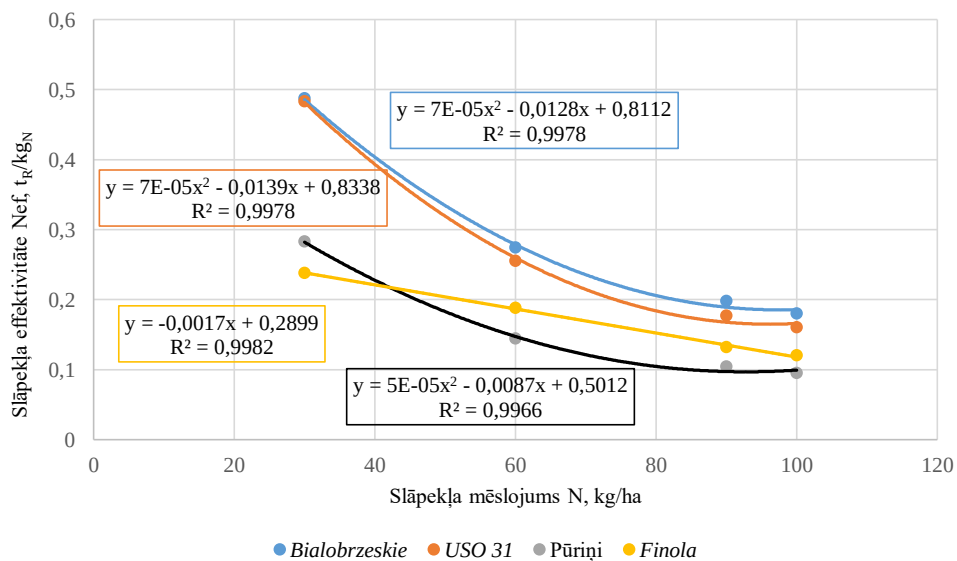
1.3.5.1. tabula

Kaņepju stiebru raža atkarībā no izmantotā slāpekļa mēslojuma 2019.gada pētījumos			
Slāpekļa mēslojuma deva, kg/ha	Kaņepju stiebru raža		
	t/ha	±t/ha	%
<i>Bialobrzieskie</i>			
0	14,40		
30	14,63	0,23	101,62
60	16,43	2,03	114,12
90	17,80	3,40	123,61
<i>USO 31</i>			
0	13,43		
30	14,50	0,93	112,39
60	15,33	1,13	115,04
90	15,93	1,83	124,34
<i>Pūriņi</i>			
0	7,53		
30	8,47	0,93	112,39
60	8,67	1,13	115,04
90	9,37	1,83	124,34

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Izteiktāks stiebru ražas procentuālais pieaugums uz hektāru novērojams šķiedru kaņepju šķirnēm, nevis šķirnei “Pūriņi”, kas ir sēklu šķirne. Masas ziņā vislielākais pieaugums ir šķirnei “*Bialobrzieskie*”, kurai novērots arī vislielākais augu garuma pieaugums. Vērtējot izlietotā slāpekļa mēslojuma efektivitāti, var secināt, ka lielās slāpekļa devas dod relatīvi zemāku stiebru ražas pieaugumu. Slāpekļa mēslojuma izmantošanas efektivitāte uz kaņepju stiebru ražu ir redzama 1.3.5.1. attēlā. Kaņepju šķirnēm “*Bialobrzieskie*” un “*USO 31*”, kas vairāk izmantojama šķiedras iegūšanai, jo auga stiebrs ir ievērojami garāks, nav jāizmanto

mēslojums, kas pārsniedz N 30 kg/ha, ja augsnē ir augsts organisko vielu saturs (6,5%). Arī citos pētījumos ir norādīts, ka, audzējot kaņepes trūdaini podzolētā glejotā, smilšmāla vai mālsmits augsnēs rekomendējama zemāka slāpekļa mēslojuma deva (40 – 90 kg/ha). [10], [23], [65] Tādā veidā tiek mazināta slodze uz vidi ar iespējamo slāpekļa izskalošanos, kā arī minerālmēslojuma izmantošana. Tas samazina arī citus izdevumus un ietekmes uz vidi.



1.3.5.1. att. Slāpekļa izmantošanas efektivitāte kaņepju audzēšanā.

Autores veidots attēls, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Slāpekļa mēslojuma izmantošanas efektivitāte N_{ef} ir kaņepju ražas t_R/ha attiecība pret izmantoto slāpekli N , kg_N/ha . Efektivitātes mērvienība N_{ef} , t_R/kg_N .

Izmantojot empīriski iegūto vienādojumu šķirnei “Bialobrzeskie” (2.), var izvērtēt gan lielāku, gan mazāku slāpekļa mēslojuma devu izmantošanas efektivitāti. Rezultāts uzskatāmi parāda slāpekļa mēslojuma efektivitāti.

$$N_{ef} = 7e^{-0,5N^2} - 0,0139N + 0,8338, \quad (2.)$$

kur

N_{ef} – M mēslojuma izmantošanas efektivitāte, t_R/kg_N ;

N – slāpekļa mēslojuma deva, kg/ha .

Tika noteikts arī lūksnes saturs kaņepju stiebrs. Lūksnes saturs vietējām kaņepēm “Pūriņi” pie dažādām slāpekļa mēslojuma devām no 24,6 % pie N 60 kg/ha līdz 25,3 % pie N 100 kg/ha. Kontroles variantā lūksnes saturs ir 24,9 %. Kaņepju šķirnei “*Bialobrzeskie*” lūksnes saturs ir lielāks (attieciņi no 28,5 % līdz 34,2 %). Visaugstākais lūksnes saturs pie slāpekļa mēslojuma devas N 100 kg/ha – 34,2 %.

Kā papildindikators slāpekļa mēslojuma ietekmes izpētē tika noteikts hlorofila saturs kaņepju lapās. Tas noteikts ar hlorofila mērītāju *Minolta SPAD-502*. Hlorofila mērījumi veikti augustā. Iegūto rezultātu analīze norāda uz slāpekļa nodrošinājumu kaņepju augos.[68]

Slāpekļa mēslojums pozitīvi ietekmē hlorofila daudzumu gan Latvijas izcelsmes paraugā “Pūriņi”, gan “*Bialobrzeskie*” šķirnes kaņepju lapās. Raksturīgi, ka lielāks hlorofila daudzums ir N 60 kg/ha, nevis N 100 kg/ha variantu augu lapās. Tas netieši liecina, ka mēslojuma deva N 100 kg/ha ir par lielu un negatīvi ietekmē hlorofila biosintēzi (1.3.5.2. tab.).

1.3.5.2. tabula

Kaņepju šķirņu sēklu raža un kvalitāte atkarībā no izmantotās slāpekļa mēslojuma devas 2010.gads

Šķirnes nosaukums, variants	Kaņepju sēklu raža			Eļļas saturs sausnā, %	Eļļa saturs %, ja mitrums8 %	1000 sēklu masa, g	Hlorofila saturs, SPAD vien.
	t/ha	±t/ha	%				
Pūriņi							
N 0	1,30			39,6	36,4	12,49	37,4
N 60 kg/ha	1,67	+0,37	128	38,6	35,5	12,83	45,2
N 100 kg/ha	1,79	+0,49	138	38,5	35,4	12,87	44,6
Bialobrzeskie							
N 0	0,16			30,8	28,3	10,07	45,7
N 60 kg/ha	0,18	+0,02	112	32,5	29,9	10,26	48,7
N 100 kg/ha	0,28	+0,12	175	32,8	30,1	10,88	47,9

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

Otrais no kaņepēm iegūstamais produkcijas veids ir sēklas. Iegūto ražas datu matemātiskā apstrāde veikta pēc dispersās analīzes metodes. Kaņepju sēklu raža un kvalitāte parādīta 1.3.5.2. tabulā. Iegūtie sēklu ražas dati parāda, ka slāpekļa mēslojuma lietošana nodrošināja kaņepju sēklu ražas pieaugumu. Vietējām kaņepēm “Pūriņi” vidējā sēklu raža ir 1,59 t/ha. Izmantojot slāpekļa mēslojumu N 100 kg/ha, iegūtā sēklu raža ir 1,79 t/ha, ražas

pieaugums, salīdzinot ar kontrollauciņu ir 0,49 t/ha jeb 138 %. Izmantojot slāpekļa mēslojumu N 60 kg/ha, iegūtā kaņepju sēklu raža ir 1,67 t/ha, ražas pieaugums ir 0,37 t/ha jeb 128 %. Situācija ir līdzīga kā ar kaņepju stiebru ražu, kad absolūtajos skaitļos lielāks ražas pieaugums ir novērojams pie lielākām slāpekļa devām, bet, izvērtējot slāpekļa mēslojuma efektivitāti, tā samazinās līdz ar slāpekļa devu palielināšanu.

Kaņepju šķirnei “*Bialobrzесьkie*” izmēģinājumā dažādu slāpekļa mēslojuma devu gadījumā vidējā sēklu raža ir 0,21 t/ha. Kontrollauciņā, kur slāpekļa mēslojums netika lietots, iegūta zemāka kaņepju sēklu raža 0,16 t/ha. Lielāks kaņepju sēklu ražas pieaugums iegūts, izmantojot slāpekļa mēslojumu N 100 kg/ha, kur iegūtā sēklu raža ir 0,28 t/ha un ražas pieaugums, salīdzinot ar kontrollauciņu, ir 0,12 t/ha jeb 175 %. Lai gan pieaugums procentos ir liels, absolūtajos skaitļos tas ir mazs. Šķirnei “*Bialobrzесьkie*” nav lietderīgi izmantot lielas mēslojuma devas sēklu iegūšanai. Balstoties uz pētījumu rezultātu analīzi, komerciāli izdevīgākai šķiedru kaņepju šķirnes “*Bialobrzесьkie*” audzēšanai trūdvielām bagātās augsnes rekomendējams izmantot nelielas slāpekļa mēslojuma devas (30 kg/ha), paredzot kompleksu kaņepju izmantošanu (iegūt sēklas un stiebrus) pie labvēlīgiem meteoroloģiskiem laika apstākļiem.

Iegūtā kaņepju sēklu ražas kvalitāte novērtēta ar graudu analizatoru *Infratec 1241*TM, kuram iebūvēta speciāla iekārta eļļas satura noteikšanai kaņepēm. Eļļas saturs pie 8 % mitruma vietējām kaņepēm “Pūriņi” ir 35,4–36,4 %. Kaņepju šķirnei “*Bialobrzесьkie*” eļļas saturs pie 8 % mitruma ir 28,3–30,4 %. Slāpekļa mēslojuma devas nav būtiski ietekmējušas eļļas saturu kaņepēs. Arī 1000 sēklu masa ir lielāka vietējām kaņepēm “Pūriņi”. Palielinot slāpekļa mēslojuma devu, palielinās 1000 sēklu masa: no 12,49 g līdz 13,87 g kaņepēm “Pūriņi” un no 10,7 g līdz 10,88 g kaņepju šķirnei “*Bialobrzесьkie*”.

1.3.6. Zemes apstrādes SEG emisijas

Kaņepes ātri aug (4–5 mēnešos sasniedz garumu pat līdz 4 m) un fotosintēzes procesā absorbē atmosfēras CO₂. Kaņepes iekļauj oglekli auga struktūrā, atbrīvojot skābekli. Tādā veidā ogleklis tiek izņemts no atmosfēras un saglabāts augā. Kaņepēs tas paliek, līdz augs tiek apēsts, sadedzināts vai tas sadalās. Tad ogleklis atkal tiek izlaists atmosfērā, visticamāk, CO₂ veidā. Ja ar šādu pieeju CO₂ var piesaistīt ēkā vai audumā, tad izstrādājuma kalpošanas laikā tas tiek izņemts no atmosfēras. Oglekļa daudzums kaņepju sausrā ir aptuveni 50 % no auga

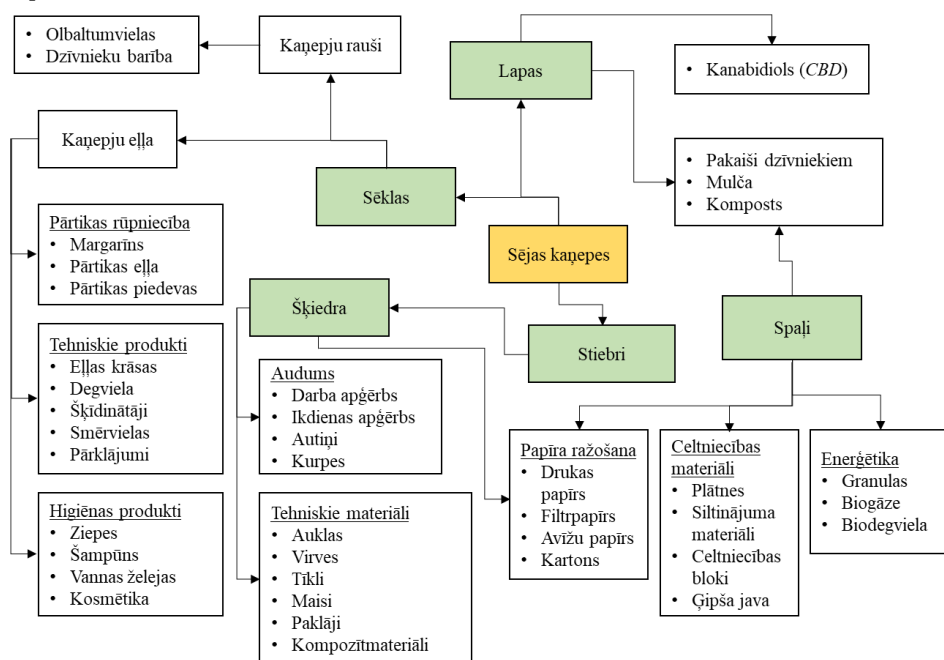
kopējā svara. Pārvēršot kaņepēs esošo oglekli ogļskābajā gāzē (12 t C atbilst 44 t CO₂), tas ir līdzvērtīgs 1,83 t saistītā atmosfēras CO₂ uz t kaņepju. Vērtējot zemes izmantošanas aspektā, tad, ņemot vērā vidējo kaņepju ražu apmēram 14–15 t/ha [21], kaņepes saista 27,45 t CO₂ uz vienu ha. Kaņepēm ir zems blīvums, kas nozīmē, ka uzglabāšanas izmaksas, transporta izmaksas un saistītās CO₂ emisijas uz tonnu ir augstas. Vietējā ražošanas samazina transportēšanas izmaksas un ietekmi, kā arī energoresursu patēriņu, kas ir būtiski, lai kaņepes kļūtu konkurētspējīgas. Pārvadājot 1 t kaņepju, izdalās no 7,5 kg līdz 18 kg CO₂ uz kilometru. Kaņepju enerģētiskā vērtība ir aptuveni 1,4 MJ/t, kas ir līdzvērtīgs 0,14 kg CO₂ uz t. Izdalītais CO₂ ir niecīgs, salīdzinot ar 1,83 tonnām CO₂, kas piesaistīts uz 1 t kaņepju.

Reaģējot uz globālo sasilšanu, Eiropas Parlaments ir pieņēmis ES Klimata aktu, kurā paredzēts līdz 2050. gadam nodrošināt ES klimatneitralitāti atbilstoši Eiropas zaļajam kursam.[69] Jaunais ES Klimata akts nosaka ES mērķi samazināt SEG emisijas līdz 2030. gadam par vismaz 55 %, salīdzinot ar 1990. gada līmeni (iepriekš noteiktais ES mērķis bija 40 %). [70] Šie klimata mērķi paredz palielināt un aizsargāt oglekļa piesaistītājus, piemēram, augsni un augus. Šī prasība veicina vienlaicīgu oglekļa uzglabāšanu aramzemē un antropogēnos produktos, kas ir stratēģija, lai izmantotu augus, kuri var uzglabāt papildu oglekli augsnē kā augsnes organisko oglekli augšanas fāzē un tehnosfērā kā bioprodukti, kas iegūti no novācamās biomasas. Tas attiecīgi nozīmē vienlaikus radīt negatīvas emisijas un nodrošināt emisiju mazināšanu. Lai izvairītos no tādiem riskiem kā pārtikas nodrošinājuma samazināšanās, šādi augi jāaudzē platībās, kuras ir mazāk piemērotas augstvērtīgas pārtikas audzēšanai un kurās var palielināt augsnes organisko oglekli. Kaņepes (*Cannabis sativa L.*) ir daudzsoļa suga oglekļa uzglabāšanai aramzemē un antropogēnajos produktos. [71]

2. KAŅEPJU LIETOJUMA ILGTSPĒJĪBAS ASPEKTI

Kaņepe ir sens un ļoti unikāls kultūraugs, no kura var iegūt dažādus produktus, kuru lietojums ir ļoti plašs. Kaņepes, pateicoties savām īpašībām, ir laba izejviela tādu sabiedrībai noderīgu produktu ražošanai kā eļļa, pārtikas produkti, būvmateriāli, papīrs, biodegviela, kurināmais, tekstilizstrādājumi u. c. (2.1. att.). Kaņepes ir vairāku produktu ar augstu pievienoto vērtību izejviela, kas palielina sējas kaņepju vērtību salīdzinājumā ar daudzām citām industriālajām kultūrām. Kaņepju lietojumā saskatāmas šķērskrusteniskās saites. [72] Noteicošais ir izejmateriālu daudzveidība, jo kaņepju pārstrādes procesā iegūst vairākus izejmateriālu veidus:

- kaņepju sēklas,
- lūksnes šķiedras,
- spaļus,
- lapas.



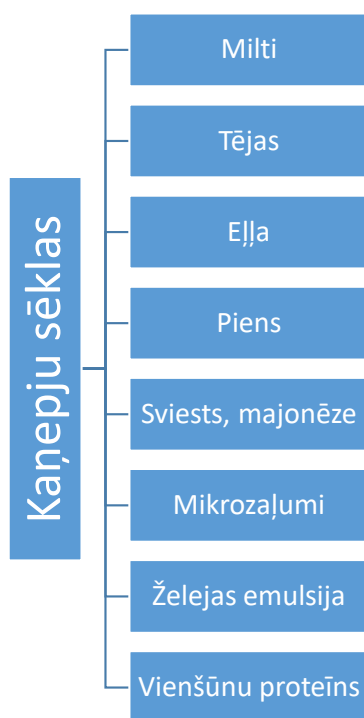
2.1. att. Kaņepju izmantošana bioekonomikā.

Autores veidots attēls. Avots: [72]

2.2. Kaņepes pārtikas nozarē

Lai kaņepju sēklas izmantotu pārtikas produktu ražošanā, to kvalitātei jābūt augstai un atbilstošai izvirzītajām prasībām. Pirms to izmantošanas tiek pārbaudīta to kvalitāte, piemēram, mitrums, glutēna sastāvs u. c. rādītāji.

Papildus jau labi zināmajiem pārtikas produktiem pēdējā laikā tiek ieviesti jauni inovatīvi kaņepju produkti, kuru izpētes rezultāti liecina, ka Latvijas pārtikas ražošanas nozarē jau tuvākajā laikā varētu ienākt plašs produktu klāsta papildinājums (2.2.1. att.).



2.2.1. att. Inovatīvie kaņepju produkti pārtikā.

Autores veidots attēls. Avoti: [4], [72], [73], [74], [74], [75], [76]

Iegūtās kaņepju sēklas mūsdienās aktīvi izmanto dažādos produktos, un pastāv uzskats, ka tās ir pilnvērtīgs olbaltumvielu avots, kas satur aminoskābes. Tām ir arī augsts piesātināto

taukskābju, tai skaitā Omega 3 un Omega 6, līmenis. [74] Pārsvārā pārtikas produktos izmanto sēklas, aukstās spiešanas procesā iegūto eļļu, sēklu proteīnus, kā arī kaņepju sviestu.

Lai nodrošinātu pārtika pieejamību arī nākotnē, tiek meklēti dažādi inovatīvi risinājumi, un viens no tiem ir vienšūnu proteīna ražošana. Vienšūnu proteīna ražošanā varētu izmantot kaņepju biomasas atlikumus. Vienšūnu proteīna ražošanā no kaņepju biomasas atlikuma var iegūt 0,03–0,15 g/g gaistošo cieto vielu. [4]

Kaņepju sviests ir samaltas kaņepju sēklas, kas ir līdzīgs mandeļu un zemesriekstu sviestam. Tā kā tas ir izgatavots no kaņepju sēklām un sēklās ir hlorofils, kaņepju sviesta krāsa ir pavisam nedaudz zaļgana. To var izgatavot gan mājsaimniecībās, gan to var ražot arī komerciāli. To pievieno smūtijos un salātu mērcēs.

Latvijas Lauksaimniecības universitātes patentā nr. 14070 S. Vucāne, M. Kūka, I. Cinkmanis “”Rapšu-linsēklu un rapšu-kaņepju eļļu maisījumu izmantošana majonēzes ražošanā” paredzēts pievienot kaņepju eļļu. Majonēzes ražošanā izmantojams sastāvs, kas satur piena, sojas, olu, sinepju pulverus, cieti, cukuru, sāli, dzeramo sodu, 9% etiķi, ūdeni, stabilizatorus un ksorbātu, atšķiras ar to, ka tiek uzlabota majonēzes kvalitāte, pievienojot 50% rapšu-linsēklu (80:20%) vai rapšu-kaņepju (80:20%) eļļu maisījumus. [77]

Pasaulē dzīvnieku piena aizstājēji kļūst arvien populārāki, tāpēc arī kaņepju piens izmanto arvien vairāk. To pagatavo, sēklas sablendējot ar ūdeni proporcijā 3:1 un pēc tam izkāšot. 2.2.1. tabulā redzams, ka kaņepju piens pēc olbaltumvielu sastāva ir līdzvērtīgs sojas un govju pienam. Kaņepju pienu var iegūt no kaņepju raušiem, lobītām kaņepēm, veselām sēklām.

2.2.1. tabula

Olbaltumvielu salīdzinājums (aminoskābju saturs g uz 100 g produkta) [78]

Aminoskābes	Kaņepju piens	Sojas piens	Govs piens
Alanīns	0,106	0,116	0,113
Arginīns	0,328	0,267	0,119
Asparagīns	0,271	0,409	0,250
Cistenīns	0,047	0,062	0,03
Glicīns	0,105	0,149	0,07
Glutamīns	0,464	0,652	0,689
Histamīns	0,072	0,095	0,089
Prolīns	0,092	0,092	0,089
Serīns	0,126	0,170	0,179
Tirozīns	0,093	0,136	0,159

Kaņepju eļļa ir ļoti populāra smūtiju pagatavošanā, un arvien vairāk to izmanto arī salātu mērcēs. Eļļai ir jābūt iepakotai tumšā un necaurspīdīgā pudelē, un tā pastāvīgi jādzesē. [72]

Kaņepju miltus, kas iegūti no sēklām un pēc eļļas ekstrakcijas, un kaņepju sēklu eļļu izmanto kā sastāvdaļas daudzos pārtikas produktos. Kaņepju sēklām un miltiem ir liela uzturvērtība, pateicoties to minerālvielu, vitamīnu (galvenokārt A, C un E kompleksu dēļ), lipīdu, olbaltumvielu un ogļhidrātu saturam. Kaņepju sēklu lipīdu daļa ir ļoti bagāta (gandrīz 80 %) ar neaizvietojamām taukskābēm, ko izmanto šūnu membrānās un kas sastāv no liela daudzuma linolskābes (ω -6) un α -linolēnskābes (ω -3) [72]. Tā ir ideāli piemērota cilvēku uzturam, kā arī onkoloģisko, kardiovaskulāro, iekaisumu un citu slimību profilaksei.

Kaņepju lapas izmanto arī kaņepju tējas vai kaņepju tējas maisījumu ražošanai. Kaņepju ziedu ūdens ekstraktu var izmantot kā antioksidantu avotu. Tieši kaņepju šķirnes “Futura 75” ūdens ekstraktam ir labs antioksidanta un pretiekaisuma profils. “Futura 75” ekstrakta aktivitāte ir pārbaudīta uz baktēriju un sēnīšu sugām, kas saistītas ar čūlaino kolītu, konstatējot būtisku *Candida albicans* un atlasītu grampozitīvu un gramnegatīvu baktēriju celmu inhibīciju.[73]

Mikrozaļumu ražošana kā alternatīva augu audzēšanai kļūst par tirgus iespēju jauniem pārtikas produktiem. Mikrozaļumus var definēt kā ēdamus augu dzinumus, kas novākti līdz divām nedēļām kopš dīgtpējas sākšanās. Mikrozaļumi gūst arvien lielākus komerciālos panākumus galvenokārt to bagātīgā fitoķīmiskā sastāva, uzturvērtības un vieglas audzēšana dēļ. Šie produkti var uzlabot cilvēku uzturu. Ja tos ēd neapstrādātus, tie var veicināt veselīgāku un sabalansētāku uzturu, jo tie ir bagātīgs būtisku uzturvielu, piemēram, minerālvielu, vitamīnu un bioaktīvo metabolītu, avots. Arī kaņepes var audzēt kā mikrozaļumus. Pat ļoti īsā augšanas ciklā kaņepju mikrozaļumi nodrošina ievērojamu daudzumu sausas, ja salīdzina ar citiem lapu dārzeniņiem. Kaņepju mikrozaļumos galvenokārt ir augsts K ((22,2±2) mg/kg svaigās masas) un Ca ((12,6±2) mg/kg svaigās masas) līmenis starp makroelementiem, tāpat arī Fe ((145,1±4) µg/kg svaigās masas) un Zn ((10,4±0,4) µg/kg svaigās masas) starp mikroelementiem.[73] Kaņepju mikrozaļumi ir īpaši vērtīgi, lai nodrošinātu nepieciešamību pēc Se. Ja salīdzina ar kaņepju miltiem, mikrozaļumos ir lielāks K saturs nekā P. Turklāt mikrozaļumos ir lielāks Ca daudzums. Neskatoties uz to, ka kaņepes labi nodrošina fitoremedāciju, tās neuzkrāj toksiskos smagos metālus ēdamajā frakcijā un kopumā kaņepes var nodrošināt bagātīgu un līdzsvarotu

minerālvielu devu cilvēka uzturā. Kaņepju mikrozaļumi satur arī aminoskābes un citas vērtīgas bioaktīvās vielas. [73]

Corrado et al. [4], [73] pētījumā ir analizēts makroelementu un mikroelementu sastāvs mikorzaļumos. Pētījumā analizētas kaņepju šķirnes “Antal”, “Finola”, “Kompolti”, “Silvana”, “Tisza” un “USO 31”. Makroelementu un mikroelementu koncentrācija paraugu šķīdumā tika noteikta, izmantojot ICP-OES. 2.1.1. tabulā var redzēt kaņepju mikrozaļumu makroelementu koncentrāciju, savukārt 2.1.2. tabulā ir redzama mikroelementu koncentrācija.

2.1.1. tabula

Makroelementu koncentrācija kaņepju mikrozaļumos, mg/kg svaigais svars [73]

Šķirne	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	S	Na
<i>Antal</i>	96,2	2,88	17,6	10,8	7,06	1,83	0,18
<i>Finola</i>	211	4,25	32,0	20,7	8,36	1,97	0,24
<i>Kompolti</i>	91,6	3,68	19,1	12,6	6,54	1,83	0,17
<i>Silvana</i>	152	4,66	23,2	8,75	6,05	1,81	0,17
<i>Tisza</i>	137	3,81	20,5	11,6	7,00	2,35	0,22
<i>USO 31</i>	134	2,62	20,9	11,6	5,81	2,31	0,15

2.1.2. tabula

Mikroelementu koncentrācija kaņepju mikrozaļumos, µg/kg svaigais svars [73]

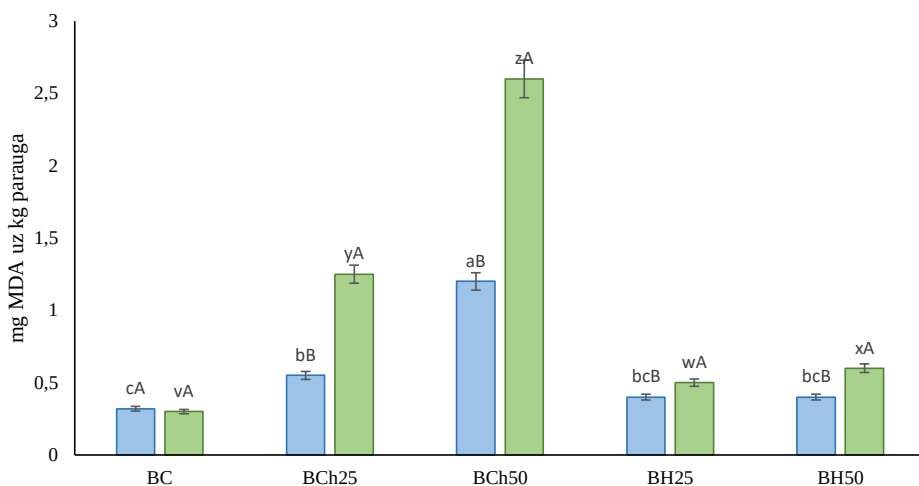
Šķirne	Fe	Cu	Zn	Se	B	Cr	Mo	Mn	Ni
<i>Antal</i>	150	20,5	108	9,51	10,2	1,23	2,96	83,5	1,59
<i>Finola</i>	124	26,8	127	7,87	15,3	0,61	3,90	119	5,18
<i>Kompolti</i>	145	17,9	96,2	9,03	13,4	0,52	3,11	107	2,58
<i>Silvana</i>	157	20,3	107	8,58	9,20	0,43	2,21	96,0	6,89
<i>Tisza</i>	153	19,0	91,7	7,48	11,3	0,34	2,30	90,9	5,78
<i>USO 31</i>	142	20,7	94,7	7,26	7,44	0,47	3,21	94,5	3,26

Dzīvnieku tauki ir svarīga gaļas produktu sastāvdaļa. Tomēr to augstais piesātināto taukskābju saturs izraisa tādas slimības kā, piemēram, aptaukošanos, sirds, asinsvadu un citas hroniskas saslimšanas. Veids, kā samazināt šīs slimības, ir gaļas produktu aizstāšana ar veselīgākiem lipīdu avotiem. Tauku un lipīdu sastāvs ir ne tikai svarīgs no uztura viedokļa, bet arī tam ir nozīmīga loma galaprodukta struktūrā, tekstūrā, garšas un tehnoloģiskajās īpašībās. Viens no veidiem, kā veikt šo aizstāšanu, izmantojot minimālu tehnoloģisko ietekmi, ir želejveida emulsiju izmantošana. Tieši kaņepju eļļu ļoti labi var izmantot želejas emulsijās (*gelled emulsions*). Želejas emulsijas, kuru pamatā ir amaranta milti, kas sajaukti ar kaņepju

eļļu, var izmantot kā daļēju tauku aizstājēju, piemēram, liellopu gaļas burgeros. Želejas emulsiju pievienošana samazina tauku saturu burgeros par 12 % līdz pat 33 %. Tāpat tās lietošana samazina palmitīnskābes, stearīnskābes un oleīnskābes taukskābju daudzumu, savukārt palielina linolēnskābes un α -linolēnskābes taukskābju daudzumu. Želejas emulsijas pievienošana neietekmē krāsu, pH un tekstūru, tāpēc želejas emulsijas var izmantot kā tauku aizstājējus, uzlabojot burgeru uzturvērtības, bet neietekmējot tehnoloģiskās vai garšas īpašības.[75]

Botella-Martínez et al. [75] pētījumā ir veikta liellopa gaļas burgeru analīze, kurā ir izmantota želejas emulsija. Pētījumā veidotas vairākas želejas emulsijas no šādiem izejmateriāliem: čia eļļas (56,61 % α -linolēnskābe, 17,43 % linolskābe un 15,05 % oleīnskābe), kaņepju eļļas (54,44 % linolskābe, 19,95 % α -linolēnskābe, 8,23 % oleīnskābe), amaranta miltiem un gelāna sveķiem. Lai noteiktu, vai želejas emulsiju var pievienot gaļas burgeriem, veikta lipīdu oksidēšana, kas ir galvenais process, atbildot par gaļas un tās produktu kvalitātes pasliktināšanos. Šis process ietekmē krāsu, uzturvērtību, tekstūru, garšu un aromātu, kas ir svarīgi iemesli, kāpēc patērētāji varētu atteikties no produkcijas. Pētījumā lipīdu oksidācija tika mērīta visos paraugos pirms un pēc tā pagatavošanas (2.1.2. att.).

Nozīmīgas atšķirības tika iegūtas, pievienojot želejas emulsijas gan neapstrādātos, gan termiski apstrādātos paraugos. Neapstrādātajos paraugos burgeriem, kas pagatavoti ar čia eļļu (BCh25 un BCh50), tika reģistrētas augstākas TBAR (lipīdu oksidēšanās) vērtības nekā kontroles paraugā, un TBAR vērtība bija 1,13 mg malondialdehīda (MDA)/kg parauga. Faktiski BCh50 paraugi uzrādīja 3,5 reizes lielāku oksidāciju nekā kontroles paraugs. Burgeriem, kuros bija kaņepju eļļas želejas emulsija (BH25 un BH50), bija kontroles vērtībai (0,32 mg MDA/kg parauga) līdzīgas TBAR vērtības (attiecīgi 0,42 un 0,47 mg MDA/kg parauga).



2.1.2. att. Lipīdu oksidēšanās (TBARS vērtības) neapstrādātiem un termiski apstrādātiem liellopu gaļas burgeriem, kas pārveidoti gan ar amaranta/čia eļļu, gan ar amaranta/kaņepju eļļas želeju emulsiju, ko izmanto kā daļējus dzīvnieku tauku aizstājējus. [75]

Dati ir parādīti kā vidējā standarta novirze. Mazais burts attiecas uz vienas un tās pašas apstrādes salīdzinājumu starp dažādiem paraugiem (a–e) neapstrādātiem paraugiem un (v–z) pagatavotiem paraugiem. Savukārt lielais burts (A–B) attiecas uz dažādu TBAR vērtību salīdzināšanu vienā un tajā pašā paraugā atkarībā no apstrādes (neapstrādāts vai termiski apstrādāts). BC ir kontroles burgers; BCh25 ir paraugs ar 25 % želejas emulsiju, kurā ir čia eļļa un amaranta milti; BCh50 ir paraugs ar 50 % želejas emulsiju, kurā ir čia eļļa un amaranta milti; BH25 ir paraugs ar 25 % želejas emulsiju, kurā ir kaņepju eļļa un amaranta milti; BH50 ir paraugs ar 50 % želejas emulsiju, kurā ir kaņepju eļļa un amaranta milti. Zilā histogramma ir paredzēta neapstrādātiem liellopu gaļas burgeriem, bet zaļā histogramma ir paredzēta apstrādātiem liellopu gaļas burgeriem.

Botella-Martínez et al. [75] pētījums liecina, ka liellopu gaļas burgeru ražošana, izmantojot želejas emulsiju (kuras pamatā ir amaranta un čia eļļa vai amaranta un kaņepju eļļa) kā daļēju (līdz 50 %) cūkgaļas tauku aizstājēju, ir iespējama un to var uzskatīt par dzīvotspējīgu alternatīvu uztura sastāva uzlabošanai, negatīvi neietekmējot iegūto burgeru fizikāli ķīmiskās īpašības vai izskatu.

Kaņepju sēklas pirms uzglabāšanas un pārstrādes ir rūpīgi jāattīra un jāizžāvē. Eļļas ekstrakcija parasti notiek, izmantojot mehānisko izspiedējpresi slāpekļa atmosfērā, ko sauc arī par mehānisko auksto presēšanu. Aizsardzība pret skābekli, gaismu un karstumu ir svarīga, lai iegūtu augstvērtīgu eļļu ar pieņemamu glabāšanas laiku.

Šķīdinātāja ekstrakcijas metod izmanto arī eļļas atdalīšanai. Šķīdinātāja ekstrakcija ir viena no visbiežāk izmantotajām metodēm augu ekstrakcijas nozarē. Tas ir process, kas ietver cietas vielas un šķidrums macerāciju ar dažādiem šķīdinātājiem. Kopumā rūpnieciskos nolūkos izmanto divus galvenos šķīdinātāju veidus: etanolu un ogļūdeņražus.

Etanols ir polārs šķīdinātājs, salīdzinot ar citām metodēm.[76] Hidrofilās dabas dēļ etanola ekstrakcija parasti samazina lipīdu un vaska noņemšanu no kaņepju biomasas, un tādējādi var izvairīties no atvaskošanas vai pat to novērst.[79] Šīs metodes trūkumi ir saistīti ar grūtāku pēcatdalīšanu un attīrīšanu, zemu selektivitāti, lieliem šķīdinātāja zudumiem, lielām šķīdinātāja izmaksām un sarežģītu šķīdinātāja atgūšanu. Tāpat etanols ir ļoti viegli uzliesmojošs un rada ugunsdrošības risku.

Ogļūdeņražu ekstrakciju parasti veic ar butānu, heptānu, heksānu vai citiem ogļūdeņražiem, kas ir tipiski nepolāri šķīdinātāji. [80] Ekstrakcijas efektivitāte ar ogļūdeņradi parasti ir augstāka nekā ekstrakcija ar etanolu, tāpat arī šķīdinātāja atgūšana ir daudz vienkāršāka nekā etanola gadījumā, tāpēc šķīdinātāja izmaksas ir zemākas. Ogļūdeņražu ekstrakcija to nepolārā rakstura dēļ var veicināt, ka terpēns saglabājas vairāk nekā etanola ekstrakcijā, kā arī var koekstrahēt no augiem vasku un lipīdus. [81] Līdzīgi kā etanols, arī ogļūdeņraži ir viegli uzliesmojoši un rada ugunsdrošības risku.

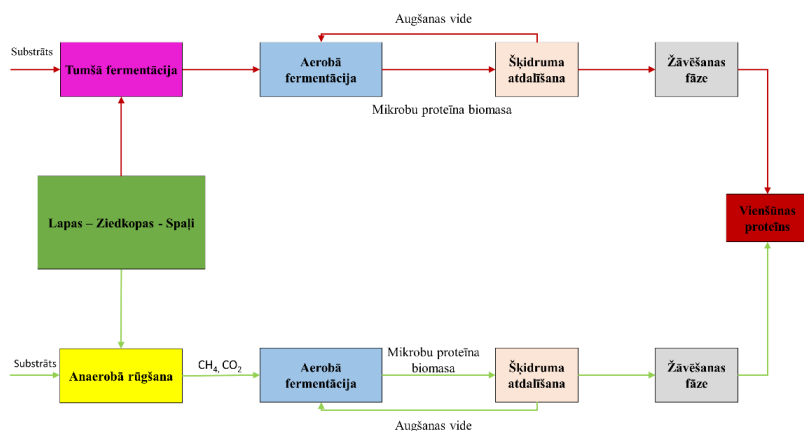
Superkritiska šķidrums ekstrakciju arī var lietot eļļas atdalīšanai. Superkritiskais šķidrums ir jebkura viela, kuras temperatūra un spiediens pārsniedz tās kritiskos punktus, bet ir zemāks par spiedienu, kas nepieciešams, lai to saspiestu cietās vielās. Superkritiskos apstākļos nav atšķirības starp šķidrums un gāzes fāzēm, superkritiskajam šķidrumam piemīt gan šķidrums, gan gāzes īpašības. Vēl viena superkritiskā šķidrums īpašība ir tāda, ka neliels spiediena vai temperatūras izmaiņas var izraisīt lielas fizikālo īpašību izmaiņas, padarot šo šķidrumu par lielisku šķīdinātāju. Superkritiskā šķidrums ekstrakcija ir vēl viena ekstrakcijas tehnoloģija augstvērtīgiem bioaktīviem savienojumiem, un parasti izmantotais šķidrums ir oglekļa dioksīds un ūdens.[82] Superkritisko oglekļa dioksīdu ($SC-CO_2$) visbiežāk izmanto *CBD*. [83] Salīdzinot ar etanola un ogļūdeņražu ekstrakciju, $SC-CO_2$ priekšrocība ir tā, ka tas ir nedegošs, nav toksisks, tam ir augsta selektivitāte, viegla šķīdinātāja atdalīšana un

reģenerācija, mazs šķīdinātāja zudums, kā arī ir zemas šķīdinātāja izmaksas. [84] Pielāgojot superkritiskā šķidruma ekstrakcijas apstākļus, var iegūt pilna spektra *CBD* destilātu ar augstu terpēna saturu. [85] Superkritiskā šķidruma ekstrakcijas iekārtu sākotnējās izmaksas ir daudz augstākas nekā parastajām ekstrakcijām, kurās izmanto šķīdinātāju, taču kopējās ilgtermiņa darbības izmaksas ir zemākas. [86] Superkritiskā šķīdumā ekstrahētajai *CBD* eļļai joprojām ir nepieciešama saldēšana, lai noņemtu vasku un lipīdus. Ir pierādīts, ka 5 % etanola kā līdzšķīdinātāja pievienošana SC-CO₂ uzlabo *CBD* ekstrakciju. [87]

Pēdējos gados arvien vairāk ir pētītas jaunas šķīdinātāju ekstrakcijas tehnoloģijas. Ekstrakcija ar mikroviļņu krāsni, kur viļņa garums ir no 300 MHz līdz 300 GHz, ir jauna zaļās ekstrakcijas tehnoloģija, un tai ir priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionālajām tehnoloģijām, piemēram, samazināts ekstrakcijas laiks un nepieciešamība pēc šķīdinātājiem un mazāks enerģijas patēriņš. [88] Šādas īpašības ir attiecināmas uz elektromagnētisko viļņu sagraušanas ietekmi uz šūnas sienas integritāti un struktūru, kas uzlabo masas pārneši ekstrakcijas laikā. [89] Ekstrakcija ar ultraskaņu ir vēl viena ekstrakcijas tehnoloģija, ko var izmanto bioaktīvo savienojumu ekstrahēšanai no augu materiāliem. [90]

Kosmētikas ražotājiem var būt nepieciešamas rafinēšanas un dezodorēšanas darbības, kā arī nepieciešams veikt lobīšanu, kad no sēklām noņem apvalku, izmantojot drupināšanas mašīnu. Sēklu lobīšanā ir iespējams izmantot tādas pašas iekārtas kā rīsu vai saulespuķu lobīšanai.

Lai iegūtu maksimālu vienšūnu proteīnu no kaņepju biomasas atlikumiem, potenciālais biorafinēšanas process varētu būt balstīts uz tā saukto tumšo fermentāciju jeb anaerobo digestāciju. Šeit kaņepes izmanto kā substrātu vienšūnu proteīna ražošanai (2.1.3. att.). [4]



2.1.3. att. Iespējamā shēma vienšūnu proteīna ražošanai, izmantojot kaņepju biomasas atlikumu kā izejvielu. [4]

Lai kaņepju biomasas atlikumus pārvērstu par vienšūnu proteīnu, biorafinēšanas shēmas pirmais solis ir anaerobā digestācija jeb tumšā fermentācija, lai ražotu biogāzi un gaistošās taukskābes. Biogāzi var izmantot kā oglekļa un enerģijas avotu, lai otrajā aerobās fermentācijas posmā ražotu vienšūnu proteīnu heterotrofu mikroorganismu, piemēram, metāna oksidējošo baktēriju klātbūtnē.

Alternatīvu vienšūnu proteīna ražošanu var panākt arī ar gaistošo taukskābju aerobo fermentāciju, izmantojot, piemēram, aerobos raugus un baktērijas. [4] Starp visām gaistošajām taukskābēm etiķskābe ir viskoncentrētākā, un ir pierādīts, ka ar etiķskābi bagāti gaistošo taukskābju maisījumi ir piemērots substrāts vienšūnu proteīna ražošanai. [91] Oglekli un enerģiju, kas atrodas biogāzē un gaistošajās taukskābēs, var izmantot, lai sintezētu jaunu mikrobu biomasu, no kā pēc tam veido galaproduktu. Ņemot vērā aerobā vienšūnu proteīna fermentācijas iespējamus zudumus un efektivitāti, lai saražotu 1 tonnu vienšūnu proteīnu, ir nepieciešamas aptuveni 1,77 tonnas CH₄, savukārt etiķskābe, kas nepieciešama 1 tonnas ražošanai, ir aptuveni 3,09 tonnas. [92]

2.1. Tekstilmateriālu ražošana

Lūksnes šķiedru jau ilgāku laiku izmanto audumu ražošanā. To salīdzina gan ar kokvilnas, gan līnu audumiem. Kaņepju audumus salīdzinot ar kokvilnas izstrādājumiem, tiek

uzsvērts, ka tkaņepju kā izejmateriāla audzēšanā ir nepieciešams daudz mazāk ūdens (pat par trīs reizēm mazāk), salīdzinot ar kokvilnas audzēšanu. Lai iegūtu 1 kg kokvilnas šķiedru nepieciešami 10 tūkstoši litru ūdens, taču kaņepju šķiedrām nepieciešami nepilni trīs tūkstoši litru ūdens. Vienāda izmēra platībā kaņepes var dot par 220 % vairāk ražas nekā kokvilna.[93], [94] Kaņepju šķiedras ir ilgtspējīgas kokvilnas šķiedru aizstājējas. [95] Kaņepju šķiedra sastāv no celulozes, pektīna un vaskiem. Pektīns ir atrodams šūnu vidējās lamelās. Tas salīmē elementārās šķiedras, veidojot saišķus. Lignīns satur celulozi un veicina šķiedru cietību un plīstspēju. Papildu vielu (izņemot celulozi) saturs kaņepju šķiedrās ir daudz lielāks nekā kokvilnā. Tas nozīmē, ka kaņepēm ir nepieciešama atšķirīga apstrāde. Jo augstāks celulozes saturs kaņepju šķiedrās, jo kvalitatīvāka būs šķiedra. [96] Kaņepju termiskās īpašības atkarīgas no tā, vai tās ir neaustas vai austas. Lietojot kā audumu, kaņepēm ir tādas pašas īpašības kā citām lūksnes šķiedrām, tām ir salīdzinoši laba siltumnoturība, bet arī lieliska elpojamība. Pētot neaustu kaņepju šķiedru lietojumu, kaņepju šķiedras termiskās īpašības ir augstākas.[97]

Kaņepju audumus plaši lieto arī dizainā, dizainelementu vai konstrukciju veidošanā. Kolorado Universitātē [98] kaņepju šķiedras audumi tika testēti un salīdzināti ar 100 % kokvilnas audumiem. Pētījuma galvenais mērķis bija konstatēt, vai 100 % kaņepju audums var aizstāt 100 % kokvilnas audumu mēbeļu polsterēšanā. Tika salīdzinātas atšķirības krāsu noturībā pret ūdeni, gaismu un krokošanos, kā arī netīrumu izvadīšanā, nodilumizturībā un uzliesmojuma varbūtībā. Vairākos rādītājos kaņepju audums pat pārspēja kokvilnas audumu:

- 1) 100 % kaņepju un 100 % kokvilnas audumiem nav atšķirību krāsu noturībā pret krokošanos, rezultāti bija atkarīgi no auduma apdares un krāsas izvēles;
- 2) 100 % kaņepju un 100 % kokvilnas audumi rāda vienādu sniegumu netīrumu izvadīšanā, jo noturība bija apmierinoša, tiek ieteikts kaņepju auduma mēbeles apstrādāt ar netīrumus atgrūdošu pārklājumu;
- 3) 100 % kaņepju un 100 % kokvilnas audumiem uzliesmojamība neatšķiras. Gan kokvilnas, gan kaņepju audumiem ir liels uzliesmošanas risks, un materiāls ir jāapstrādā ar pretdeģšanas pārklājumu, lai šo risku mazinātu;
- 4) 100 % kaņepju un 100 % kokvilnas audumiem nav plīsumizturības atšķirību. Gan kaņepju, gan kokvilnas audumi atbilst minimālajai ASTM specifikācijai 7. polsterējuma audumam. Minimālie ASTM specifikācijas nosacījumi tika izpildīti gan kokvilnai, gan kaņepju materiāliem. Kaņepju audumi ar sarža pinumu vai modificēto pinumu bija

izturīgāki par vienkāršā pinuma audumiem, un tie būtiski pārsniedza minimālās prasības;

- 5) 100 % kaņepju un 100 % kokvilnas audumiem ir atšķirības krāsu noturībā pret gaismu. Pēc testu veikšanas tika secināts, ka kaņepju audumus ieteicams izmantot iekštelpu mēbelēm, jo gaismas ietekmē krāsa nebija pietiekami noturīga;
- 6) 100 % kaņepju un 100 % kokvilnas audumiem krāsu noturība pret ūdeni atšķiras. Veiktajos testos kaņepju audumu krāsu noturība pret ūdeni saņēma labāku novērtējumu par kokvilnas audumiem.

Kaņepju audumu priekšrocība, salīdzinot ar tirgū esošajiem sintētiskajiem materiāliem, ir to spēja bioloģiski noārdīties.

Lai atdalītu koksnes serdi no lūksnes šķiedras, izmanto rullīšu (lauzēju) virkni vai āmuru dzirnavas. Pēc tam lūksnes šķiedru notīra un kārš līdz vēlamajam saturam un smalkumam, dažreiz pēc tam to sagriež nepieciešamajā izmērā un presē. Pēc tīrīšanas un kāršanas bieži vien ir jāveic sekundāras darbības, kas ietver matēšanu neaustu paklāju un vilnas ražošanai, celulozes veidošanu (šķiedru saišķu sadalīšanu ar ķīmiskām un fizikālām metodēm, lai iegūtu šķiedras papīra ražošanai), tvaika sprādzienu, dabisko saistvielu ķīmisku noņemšanu, lai iegūtu šķiedru aušanai. Parasti šķiedru kaņepju pārstrādes līniju jauda ir no 2 līdz 8 tonnām stundā. Kaņepju šķiedras izmanto arī vērptās liocela šķiedras auduma ražošanai, kam ir labas mehāniskās īpašības dažādu tekstilizstrādājumu izgatavošanai.

Mitro oksidēšanu, tvaika eksploziju un hidrotermisko apstrādi var izmantot kā pirmapstrādes procesu, lai ražotu ar celulozi bagātas kaņepju šķiedras tekstilizstrādājumiem.

Slapjo oksidēšanu un hidrotermisko apstrādi var veikt speciāli konstruētā cilpas reaktorā. Reaktora iegremdēšana sildīšanas un dzesēšanas vannā kontrolē reakcijas vides temperatūru. Kaņepju šķiedrai pievieno ūdeni, tad pirms suspensijas karsēšanas pievieno Na_2CO_3 un pievada skābekli. Hidrotermālajā apstrādē, kur skābeklis nav vēlams, izmanto N_2 gāzi. [99]

Tvaika eksplozijas apstrādi veic iekārtā, kur kaņepju šķiedras ir piesūcinātas ar Na_2CO_3 . Kā oksidētāju šķiedru balināšanai parasti izmanto H_2O_2 . Tālāk kaņepju šķiedras tvaicē. [99], [100]Pēc ķīmiski fizikālās pirmapstrādes kaņepes filtrē, lai no filtrāta atdalītu ar celulozi bagāto frakciju. Atdalīto frakciju mazgā un žāvē.

2.2. Būvniecības materiāli

Būvniecības nozare ir viena no lielākajām SEG radītājām, papildus tajā ir arī liels enerģijas, zemes un izejvielu patēriņš. Ilgtspējīgas būvniecības prakse ietver atjaunojamo materiālu un rūpniecisko blakusproduktu, tai skaitā arī kaņepju, izmantošanu būvniecībā.

Kaņepju kompozītmateriālus, kas iegūti no kaņepju spaļiem, var izmantot karkasa elementu, dažādu durvju panelu, trauku, mēbeļu un interjera elementu ražošanā. Tos var izmantot gan kā pildvielu sienu siltumizolācijai, gan durvju plātņu pildīšanai. Daudzos pētījumos par saliekamajiem koka karkasa paneļiem apskatīti koka karkasa paneļi ar kaņepju izolāciju, kur analizēts to siltumvadītspējas koeficients, iekšējais mitrums un gaisa apmaiņa. Secināts, ka kaņepju izmantošana ir ekoloģisks un būvniecības prasībām atbilstošs risinājums, kas veiksmīgi iekļaujas ēku siltumizolācijā. [101]

SIA "Hemp Eco Systems Latvia" un SIA "ESCO Būve" (zināmi arī kā zīmols "Remember Brothers") ir divi Latvijas uzņēmumi, kas piedāvā kaņepju betona materiālus ēku būvniecībai. SIA "Hemp Eco Systems Latvia" ir Šveices uzņēmuma pārstāvji Latvijā un, izmantojot speciālus maisītājus, kaņepju betona masas jaukšanu veic tieši būvniecības objektā. Uzņēmums saražo vairākas ēkas katru gadu un ir lielākais kaņepju māju ražotājs Latvijā. Ēku ražošana atbilst nepieciešamajiem būvnormatīviem un nodrošina labu mikroklimatu telpās – materiāls regulē mitrumu, ir elpojošs, siltumnoturīgs, nedegošs un antialerģisks. [102], [103] Zīmols "Remember Brothers" savos produktos izmanto kaņepju spaļus, kurus sajaucot ar ūdeni un kaļķi, tiek izveidots kaņepju betons. Materiāls tiek vērtēts kā energoefektīvs un elpojošs, kā arī tas pasargā no kaitēkļiem. [103]

Šķiedru dzelzsbetonam ir izcila elastība, lieces un stiepes izturība, nogurumizturība, triecienizturība un stingrība, salīdzinot ar parasto betonu. Uz augiem balstītu šķiedru, tostarp bambusa, kaņepju, kenafa, bagasa u. c., izmantošana cementa betonā ir videi draudzīgs, finansiāli izdevīgs, kā arī atjaunojams materiāls.

Kaņepju šķiedru uzskata par spēcīgāko dabisko šķiedru pasaulē. Kaņepju šķiedras izmantošana betonā aizkavē tā sacietēšanas laiku par 45 minūtēm. 20 mm gara šķiedra uzlabo spiedes izturību par 4 %, kā arī stingrības indeksu par 214 % un lieces izturību par 144 %. Betons, kas satur 0,25 % kaņepju šķiedras, uzlabo stiepes izturību (salīdzināmu ar polipropilēna šķiedrām) un ir izrādījies ļoti efektīvs pret ārējo sulfātu ietekmi. [104]

Kaņepju betona ražošanai var izmantot vienkāršu kaņepju, ūdens un kaļķa maisījumu. Tas ir viens no nedaudzajiem materiāliem, kas var turpināt absorbēt oglekli pēc izmantošanas celtniecībā, ēkas kalpošanas laikā atmosfērā uzglabājot vairāk oglekļa, nekā tiek saražots būvniecības laikā. Tas ir biokompozītmateriāls, ko var izmantot kā alternatīvu betonam un siltumizolācijai ēkās. Kaņepju betons ir arī pārstrādājams pēc kalpošanas laika beigām. Kaņepju betons ir ne tikai ekoloģisks, bet arī atbilst visām nesošo konstrukciju prasībām ēku būvniecībā. [101], [105], [106]

Betons ir visplašāk izmantotais materiāls būvniecības nozarē. Katru gadu tiek saražoti 10 miljardi tonnu betona, ko izmanto dažādās jomās. Savukārt izstrādājumus uz cementa bāzes dažkārt uzskata par neilgtspējīgiem, jo katra saražotā cementa tonna atmosfērā izdala aptuveni vienu tonnu CO₂. Kaņepju betons, kas pazīstams arī kā kaļķa-kaņepju betons, ir koncepcija, kas gūst arvien lielāku popularitāti. Tas ir jauns un ilgtspējīgs celtniecības materiāls, kas izgatavots no kaņepju spaļiem kā bioagregātiem un kaļķa kā saistvielas. Kaņepju spaļi ir kaņepju šķiedru nozares blakusprodukts. 65–70 % spaļu rodas no kaņepju auga kopējās produkcijas (masā). Tie ir viegli, un tiem piemīt zema siltumvadītspēja, kas nozīmē, ka tiem ir laba siltumizolācijas spēja to augstās porainības dēļ. Kaļķis ir saistviela, kas karsēta 950 °C temperatūrā kaļķakmens krāsnī. Šī temperatūra ir par 500 °C zemāka nekā temperatūra, ko izmanto cementa ražošanai (1450 °C), tāpēc tā rada mazāku ietekmi uz vidi. Turklāt karbonizācijas procesā lielākā daļa CO₂, kas izdalās ķīmiskās reakcijas rezultātā, tiek absorbēta atpakaļ sistēmā. Saistviela ir katra betona vissvarīgākā sastāvdaļa. Kaņepju betonā visizplatītākā saistviela ir hidratēts kaļķis jeb dzēstie kaļķi (Ca(OH)₂). Zemā spiedes izturība, iespējams, ir visnozīmīgākais kaņepju betona trūkums. Tā maksimālā spiedes izturība ir 3,5 MPa, savukārt tradicionālā betona zemākā spiedes izturība ir aptuveni 17 MPa. Tā rezultātā kaņepju betonu nevar izmantot nesošajās konstrukcijās, toties var izmantot nenesošu izolācijas sienu celtniecībai. To var arī izmantot vecu akmens un kaļķu konstrukciju remontam. Kaņepju betona sienas ir skaņas necaurlaidīgas, mitrumizturīgas, izturīgas pret pelējumu un ugunsdrošas. Kaņepju betona R vērtība (siltuma pārneses pretestība) var svārstīties no 0,67 līdz 1,2 cm, padarot to par lielisku izolatoru (jo augstāka ir R vērtība, jo labāka izolācija). Kaņepju betona porainības diapazons ir no 71,1 līdz 84,3 tilpuma procentiem. [107] Termiskās veiktspējas testi parāda, ka kaņepju betonam ir labas termoregulācijas spējas. Mitruma bufera vērtība ļauj to klasificēt kā izcilu mitruma regulatoru *Nordtest Project* klasifikācijā. [108]

Neapstrādātai kaņepju šķiedrai ir priekšrocības kā ilgtspējīgam izolācijas materiālam zaļajā būvniecībā. Kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiāla izcilība ir saistīta ar šķiedras zemo siltumvadītspējas koeficientu.[97], [109]

2.3. Papīra un kartona materiāli

Kaņepju šķiedras papīram ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar papīru, kas izgatavots no koksnes. Kaņepju šķiedra līdz tās novākšanai izaug četru mēnešu laikā, savukārt koksnei vajadzīgi 20 gadi. Kaņepju šķiedras papīrs ir dabai draudzīgāks arī tā iemesla dēļ, ka ražošanas procesā tiek izmantots mazāk ķīmikāliju. Šobrīd kaņepju šķiedras papīrs nav tik pieprasīts tā izmaksu dēļ, jo koksnes papīra ražošana ir lētāka. Tomēr, attīstot kaņepju audzēšanu, radot lielus pārstrādes apjomus, samazināsies arī kaņepju papīra ražošanas izmaksas. Jāatzīmē, ka kaņepju šķiedras materiālu iespējams pārstrādāt līdz pat astoņām reizēm, celulozes papīram tās ir tikai trīs reizes. Tehniskie parametri arī atbilst nepieciešamajām papīra izturības prasībām un ir līdzīgi kā koksnes papīram. Tas, ka kaņepju papīrs savu tehnisko īpašību ziņā neatpaliek no papīra, kas iegūts no koksnes materiāla, ļauj perspektīvā izmantot to kā aizstājēju. [110]

Kaņepju šķiedras papīra ražošana būtiski neatšķiras no ierastā papīra ražošanas procesa. Papīra izgatavošanā imanto kaņepju lūksnes šķiedras. Kaņepju šķiedras materiālam ir raksturīga labāka izturība un balinot ir jāizmanto ūdeņraža peroksīds, kas ir dabai draudzīgāks par šobrīd koksnes papīra balināšanā izmantotajām ķīmikālijām. Kaņepju papīrs ir izmantojams cigarešu papīra ražošanā. [111] Lai atbrīvotos no pārpalikušā lignīna, materiālu balina, kas nodrošina labākas kvalitātes, baltāku un mīkstāku papīru. Papīram ir arī antibakteriāla iedarbība. [112]

2.4. Kompozītmateriāli dažādās nozarēs

Kompozītmateriāli ir cilvēku radīti materiāli, kas sastāv no vismaz diviem atšķirīgiem materiāliem (izejvielām). Kompozītmateriāla fizikālās īpašības parasti būtiski atšķiras no tajā izmantoto materiālu īpašībām, kas var būt unikālas. [113] Materiāli ar uzlabotām īpašībām, kas ir lētāki, videi draudzīgāki, ir nepieciešami daudzās nozarēs, piemēram, autobūvē, aeronautikā (galvenokārt pateicoties zemajam materiāla svaram, 20–30 % dabisko šķiedru var uzlabot degvielas izmantošanas efektivitāti un samazināt transporta

emisijas), būvniecības industrijā, ballistikajos aizsarglīdzekļos, sportā, mēbelēs, iepakojuma industrijā, biomedicīnas izstrādājumos utt. Kompozīti ar kaņepēm un sintētisko saistvielu lielās slodzēs uzrāda vislabāko nodilumizturību bioloģiskajos objektos.[114] Šādas īpašības spēj nodrošināt augu (kaņepju, džutas, kenafa, linu, kokosrieksta, sizala, banānu, bambusa, ziloņzāles, arekas, abakas, ananāsa, slotas zāles) un dzīvnieku šķiedras, to nodrošina lignīns un celuloze. [115]

Pateicoties Eiropas zaļajam kursam un pasaules kopējai tendencei pāriet uz videi draudzīgāku materiālu izgatavošanu no atjaunojamajiem dabas resursiem ir pieaudzis pētījumu skaits, kas vērsti uz kaņepju šķiedras un epoksīdsveķu izmantošanu kompozītu izgatavošanā. [116] Turklāt gan Eiropas Savienības, gan Latvijas aktualitāte un tendences ir jaunu nanomateriālu un viedo materiālu radīšana, kas izmantojami jaunu produktu ražošanā, kā arī fosilo izejvielu aizstāšana ar atjaunojamajiem materiāliem. Kompozītmateriālu funkcionālai sastāvdaļai ir jābūt no dabīgām vietējām izejvielām – šķiedraugiem, tai skaitā kaņepēm. Kaņepes spēlē būtisku lomu klimata pārmaiņu mazināšanā, piesaistot CO₂.

Kompozītmateriālu izgatavošanai izmanto gan neapstrādātas, gan apstrādātas kaņepju šķiedras. [113] Labākas mehāniskās īpašības uzrāda kompozīti ar mehāniski apstrādātām kaņepēm. [117] Šķiedras ar dažādu novietojuma virzienu ietekmē materiāla mehāniskās īpašības (stiepi, lieci, triecienizturību, cietību, ūdens absorbciju, blīvumu). [118] Arī kaņepju novākšanas tehnoloģija ietekmē to kvalitāti un izmantošanas iespējas kompozītmateriālos. [119] Dabisko šķiedru īpašības ietekmē augšanas klimatiskie apstākļi – mitruma un siltuma režīms. [120] Dabisko šķiedru izmantošana materiālu ražošanā būtiski samazina naftas produktu patēriņu. [121]

Kompozītmateriālu izgatavošanai pamatā izmanto šādas metodes:

- injekcijas formēšanu;
- ekstrūzijas un termoplastisko injekcijas formēšanu. [122]

Kompozītmateriālu ražošanā visplašāk izmantotie šķiedru materiāli ir:

- oglekļa šķiedra,
- stiklašķiedra,
- kevlarā šķiedra,
- linu šķiedra,
- kaņepes šķiedra u. c.

2.5. Enerģijas ražošana

Ilgtspējīgu enerģētiku var attīstīt, tikai liekot lielāku uzsvāru uz vietējiem energoresursiem, īpaši atjaunojamajiem resursiem. Atjaunojamā enerģija ir būtiska ne tikai ilgtspējīgas attīstības nodrošināšanai, bet arī nabadzības samazināšanai. [123] Jau pirms desmit gadiem tika prognozēts gan globāls enerģijas patēriņa pieaugums 1,5 reizes 2040. gadā attiecībā pret 2010. gadu, gan izmaksu kāpums. Neskatoties uz laikus izteiktajām prognozēm energotirgū, Latvija joprojām ir atkarīga no importētajiem fosilajiem resursiem. Būtiski nav mazinājies importēto naftas produktu apjoms – 2022. gada pirmajos septiņos mēnešos vidējais imports mēnesī, salīdzinot ar 2017. gadu (kad bija sasniegts maksimālais importēto naftas produktu daudzums – vidēji 210 tūkstoši tonnu mēnesī), mazinājies tikai par 14 %. [124] Naftas un dabasgāzes cenu nestabilitāte, atkarība no ārvalstu enerģijas avotiem un oglekļa emisiju ietekme uz vidi ir faktori, kas veicina pašreizējo interesi par atjaunojamajiem enerģijas avotiem. [125]

Tradicionālais fosilais kurināmais negatīvi ietekmē vidi, to ražošanas un lietošanas laikā piesārņojot apkārtējo vidi, tādējādi veicinot klimata pārmaiņas. Kaņepju biodegvielu var uzskatīt par efektīvu alternatīvu kurināmo, lai mazinātu atkarību no fosilā kurināmā un samazinātu ietekmi uz vidi. Mūsdienās no kaņepēm var ražot dažādus energoproduktus, piemēram, granulas vai briketes siltuma ražošanai, biomasu elektroenerģijai vai transportlīdzekļu degvielai. Kaņepju lielā kopējā biomasas un biomasas pieaugums demonstrē spēju izmantot saules enerģiju un piesaistīt CO₂ fotosintēzei, tādējādi palielinot iespēju kaņepes izmantot kā atjaunojamo energoresursu. Celulozes un hemicelulozes daudzums ir augstāks nekā jebkurā citā kultūraugā, tāpēc tā ir piemērota biodegvielas ražošanai. [126]

Kaņepēs veidojas pietiekami augsts daudzums eļļas uz hektāru. No kaņepēm iegūtā eļļa izmantojama biodīzeļdegvielas ražošanā. Kaņepju biodīzeļdegviela var konkurēt ar mazumtirdzniecības dīzeļdegvielas cenu. Malaizijā jau tagad šo degvielu plaši izmanto un ir paredzams izmantošanas pieaugums. [127]

Kaņepju biomasas izmantošanas veidus var grupēt pēc to novākšanas laikiem: kaņepes novāktas kā zaļie augi rudenī, ja tās ir paredzētas biogāzei, vai kā sausie augi, ko pārsvarā novāc pavasarī, ja tās paredzētas cietās biodegvielas ražošanai. [128]

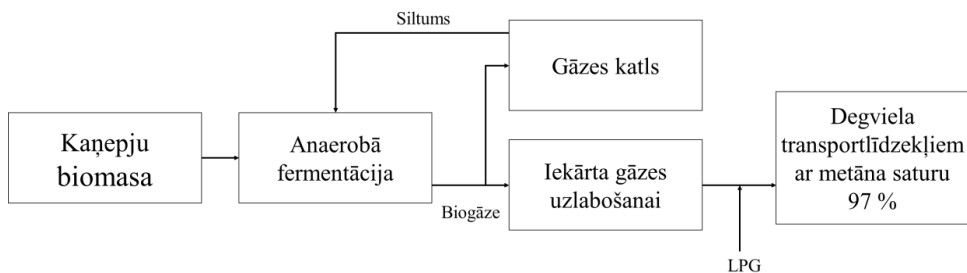
Siltuma un elektroenerģijas koģenerācijas ražošanā izmanto pavasarī novāktu kaņepju ķīpas, kas tiek sadedzinātas. Šajā gadījumā kaņepes darbojas kā papildinājums citam

kurināmajam. Lai ražotu cieto biodegvielu, kaņepju raža ir jānovāc pavasarī, kad mitruma saturs biomasā ir zemāks par 30 %. Siltuma un elektroenerģijas koģenerācijas ražošanā pieņemts, ka kaņepes sagriež un saliek vālos, pēc tam sapresē lielās kvadrātveida ķīpās ($2,4\text{ m} \times 1,2\text{ m} \times 1,3\text{ m}$). Starpuzglabāšanai ķīpas var ietīt polimēra plēvē, kas ir ekonomisks uzglabāšanas variants un neprasa tik lielus ieguldījumus kā pastāvīga uzglabāšana ēkās.

Otrs cietās biodegvielas veids ir briketes. Brikešu ražošanai kaņepes arī novāc pavasarī. Tālāk kaņepes sasmalcina 20 mm garā frakcijā un žāvē. Turpmākā apstrāde ietver presēšanu briketēs, iepakojanu un transportēšanu uz vietējām tirdzniecības vietām un klientiem. Briketes apkurei parasti sadedzina maza mēroga sadzīves apkures katlos (termiskā efektivitāte līdz 80 %). Pēdējos gados, attīstoties tehnoloģijām, norit intensīvs darbs arī pie kaņepju spaļu granulu ražošanas. Šī produkta galvenā problēma ir šķiedras klātbūtne kopējā masā, kas ierobežo augstvērtīgu granulu ražošanu.

Biogāzes ražošanai kaņepes parasti novāc rudenī. Kaņepes arī var sasmalcināt 20 mm garā frakcijā. Biogāzes reaktorā kaņepes bezskābekļa vidē veido biogāzi un barības vielām bagātu digestātu.

Ražojot biodīzeļdegvielu, process līdz pat neapstrādātai biogāzei ir tāds pats, kā ražojot biogāzi sadedzināšanai, taču tā vietā, lai sadedzinātu biogāzi, to pārstrādā līdz biodīzeļdegvielai (2.6.1. att.).

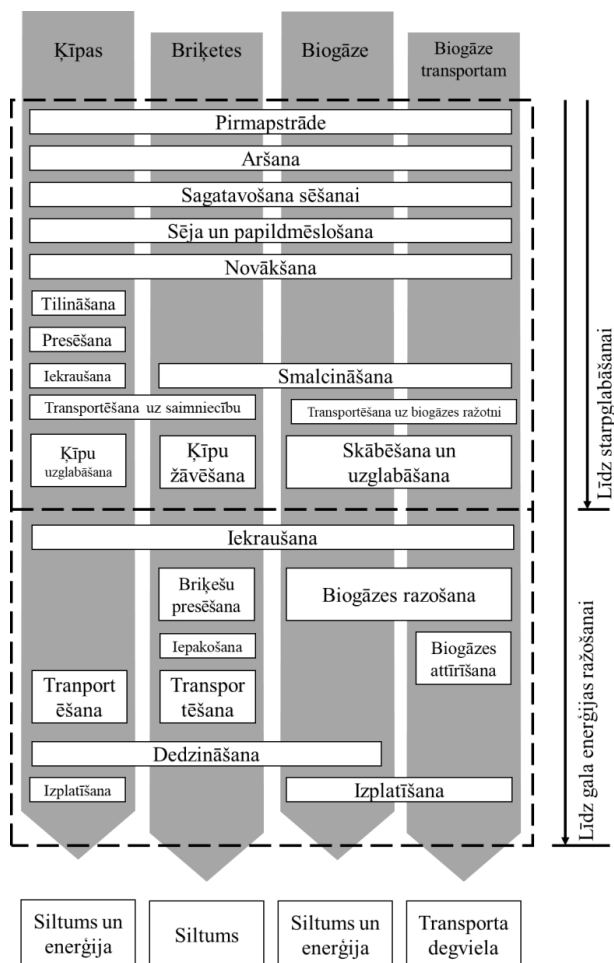


2.6.1. att. Biodīzeļdegvielas ražošana no kaņepēm. [128]

2.6.2. attēlā redzami kaņepju biomasas enerģijas ražošanas posmi dažādu produktu iegūšanai. [128]

Kaņepju biomasa ir 14–15 t/ha, no tās 70–75 % ir kaņepju spaļi. Tas nozīmē, ka enerģētikas nolūkos var izmantot ap 10–11 t/ha izejvielu. [21] Kaņepju biomasai tādas īpašības kā siltumietilpība, pelnu saturs, pelnu kušanas temperatūra ir atkarīgas no ražas novākšanas

sezonas. Novērots, ka pavasarī un ziemā novāktajām kaņepēm ir lielāka siltumietilpība (19,1 MJ/kg) nekā rudenī ievāktajām kaņepēm (18,4 MJ/kg).



2.6.2. att. Kaņepju biomasas enerģijas ražošanas posmi. [128]

Lai izmantotu kaņepju biomasu termokīmiskai apstrādei, ir svarīgi zināt tās siltumietilpību, pelnu kušanas temperatūru, emisijas izplūdes gāzēs un pelnu saturu. Vēlams, lai pelniem būtu augsta kušanas temperatūra, un krāsnī tiem vajadzētu palikt cietajā fāzē. 2.6.1. tabulā ir apkopoti kaņepju un koksnes granulu raksturlielumi.

2.6.1. tabula

Kaņepju biomasas un koksnes granulu tehniskās un ķīmiskās īpašības

Raksturlielums	Simbols	Mēr- vienība	Kaņepju granulas	Koksnes granulas
Kopējais mitrums	W ^a	%	10,98	6,00
Gaistošās vielas	V ^d	%	69,63	-
Siltumspēja	HHV	MJ/kg	18,089	19,520
Enerģētiskā vērtība	LHV	MJ/kg	16,64	17,36
Pelnu saturs	A ^d	%	2,51	0,20
Elementu saturs	C ^d	%	43,36	50,80
	H ^d	%	6,67	6,10
	N ^d	%	0,248	0,200
	S ^d	%	0,056	0,100
	O ^d	%	-	42,80

Autores veidota tabula. Avoti:[129], [130], [130]

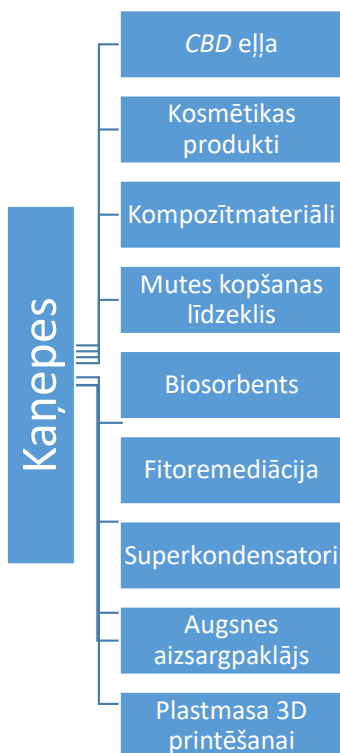
Kaņepju biomasai gaistošo vielu saturs ir 69,63 %, kas ir salīdzinoši augsts. Siltumspēja jeb augstākais sadegšanas siltums vidēji ir 18,089 MJ/kg, un ir zems pelnu saturs – 2,51 % (2.6.1. tab.). Siltumspēja ir nedaudz zemāka kā koksnes granulām, iespējams, ka to ietekmē kaņepju granulu lielāka mitruma vērtība. Izvērtēto parametru vērtības kaņepju granulām ir starp labākajām citu apkurē izmantoto biokurināmo vidū, savukārt augstais gaistošo organisko savienojumu saturs var uzlabot enerģijas pārveidošanas efektivitāti.[129], [130]

Pētījumā [131] ir aplūkotas vairāku augu (sējas kaņepes (*Cannabis sativa* L.), kukurūzas (*Zea mays* L.) un pupu (*Vicia faba* L.)) granulas kā cietais biokurināmais. Pētītas cietā kurināmā granulas, kas veidotas no viena veida auga biomasas, kā arī divu augu un trīs augu biomasas kombinācijas. Pētījumu rezultāti liecina, ka trīs galvenie ķīmiskie elementi (ogleklis, skābeklis un ūdeņradis) veido 93,1–94,9 % no biomasas granulu sastāva. Mitrums svārstās no 3,9 % līdz 8,8 %, pelnu saturs no 4,5 % līdz 6,8 %, un enerģētiskā vērtība no 16,8

MJ/kg līdz 17,1 MJ/kg. Sākotnējā pelnu kušanas temperatūra biomasas granulām ir robežās no 976 °C līdz 1322 °C. No monokultūru granulām visaugstākā pelnu sākuma kušanas temperatūra ir kaņepēm, kas sasniedz 1079 °C. Visu paraugu pelnos ir augsta kālija (K), kalcija (Ca) un fosfora (P) koncentrācija. [132] Elementu analīzi izmanto, lai aprēķinātu biomasas augstāko sadegšanas siltumu, piemērojot *Channiwala-Parikh* korelāciju. [133]

2.7. Tehniskie materiāli dažādās nozarēs

Kaņepju izmantošanai ir visai plašs spektrs ārpus jau klasiski pieņemtā, piemēram, to ziedus izmanto kosmētikas eļļām. Pēdējos gados ir attīstījušies vēl vairāki inovatīvi kaņepju izmantošanas veidi, kas ir parādīti 2.7.1. attēlā.



2.7.1. att. Inovatīvie kaņepju produkti citos izstrādājumos.

Autores veidots attēls. Avoti:[72], [134], [135]

Kaņepju ziedus izmanto kosmētikas eļļām, losjoniem un kanabidiola iegūšanai, ko mēdz izmantot ārstniecības nolūkos. Kaņepes ar savām enerģētiskajām īpašībām (augsto siltumspēju un relatīvi lielu sauso masu) ir labs izejmateriāls enerģijas ražošanai, it īpaši, ja to izmanto sajaukumā ar citiem enerģētiskajiem izejmateriāliem. No viena hektāra kaņepju iegūst apmēram 10–15 tonnas sausas biomasas, kā arī ir pieņēmums, ka viens hektārs kaņepju spēj absorbēt aptuveni 2,5 tonnas CO₂. Šāda kaņepju biomasa ir laba alternatīva neatjaunojamajiem kurināmajiem materiāliem.

Dažādas kompozītmateriālus ar kaņepju šķiedru maisījumiem izmanto arī auto detaļu ražošanas nozarē, kurā kaņepju kompozītmateriāli ir atbilstošāki, jo tie ir vieglāki un to mehāniskās īpašības mēdz būt labākas par stiklašķiedras kompozītmateriāliem. Piemēram, helikoptera detaļas, kas radītas no kaņepju šķiedras kompozītmateriāla, ir ne tikai dabai draudzīgākas, bet arī pati detaļa kļūst vieglāka nekā no stiklašķiedras radītā, tādējādi tiek samazināts helikoptera degvielas patēriņš, tā radot mazāku vides piesārņojumu un samazinot ekspluatācijas izmaksas.

Mutes iekaisums un mutes audu čūlas ir sāpīgas un biežas ķīmijterapijas un staru terapijas blakusparādības galvas un kakla vēža pacientiem. Šādas problēmas ir piedzīvojuši visi pacienti, kuri saņēmuši staru terapiju, un 20–50 % pacientu, kuri saņēmuši ķīmijterapiju. Mutes gļotādas iekaisuma patogēnēze ir saistīta ar sarežģītiem mehānismiem, jo ķīmijterapija un staru terapija izraisa mutes šūnu DNS bojājumus. *CBD* jeb kanabidiols pieder vielu grupai, kas dabiski ir sastopami kaņepju augos. *CBD* piemīt dažādas farmaceitiskas īpašības, piemēram, tas ir antioksidants, pretiekaisuma līdzeklis, un tam ir pretmikrobu iedarbība, kas padara to par daudzsoļu līdzekli mutes gļotādas iekaisuma ārstēšanai, jo tas spēj ārstēt ar mukozītu saistītus simptomus, bet jo īpaši hroniskas sāpes un mutes brūces. Gan kaņepju ekstrakts, gan *CBD* ievērojami samazina iekaisuma citokīnus. Tāpat īslaicīga skalošana ar kaņepju ekstraktu un *CBD* efektīvi kavē iekaisumu un dziedē mutes brūces, kas liecina, ka kaņepju ekstrakta vai *CBD* īslaicīga lietošana ir alternatīva ārstēšana mutes čūlas pacientiem. Ieteicamās devas mutes dobuma kopšanas līdzekļiem ir 5–50 µg/ml kaņepju ekstrakta un 0,5–1,0 µg/ml *CBD*. [134]

Smagie metāli, piemēram, svins un varš, ir ķīmiskie elementi, ko plaši izmanto lauksaimniecībā un rūpniecībā, kā rezultātā ir palielinājies smago metālu piesārņojums notekūdeņos, kas atstāj ietekmi arī uz cilvēka veselību. Adsorbēcija ir iespēja noņemt smago metālu piesārņotājus notekūdeņos, pateicoties tās augstajai efektivitātei un zemajām

izmaksām, tomēr daļa no adsorbcijā izmantojamajiem materiāliem ir dārgi, neatjaunojami un nav videi draudzīgi. Tāpēc mūsdienās attīstās biosorbcija, kas definē kā smago metālu atdalīšanu no notekūdeņiem, izmantojot bioloģiskos materiālus, tostarp biomasu no lauksaimniecības un mežsaimniecības atkritumiem. Turklāt šādi materiāli ir plaši pieejami, lēti, videi draudzīgi un atjaunojami. Biomasu sastāv no celulozes, lignīna, hemicelulozes un ekstraktvielām. Saikne starp biomasas hidroksilgrupām, karbonilgrupām, karboksilgrupām, fenola grupām un ūdens smago metālu joniem nodrošina smago metālu jonu attīrīšanu ūdens vidē. Šobrīd veiksmīgi ir izstrādāti arī biosorbenti no kaņepju spaļiem. Biosorbcija notiek helātu veidošanās dēļ starp funkcionālajām grupām un metāla joniem. Kaņepju spaļus var izmantot biosorbentu ražošanai to zemo izmaksu un augstās biosorbcijas spējas dēļ. Kaņepju biosorbentiem ir labvēlīgas raksturīgās īpašības, piemēram, nevienmērīga virsma un dažādu funkcionālo grupu pieejamība. Saskaņā ar Lengmīra izotermu vara (II) jona maksimālā adsorbcijas spēja ir 86,96 mg/g, tāpēc kaņepes efektīvi var izmantot biosorbcijā. [135]

Kaņepju biosorbentu adsorbcijas spēja dota 2.7.1. tabulā, kur ir redzams vara (II) adsorbcijas salīdzinājums ar dažādiem sorbentiem.

2.7.1. tabula

Vara (II) adsorbcijas salīdzinājums ar citiem sorbentiem [135]

Sorbenti		Q _{max} (mg/g)	Darbības stāvoklis		
Veids	Nosaukums		Sākotējais pH	T (°C)	Deva (g/L)
Biomasu	Kaņepju kāti	86,96	5	20	1
	Krabju čaula	62,28	5	30	1
	Kukurūzas serde	28,6	4,8	–	10
	Rīsu čaula	2,1	4,8	28	5
	Zemesriekstu čaula	8	–	–	5
	Cukurbiešu mīkstums	21,16	5,5	20	2,5
	Aļģu biomasu	35	6,5	25	0,5
Modificēti dabiskie materiāli	Modificēts hitozāns	158,875	–	25	1
	Ar citronskābi apstrādāta kukurūza	43,85	4,8	–	10
	Ar H ₃ PO ₄ apstrādāta kukurūza	45,12	4,8	–	10

2.7.1. tabulas turpinājums

	EDTA – rīsu čaula	8,86	4,8	28	5
Jonu apmaiņas sveķi	<i>Dowex 50 W</i>	75	5	30	1
	<i>Amberlite IRC-718</i>	127,1	4,8	–	1
	<i>Amberlite 200</i>	88,97	4,8	–	1
	<i>Lewaitt TP 207</i>	44,485	4,8	–	1
Aktivētā ogle	Jaudas aktivētā ogle	4,45	5	30	1
	Granulēta aktivētā ogle	5,08	5	30	1
Ceolīts	Ceolīts	14,62	5	30	1
Māls	Kaolinīts	4,42	4,5	20	100
Atkritumi	Tabakas pelni	5,79	5	40	16

Salīdzinot ar citiem sorbentiem (2.7.1. tab.), kaņepju biosorbentu adsorbcijas spēja ir lielāka nekā daudziem dabīgiem materiāliem. Ja salīdzina ar citiem modificētiem dabīgajiem materiāliem, kaņepju biosorbenti ir sliktāki tikai par modificēto hitozānu. Tomēr modificētā hitozāna augstā adsorbcijas spēja ir saistīta ar papildu ķīmikālijām, sarežģītu ieguves procesu un pagarinātu apstrādes laiku. Tāpat hitozāna pieejamība ir ierobežota salīdzinājumā ar kaņepēm. Kopumā kaņepju biosorbenti nodrošina augstu adsorbcijas spēju, tiem ir zemākas ražošanas izmaksas un lielāka ilgtspējība.

Fitoremediācija ir videi draudzīgs un lēts risinājums piesārņojošo vielu aizvākšanai no piesārņotām gruntīm un augsnēm. Process sastāv no zaļo augu (arī kaņepju) izmantošanas kopā ar mikroorganismiem, lai detoksikācijas un degradācijas ceļā no gruntsūdeņiem un augsnes aizvāktu toksiskus piesārņotājus.[136]

Pētījumi rāda, ka kaņepes efektīvi attīra augsni no smagajiem metāliem, jo sevišķi, Zn, Cd, Se u. c. [137] Starp kaņepju augs daļām visaugstāko smago metālu daudzumu var uzkrāt lapas. Kaņepes ir piemērotas Se uzkrāšanai, nodrošinot visaugstāko Se akumulāciju dažādās kaņepju augs daļās. Se ir būtisks daudzām dzīvības formām nelielā daudzumā, bet lielā

daudzumā ir toksisks. No sēklām iegūtie produkti (olbaltumvielu pulveris, alus un citi produkti), ziedi un lapas ir piemēroti citam galapatēriņam arī pēc Se uzkrāšanās, jo tā koncentrācija ir zemāka par Pasaules Veselības organizācijas noteiktajām robežām.[138]

Tāpat kaņepes var izmantot mazāk zināmos, bet inovatīvos produktos. Viens no šādiem produktiem ir no kaņepēm izgatavotie superkondensatori. Superkondensatori ir enerģijas uzkrāšanas ierīces, ko izmanto datoru barošanas blokos, kompresoros vai bezvadu ierīcēs un transportlīdzekļu bremžu sistēmās. No kaņepēm izgatavotas baterijas var palīdzēt izstrādāt mazākus, ātrākus un lētākus superkondensatorus. Šobrīd augstākās veikspējas superkondensatorus parasti izgatavo no grafēna, bet Turcijas Nacionālā nanotehnoloģiju institūta pētnieki ir atklājuši, ka kaņepju sēklu superkondensatori ir efektīvāki un par gandrīz 200 % pārspēj grafēnu enerģijas uzkrāšanā. [72]

Lai ražotu dažādus produktus no dabīgām izejvielām, 3D printeru pavedienu ražošanai izmanto kaņepju plastmasu, kas pilnībā izgatavota no kaņepju ražošanas atkritumiem. *HempBioPlastic* uzņēmums ir pierādījis, ka kaņepju plastmasa ir efektīvāka un estētiski pievilcīgāka nekā citas tirgū esošās bioplastmasas. Ir pierādīts, ka kaņepju plastmasa ir par 20 % vieglāka un 30 % stiprāka nekā plastmasa, ko klasiski visvairāk izmanto 3D drukāšanas pavedienos.

Augsnes aizsargpaklājs, kas izgatavots no rūpnieciskajām kaņepēm, satur sēklas un barības vielas. Šādu augsnes aizsargpaklāju var dažādu pasākumu laikā uzlikt virs zāles, aizsargājot zāli un nodrošinot īsāku dabiskā zālāja atveseļošanās laiku, ja zāle tiek tikai nedaudz bojāta. [72]

2.8. Tradicionālās un modernās žāvēšanas tehnoloģija kaņepju pārstrādē

Ražas novākšanas laikā kaņepēm ir augsts mitruma saturs, tāpēc tās ir neaizsargātas pret bojāšanos uzglabāšanas laikā. Pašlaik novāktās kaņepes var žāvēt iekštelpās, izmantojot pakaramo un paplātes žāvēšanu. Piekaramā žāvēšanas scenārijā kaņepju stādus pakar ar ziediem uz leju labi vēdināmā žāvēšanas iekārtā, kur temperatūra parasti ir no 15 °C līdz 21 °C un relatīvais mitrums ir robežās no 55 % līdz 65 %. Šādā konfigurācijā kaņepju auga kāti un zari ir nokareni un veido “aiztaisīta lietussarga” struktūru, kur ārējās daļas nosedz augu centrālo daļu. Tā kā pakaramo žāvēšanu parasti veic dabiskās konvekcijas apstākļos, gaisa plūsma ir

salīdzinoši vāja, kas izraisa lēnu konvekcijas siltuma un mitruma pārneses ātrumu, tāpēc nevar efektīvi noņemt mitrumu centrālajā daļā, un kaņepju augs nav vienmērīgi izžuvis. Tas ir iemesls, kāpēc centrālajā rajonā var veidoties pelējums. Šāds žāvēšanas process parasti ilgst 7–10 dienas. Žāvējot uz paplātes, ziedkopas atdala no auga un uz žāvēšanas paplātēm novieto plānās kārtās. Ārējie apstākļi ir līdzīgi kā pakaramā žāvēšanā. Žāvēšanas ātrums ir salīdzinoši zems, un mitruma izžūšanai līdz uzglabāšanai drošam līmenim ir nepieciešamas 3–5 dienas. [82]

Kā modernāka tehnoloģija ir jāmin karstā gaisa žāvēšana, kas ir viena no visbiežāk izmantotajām žāvēšanas metodēm pārtikas un lauksaimniecības produktiem, pateicoties tās priekšrocībām – zemām ekspluatācijas izmaksām, vienkāršai ieviešanai un aprīkojuma pieejamībai nozarē. [88] Siltuma un mitruma pārneses ātrumu šajā žāvēšanas procesā ievērojami uzlabo piespiedu karstā gaisa konvekcija žāvēšanas laikā. Kaņepju termiskā žāvēšana var izraisīt terpēnu iztvaikošanu to gaistošo īpašību dēļ, kā arī terpēnu un kanabinoīdu sadalīšanās dēļ. [82] *Chen et al.* pētījumā ir konstatēts, ka žāvēšanas temperatūrai nav būtiskas ietekmes uz *CBD* saturu kaņepju biomasā, vienlaikus temperatūras paaugstināšana izraisa būtisku terpēnu zudumu. [88] *Challa, S. K.* pētījumā ir konstatēts, ka karstā gaisa temperatūras paaugstināšana virs 40 °C būtiski neietekmē *CBD* saturu kaņepēs, un neizotermiskā karstā gaisa žāvēšana (no 40 °C nomainot uz 75 °C) samazina žāvēšanas laiku par 90 %, salīdzinot ar kontroles stāvokli, kas ir karstā gaisa žāvēšana 32 °C. [139] *Chasiotis et al.* [140], [141] ir veicis pētījumu, ka, paaugstinot žāvēšanas temperatūru no 40 °C līdz 60 °C un piemērojot neizotermisku žāvēšanu, palielinājās *CBD* un $\Delta 9$ -THC līmenis kaņepju ziedkopās un lapās.

Infrasarkanā žāvēšana ir daudzsološa žāvēšanas tehnoloģija, ko var izmantot pārtikai un augiem. Ar termisko starojumu intensīvās pārneses dēļ infrasarkanā žāvēšana ir īpaši efektīva plānu materiālu žāvēšanai vai biezu materiālu virsmas priekšžāvēšanai. Infrasarkanais starojums (ar viļņa garumu no 50 μm līdz 1000 μm) var iekļūt pārtikas virsmā 2–5 mm biezumā, radot spēcīgu termisku efektu, izmantojot ūdens molekulu vibrācijas. [142] Infrasarkanā žāvēšanu veiksmīgi izmanto dažādiem augiem, kas satur vērtīgus bioaktīvus savienojumus.

Pastāv uzskats, ka žāvēšana saldējot ir neliela ietekme uz gaistošajiem un bioaktīvajiem savienojumiem augos, kas ir saistīts ar ļoti zemu temperatūru un zemo skābekļa pieejamību saldēšanas apstākļos. [82] *Chen et al.* Pētījumā ir secināts, ka žāvēšana ar saldēšanu izraisa

mazāku terpēnu zudumu nekā žāvējot ar karsto gaisu. [88] Tomēr žāvēšana saldējot ir laikietilpīga un energoietilpīga. [143]

Dielektriskā žāvēšana, iekļaujot mikroviļņu un radiofrekvences žāvēšanu, var iekļūt kaņepju biomasā un radīt iekšēju tilpuma sildīšanu, kas ir labvēlīgi žāvēšanas efektivitātes uzlabošanai, samazinot enerģijas patēriņu un saglabājot gaistošus un bioaktīvus savienojumus. [82] *Rehkopf A.*[144] izstrādāja radiofrekvences žāvēšanas tehnoloģiju, lai varētu ātri izžāvēt kaņepes, novērst mikrobiālo bojāšanu un saglabātu produkta kvalitāti. Mikroviļņu un radiofrekvences žāvēšanu izmanto arī, lai uzlabotu citu žāvēšanas tehnoloģiju žāvēšanas efektivitāti un saglabātu bioaktīvos savienojumus. [82]

2.9. Kaņepju biorafinēšana

Moscariello et al. Pētījumā[4] veikts dažādu kaņepju biomasas rafinēšanas veidu tehniskais novērtējums. 2.9.1. attēlā ir divi iespējamie biorafinēšanas scenāriji, kas parāda tradicionālo (A shēma) un alternatīvo (B shēma) kaņepju biorafinēšanas procesu. A scenārijs attiecas uz biodegvielas un bioproduktu ražošanu no kaņepju šķiedrām, sēklām un kaņepju biomasas atliekām. Savukārt B scenārijs saglabā dažus tradicionālos sēklu un šķiedru lietojumus, koncentrējoties uz kaņepju biomasas atlieku valorizāciju ar viensūnu proteīnu, kas, iespējams, ir bagāts ar polihidroksibutirātu.

A shēma attiecas uz tradicionālo scenāriju (A), kurā kaņepju sēklas, šķiedras un spaļus izmanto biodegvielas un citu bioproduktu ražošanai. B shēma attiecas uz novatorisku biorafinēšanas scenāriju (B), kura mērķis ir valorizēt kaņepju biomasas atliekas, ražojot viensūnu proteīnu vai polihidroksibutirātu, vai to kombināciju, uzlabojot biometānu un gaistošās taukskābes kā attiecīgi anaerobās digestācijas un tumšās fermentācijas produktus. Sēklu un šķiedru tradicionālo izmantošana arī uzskata par daļu no abiem biorafinēšanas scenārijiem.

2.10. Kaņepju ieguves un pārstrādes procesu kvalitatīvais novērtējums

Kaņepju ražošanas un pārstrādes procesu kvalitatīvais vērtējums apkopots 2.10.1. tabulā. Vispirms tiek vērtēti tehnoloģiskie aspekti, ar tiem saprotot dažādu tehnoloģiju lietošanu, nepieciešamību, pieejamību un ierobežojumus. Audzēšana ir samērā viegla, un sarežģītu darbību nav. Procesā nav nepieciešamas speciālas laistīšanas sistēmas. Lai iegūtu no kaņepēm visu nepieciešamo (sēklas, šķiedru, spaļus), ražas novākšana ir salīdzinoši sarežģīta. Arī kātu tilināšana pēc plaušanas ir būtiska, lai tie izdalītu nepieciešamo mitrumu (izžūtu) un iegūtu kvalitatīvu materiālu. Arī sēklu un šķiedru pārstrāde ir process, kam nepieciešamas speciālas iekārtas.

Transportēšanai vajadzīgas pārvadāmajam produkta tipam piemērotas iekārtas, un arī papīra ražošana notiek ar speciālām iekārtām (kas daļēji atšķiras no koksnes papīra ražošanas), lai izveidotu celulozes masu un to pārstrādātu, kā arī galaprodukta – papīra – ražošanas process ir sarežģīts.

Ekonomiskie aspekti lielā mērā attiecas uz izmaksām. Līdzīgi, kā runājot par tehnoloģiskajiem aspektiem, arī, skatoties no ekonomiskās puses, iekārtu izmaksām ir būtiska ietekme, lai audzēšanu un galvenokārt ražas novākšanu paveiktu kvalitatīvi un efektīvi. Audzējot kaņepes mazos apjomos, izmaksas uz vienību ir salīdzinoši augstas, bet lielākos apjomos, tāpat kā citu graudaugu ražošanā, procesu varētu optimizēt un izmaksas izlīdzinātos. Atbilstošas iekārtas un līdz ar to investīcijas ir vajadzīgas arī pārstrādē, jo ir jāloba sēklas, jāatdala šķiedras u. c. Transports veido proporcionāli lielu izmaksu pieaugumu atkarībā no atrašanās vietas, tādējādi visizdevīgāk būtu, ja kaņepes audzētu un pārstrādātu netālu. Šobrīd

koksne papīra ražošanai ir lētāka par kaņepju masu, jo kaņepju papīru ražo mazākos apjomos un nozare vēl nav pielāgota šāda papīra ražošanai.

2.10.1. tabula

Procesu kvalitatīvais vērtējums (1–5 (augstākais))

Kaņepju ieguves un pārstrādes procesi	Tehnoloģiskie aspekti	Ekonomiskie aspekti	Vides aspekti	Klimata aspekti	Sociālie aspekti
Audzēšana	5 (vienkāršs process)	4 (sēklu iegāde, tehnikas izmantošana)	5 (uzlabo augsni)	5 (mazāk resursu audzēšanā)	2 (asociācijas ar marihuānu, normatīvo aktu prasības)
Ražas novākšana	2 (sarežģīta novākšana)	3 (speciālas iekārtas un ieguldījumi)	4 (vajadzīga tehnika)	3 (procesā CO ₂ emisijas)	3 (asociācijas ar marihuānu)
Riekstiņu un sēklu pārstrāde	3 (speciālas iekārtas)	3 (speciālas iekārtas, darbaspēks)	3 (emisijas gaisā)	3 (procesā CO ₂ emisijas)	4 (uzturvielām bagāti produkti, sabiedrības atbalsts, jo modē)
Stublāju pārstrāde	2 (speciālas iekārtas)	3 (speciālas iekārtas, darbaspēks)	3 (emisijas gaisā)	3 (CO ₂ emisijas gaisā)	4 (sabiedrības interese par videi draudzīgiem risinājumiem)
Iepakojšana	4 (izejmateriāla presēšana, šķiedras pakojšana džutas maisos)	4 (speciālas iekārtas atkarībā no produkta veida, darbaspēks)	4 (plastmasas apvalks)	4 (atkarībā no iepakojuma veida)	4 (klienta piesaistīšana, reklāma)
Transportēšana	3 (atkarīga no produkta veida)	3 (attālums līdz ražotnei un klientam)	4 (pēc iespējas mazi attālumi)	3 (transporta radītās CO ₂ emisijas)	4 (neatšķiras no citiem produktiem)
Papīra ražošana	2 (sarežģīts process)	2 (materiāla cena, process)	2 (fosilie resursi un ķīmikālijas)	2 (process, ķīmikālijas)	3 (cilvēki pieraduši pie koksnes papīra)
Apģērbu un audumu ražošana	3 (nepieciešami kvalitatīvi materiāli)	2 (citi materiāli sanāk lētāki)	4 (lielāka ražība, mazāk ūdens)	4 (draudzīgāks par kokvilnu)	4 (modes produkts)
Enerģijas ražošana	3 (salīdzinoši zema efektivitāte)	3 (salīdzinoši augsta siltumenerģijas cena)	3 (cieto daļiņu emisijas gaisā)	5 (nulle CO ₂ emisijas)	4 (vietējais kurināmais, nodarbinātība pieaug)

Autores veidota tabula.

Vides un klimata aspektu vērtējums ir līdzīgs. Audzēšanas procesā kaņepēm ir vajadzīgs mazāk ūdens (salīdzinot, piemēram, ar kokvilnu), un tiek uzskatīts, ka tās uzlabo augsni. Augam ir dabiskā aizsardzība pret insektiem, līdz ar to nav jālieto pesticīdi. Līdz ar to nav negatīvas ietekmes uz putniem un bitēm. Kaņepes, tāpat kā koki un daļa citu augu, pārstrādā CO₂ un caur to padara zemeslodi tīrāku. Ražas novākšanas, pārstrādes, transportēšanas un papīra ražošanas procesā tiek radītas CO₂ emisijas, kas klimata aspektus ietekmē negatīvi. Kaņepju papīru iespējams pārstrādāt atkārtoti līdz pat astoņām reizēm, kas pozitīvi ietekmē un pagarina to dzīves ciklu.

Par vides un klimata aspektiem runājot, to objektīvai novērtēšanai ir svarīgi apzināties arī, piemēram, kādu degvielu izmanto transportēšanā un iekārtu darbināšanā, kāds produktu iepakojumu lieto. Kaņepes vēl joprojām cilvēkiem mēdz asociēties ar marihuānu, tāpēc cieš kaņepju prestižs, kas lielā mērā attiecas uz sociālajiem aspektiem, lai gan daļu cilvēku šī negatīvā reputācija piesaista. Arī tiem, kas interesējas par videi draudzīgiem un dabiskiem materiāliem, kaņepju produkti ir atpazīstami, jo tie ir māju būvniecībā lietoti jau iepriekšējos gadsimtos. Papīru, kas radīts no koksnes, cilvēki mūsdienās uztver kā pašsaprotamu, arī to, ka papīram jābūt baltam. Kaņepju papīrs ir nedaudz tumšākā tonī, un cilvēkiem pie tā būtu jāpierod.

Pie sociālajiem aspektiem ražošanā būtiski ir pieminēt arī cilvēku nodarbinātību, kā arī tas, ka pesticīdu nelietošanas dēļ necieš kaņepju laukiem tuvumā esošās mājas un to iemītnieki. Savukārt produkta iepakojums ir atkarīgs no ražotāja izvēles un mārketinga stratēģijas – tas var būt gan labai draudzīgs, gan vērsts uz klienta piesaistīšanu, gan atkarīgs no normatīvo aktu prasībām atbilstoši produkta specifikai. Apkopojot rezultātus, var secināt, ka lielākā daļa vērtējumu ir virs vidējās vērtības 4. Zemākās vērtības ir tādos procesos kā pārstrāde, ražošana un transportēšana, kas liecina, ka papildu uzmanība jāpievērš procesiem, kur rodas CO₂ emisijas.

3. KAŅEPJU IZSTRĀDĀJUMU PILOTRISINĀJUMI

3.1. Kompozītmateriāls un tā apstrāde

Kompozītmateriālus, kas sastāv no dabiskas un mākslīgas izcelsmes šķiedrām un saistvielām, arvien vairāk izmanto dažādās rūpniecības jomās. Bieži vien iegūto materiālu apstrāde gatavās formās ir sarežģīta un dārga. Pašlaik dominē kompozītmateriālu apstrāde, piemēram, frēzēšana, griešana vai slīpēšana. Mūsdienās lāzerus arvien vairāk izmanto ražošanas procesos, tai skaitā materiālu apstrādē. Taču, izmantojot lāzerus, ir lāzera parametri sākotnēji ir jāpielāgo optimālai materiāla apstrādei, jo, ņemot vērā dažādus lāzerus un apstrādājamus materiālus, atšķiras uzstādāmie parametri un mainās iegūstamās apstrādes kvalitāte.

Klimata pārmaiņas atstāj arvien pieaugošu spiedienu uz ražojošo industriju. Sabiedrība un attīstīto valstu politiķi uzsvāru liek uz atjaunojamu materiālu izmantošanu izstrādājumu izgatavošanā. Tas lielā mērā attiecināms arī uz kompozītmateriāliem. Agrāk pamatā tika izmantotas sintētiskās jeb mākslīgās šķiedras. Šobrīd tās daļēji vai pilnībā tiek aizstātas ar dabiskās izcelsmes šķiedrām, kas iegūtas no, piemēram, kaņepēm un liniem. Pasaulē šīnī jomā ir veikti daudzi nozīmīgi pētījumi. No dabiskām šķiedrām iegūtajiem kompozītmateriāliem ir labas mehāniskās īpašības. Šie materiāli labi konkurē ar mākslīgo šķiedru kompozītiem, kas izgatavoti, piemēram, no oglekļa šķiedras. Kā piemēru var minēt kaņepju šķiedru, kas parāda labus rādītājus stiepē un liecē. [114] Šķiedru kompozītmateriāli paaugstina arī materiālu triecienizturību.

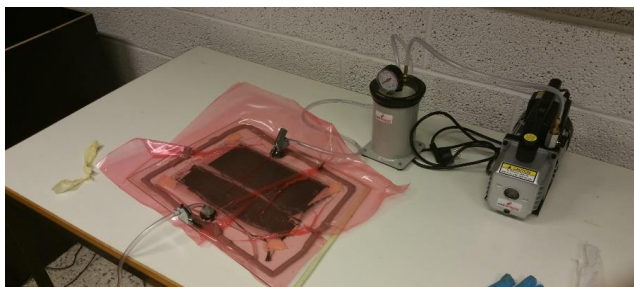
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijā laboratorijas apstākļos tika izgatavoti kompozītmateriālu paraugi, kas sastāv no saistvielas (epoksīdsveķiem) un armējošā materiāla (kaņepēm, liniem un oglekļa šķiedrām). Tika pētītas iegūto kompozītmateriālu lieces un stiepes īpašības, kā arī analizēta to apstrādes kvalitāte ar šķiedru lāzeru. Saražotais biokompozītmateriāls ir videi draudzīgi arī jāapstrādā, lai iegūtu nepieciešamos detaļas izmērus un formu. Pētījums ir vērst uz šķiedras lāzeru izmantošanas efektivitātes novērtējumu kompozītmateriālu apstrādē. Lāzeri dod iespēju apstrādāt materiālu ļoti precīzi un ātri. Tehnoloģija ir videi draudzīga, jo nerada, piemēram, putekļus, kā tas ir materiālu griežot vai slīpējot. Tomēr, mainoties apstrādājamajam materiālam, ir jāpielāgo arī lāzera darbības parametri.

Pētījuma aktualitāte ir saistīta ar tendencēm ES – jaunu nanomateriālu un viedo materiālu radīšana, kas izmantojami jaunu produktu ražošanā, aizstājot no naftas produktiem izgatavotos materiālus. Kompozītmateriālu funkcionāla sastāvdaļa – dabīgās vietējās izejvielas – šinī gadījumā ir šķiedraugi.

Kompozītmateriāla izgatavošanai tika izmantots:

- oglekļa šķiedras audums,
- kaņepju šķiedras audums,
- linu šķiedras audums,
- epoksīdsveķi.

Kompozītmateriāla izgatavošanai izmantota aukstā laminēšanas vakuumā (3.1.1. att.). Šķiedru audumi tika piesātināti ar epoksīdsveķiem vakuumā. Tas nodrošina viendabīgu materiālu struktūru un neveidojas poras.



3.1.1. att. Kompozītmateriālu izgatavošana.

Autores veidots attēls. Avots: Autores foto RTA laboratorijā.

Izstrādāti šādi kompozītmateriālu veidi:

- oglekļa šķiedra – kaņepju šķiedra, epoksīdsveķi;
- oglekļa šķiedra – oglekļa šķiedra, epoksīdsveķi;
- kaņepju šķiedra – kaņepju šķiedra, epoksīdsveķi;
- linu šķiedra – kaņepju šķiedra, epoksīdsveķi;
- oglekļa šķiedra – linu šķiedra, epoksīdsveķi.



a)



b)



c)

3.1.2. att. Kompozītmateriāli: a) Kaņepju šķiedra – kaņepju šķiedra; b) Oglekļa šķiedra – kaņepju šķiedra; c) Linu šķiedra – kaņepju šķiedra.

Autores veidots attēls. Avots: Autore foto RTA laboratorijā.

3.1.2. attēlā redzami kompozītmateriālu paraugi pēc to izgatavošanas.

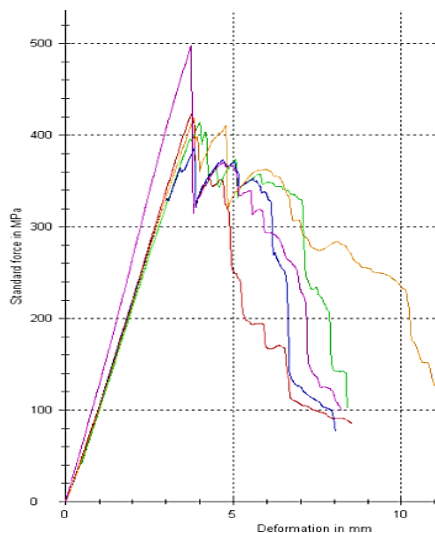
Liece ir svarīgs materiāla mehāniskais rādītājs automašīnu un aeronautikas detaļu izgatavošanā. Kompozītmateriālu paraugu lieces testēšana veikta ar testēšanas iekārtu *Zwick&Roell Z150*. Katram izgatavotajam paraugam veikti trīs paralēli mērījumi. Iegūtie rezultāti redzami 3.1.3. attēlā. Oglekļa šķiedra – oglekļa šķiedra kompozītmateriāla tests uz lieci:

- maksimālā izturības robeža ir vidēji 410 MPa;
- deformācija līdz izturības robežai notiek aptuveni 4 mm;
- deformācija ilgst līdz 7 mm, pēc kā notiek parauga sagūšana;

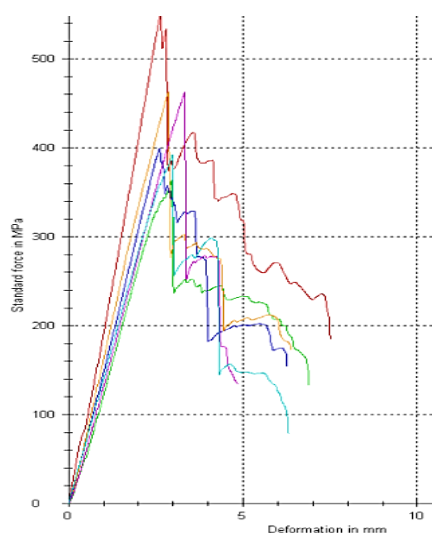
Oglekļa šķiedra – kaņepju šķiedra kompozītmateriāla tests:

- maksimālā izturības robeža ir vidēji 440 MPa;
- deformācija līdz izturības robežai notiek aptuveni 3 mm;
- materiāla sagraušana notiek pakāpienveidīgi, ko parāda pīķi pie 3,6 mm un 4,3 mm.

Iegūtie kompozītmateriālu lieces testi parāda, ka kompozītmateriālos izmantotie dabisko šķiedru materiāli, piemēram, kaņepes, ir labi oglekļa šķiedras aizstājēji. Galvenās dabisko šķiedru kompozītmateriālu priekšrocības ir to mazais svars, noturība pret agresīvu vidi, augstā izturība stiepē un liecē.



a)



b)

3.1.3. att. Lieces tests: a) oglekļa šķiedra – oglekļa šķiedra materiālam; b) oglekļa šķiedra – kaņepju šķiedra materiālam.

Autores veidots attēls, izmantojot RTA laboratorijā iegūtie testēšanas rezultātus ar Zwick&Roell Z150.

Pēdējos gados arvien vairāk tiek pievērsta uzmanība kaņepju kompozītmateriālu īpašību un pielietojuma pētījumiem. Starp daudzām dabiskām šķiedrām, tieši kaņepēm piemīt īpašības, kas tās padara plaši pielietojamas gan augstā celulozes satura, gan zemo izmaksu dēļ. Apstrādes rūpniecībā svarīga ir izmantojamā materiāla mehāniskā apstrāde, piemēram, griezējinstrumentu darba mūžs noteikta skaita detaļu apstrādē; kā arī produkta noturība un īpašību saglabāšana noteiktos vides apstākļos, iedarbības režīmos, slodzēs utt.[145] Kompozītmateriāli ir svarīgs produkts daudzu konstruktīvo risinājumu elements aviācijā un autobūvē. Tradicionālos oglekļa šķiedras – epoksīdu kompozītmateriālus, arvien vairāk aizvieto ar ekoloģiskākajiem kaņepju šķiedras – epoksīdu biokompozītiem. Kompozītmateriāliem piemīt augsta mehāniskā un korozijas noturība, zema tilpummasa. Tas padara kopējo izstrādājumu, piemēram, lidmašīnu vieglāku, kas, savukārt, ir būtisks faktors degvielas patēriņa samazināšanai un līdz ar to risina gan ekonomiskos, gan ekoloģiskos izaicinājumus. Kompozītmateriālam svarīga ir tilpuma homogenitāte un epoksīda adhēzija ar armējošo materiālu (kaņepju, linu vai oglekļa šķiedra). Tieši adhēzija

nodrošina materiālu noturību un neatslāpošanos to apstrādes laikā, kā arī gatavās detaļas vai izstrādājuma ekspluatācijas laikā. [146] Veicot mehānisko apstrādi, piemēram, griežot vai urbnot, tiek ietekmēta kompozīta iekšējā struktūra. Arī apstrādātā materiāla apjoms ir mazāks, nekā pielietojot arvien vairāk izmantoto lāzerapstrādes metodi. Tā ir ātrāka, precīzāka, videi draudzīgāka.

Kaņepju šķiedras armatūras veiktspēja ir atkarīga no saražotā kompozīta pielietojuma. Īsās šķiedras parasti tiek izmantotas kompozītmateriālu ražošanā, kuri nav paredzēti izmantošanai pie lielām slodzēm. Šinī gadījumā šķiedras epoksīdā iestrādātas haotiski, bez striktas orientācijas. Kompozīti, kas paredzēti izmantošanai pie lielām mehāniskām slodzēm, tiek ražoti no kaņepju šķiedru auduma vai arī neaustām šķiedrām, kas izvietotas noteiktā virzienā. [147]

Lāzergriešanas testēšanai sagatavoti kompozītmateriālu paraugi standarta izmēros 100×100 mm. Paraugi izveidoti kā:

- oglekļa šķiedras un epoksīda kompozīts;
- kaņepju šķiedras un epoksīda kompozīts.

Apstrādājot paraugu ar lāzeru (veicot lāzergriešanu), attālums starp lāzera stara pārvietošanās līnijām bija 15 mm. Tas veikts ar nolūku, lai griezuma kvalitatīvajā analīzē nebūtu konstatējama iedarbība no iepriekš veiktās apstrādes vietas.

Eksperimentos izmantotā lāzera galvenie rādītāji ir šādi:

- tips – šķiedras;
- viļņa garums (nm) – 1080 +/- 10;
- maksimālā jauda (W) – 1000.

Ar lāzeru uz paraugiem iegrieztas 10 paralēlas līnijas ar tādiem pašiem parametriem – griešanas ātrumu (v) un lāzera stara jaudu (P). Pēc pirmajiem eksperimentiem P un v vērtības tika mainītas.

Eksperimenti tika veikti sešās grupās, saglabājot nemainīgu griešanas ātrumu katrā no tām:

- 1) pirmā grupa $v=10$ mm/s;
- 2) otrā grupa $v=30$ mm/s;
- 3) trešā grupa $v=50$ mm/s;
- 4) ceturta grupa $v=70$ mm/s;

5) piektā grupa $v=90$ mm/s;

6) sestā grupa $v=110$ mm/s.

Katrai grupai tika mainīta iepriekš norādītā lāzera stara jauda (P), jeb tika izmantotas šādas P vērtības: 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, 500 W, 600 W, 700 W, 800 W, 900 W un 1000 W.

Griešanas līnijas šķērso paraugu visā tā garumā. Griešanas līnijas platums mērīts, izmantojot daudzfunkcionālo lāzerskenējošo mikroskopu *OLYMPUS LEXT OLS 5000*. Griešanas līnijas uz kompozītmateriāliem redzamas 3.1.4. attēlā.

Katram paraugam vidējo aritmētisko līnijas platumu aprēķina pēc 10 mērījumu rezultātiem.



a)



b)

3.1.4. att. Griešanas līnijas: a) kaņepju šķiedras un epoksīda kompozītam; b) oglekļa šķiedras un epoksīda kompozītam.

Autores veidots attēls. Avots: Autores foto RTA laboratorijā.

Tika vērtēta lāzera stara jauda (P), griešanas ātrums (v), ietekme uz griezuma platumu un griezuma kvalitāti jeb tas, kā lāzera stara jauda ietekmē griezuma platumu un griezuma kopējo kvalitāti.

Izgatavotie paraugi tika analizēti, izmantojot digitālo attēlu apstrādi, lai novērtētu griezuma platumu un šķiedras bojājumus gan staru ieejas pusē, gan staru izejas pusē. Tas tika veikts, izmantojot mikroskopu.

Lāzera griešanas kvalitātes novērtējums sastāv no tādiem kritērijiem kā termiskie bojājumi un parauga ģeometrijas defekti. Lai optimizētu griezuma kvalitāti, svarīga ir šķiedras bojājumu samazināšana līdz minimumam.

Liela ietekme uz lāzergriešanas procesa efektivitāti ir materiāla fizikālajām, termiskajām un noteiktām mehāniskajām īpašībām.

Parametri, kurus operators izvēlas atkarībā no materiāla, parasti ietver:

- lāzera tipu,
- lāzera stara jaudu,
- griešanas ātrumu,
- fokusa attālumu,
- palīgģāzes tipu un spiedienu (ja piemēro).

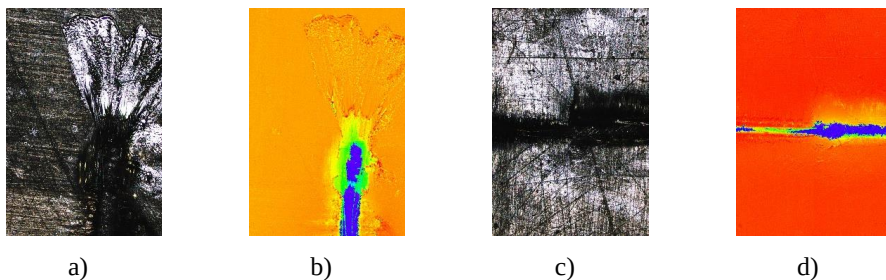
Lāzera stara un materiāla mijiedarbība ir sarežģīta un tomēr ne pilnībā saprasta parādība lāzergriešanā. Lāzergriešanas laikā lāzera stari tiek izkliedēti, atstaroti un absorbēti materiālā, to ietekmē lāzera stara viļņa garums.

Parasti tiek pieņemts, ka lāzera jauda (kontrolē jaudas blīvumu) un griešanas ātrums (kontrolē mijiedarbības laiku) ir dominējošie faktori, kas ietekmē materiāla apstrādi.

Griezuma platums un dziļums samazinās, palielinot griešanas ātrumu un samazinot lāzera stara jaudu. Palielinot ātrumu, arī samazinās sadegušie materiāli, kas rodas, ar lāzeriem apstrādājot organiskas izcelsmes materiālus.

Eksperimentos redzams, ka ir būtiskas kvalitatīvas atšķirības starp oglekļa šķiedras kompozītmateriāla un kaņepju šķiedras kompozītmateriāla griezumam līnijām. Tas novērojams gan šķiedrmateriāla pārrogošanās procesos, gan paraugu caurgriešanā.

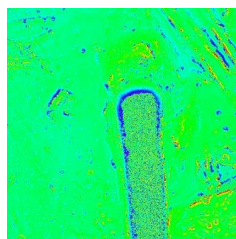
Griezuma līnija ne vienmēr ir homogēna (3.1.5. att.), kur redzams, ka veidojas materiāla caurgriešanas un necaugriešanas zonas. Tas ietekmē kompozītmateriāla turpmāko izmantošanu un palielina nepieciešamību pēc griezuma vietas pēcapstrādes. Oglekļa šķiedras kompozītam, kā tas redzams 3.1.5. a) un b) att., lāzergriešanas sākuma un beigu posmā ir paaugstināta termiskā ietekme uz paraugu.



3.1.5. att. Griešanas līnijas kvalitāte oglekļa šķiedras un epoksīda kompozītam.



a)



b)

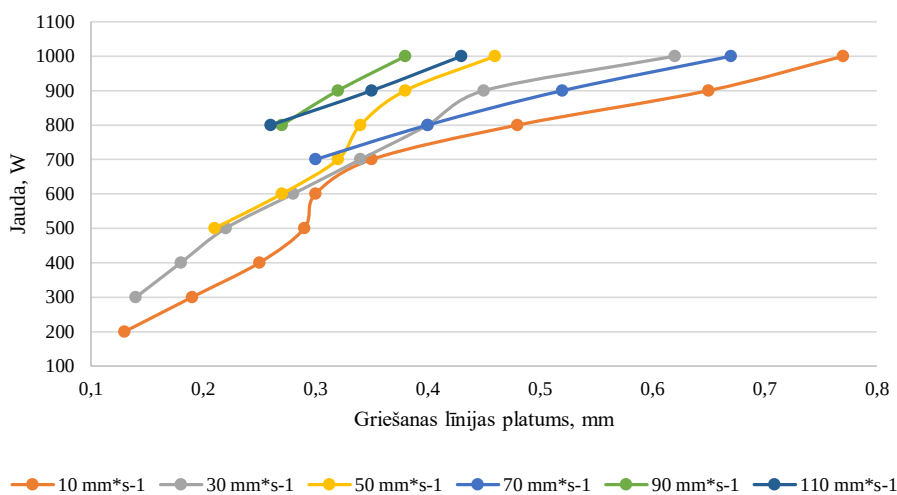
3.1.6. att. Griešanas līnijas kvalitāte kaņepju šķiedras un epoksīda kompozītam.

Autores veidoti attēli, izmantojot RTA laboratorijā iegūtos attēlus ar daudzfunkcionālo lāzerskenējošo mikroskopu OLYMPUS LEXT OLS 5000.

Savukārt kaņepju šķiedras kompozītam šāda termiskā ietekme netika novērota vai arī ietekmes zona bija mazāk izteikta (3.1.6. att.). Arī griezuma līniju kvalitāte kaņepju šķiedras kompozīta gadījumā bija kvalitatīvāka. Tas ir tāpēc, ka oglekļa šķiedrai ir augstāka kušanas temperatūra, kas atstāj būtisku ietekmi uz griezuma kopējo kvalitāti. Izteikti paraugu termiski degradējoša ietekme ir tad, ja lāzera stara pārvietošanās ātrums ir zems un lāzera stara jauda augsta.

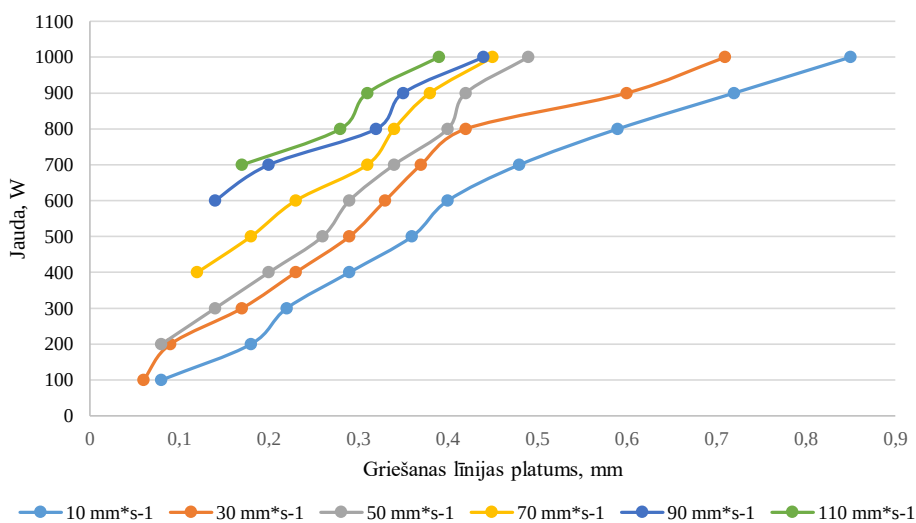
Pēc lāzerapstrādes redzams, ka kaņepju un oglekļa šķiedras kompozītmateriālu griešanas kvalitāte ir būtiski atšķirīga. Kaņepju materiāla griešanai nepieciešama mazāka lāzera jauda un var izmantot lielāku griešanas ātrumu, savukārt oglekļa šķiedras materiālu optimāli griezt zemākā ātrumā un ar lielāku lāzera jaudu (3.1.7. un 3.1.8. att.).

Piemēram, oglekļa šķiedras materiāla griešana nenotiek, ja lāzera jauda ir zema (100 W un 200 W), bet, pieaugot griešanas ātrumam, arī pie lielākām jaudām materiāls netiek kvalitatīvi nogriezts. Kaņepju materiāls efektīvi tiek griezts arī zemas jaudas un liela ātruma gadījumā. Mainīgs ir arī griezuma platums. Oglekļa šķiedras gadījumā kompozītmateriāls tiek ietekmēts vairāk. Konstatējama materiāla pārogļošanās. Kaņepēm tas novērojams ļoti minimāli.



3.1.7. att. Griešanas līnijas platuma izmaiņas atkarībā no griešanas ātruma un jaudas (oglekļa šķiedras un epoksīda kompozīts).

Autores veidots attēls, izmantojot RTA laboratorijā iegūtos pētījumu rezultātus.



3.1.8. att. Griešanas līnijas platuma izmaiņas atkarībā no griešanas ātruma un jaudas (kaņepju šķiedras un epoksīda kompozīts).

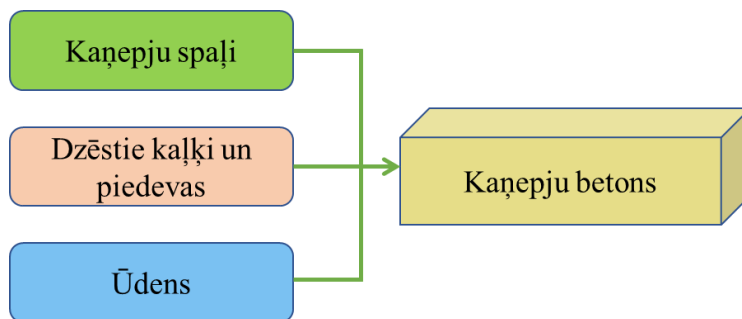
Autores veidots attēls, izmantojot RTA laboratorijā iegūtos pētījumu rezultātus.

Šķiedru kompozītmateriālu lāzerapstrādei ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar tradicionālajām apstrādes metodēm.

- Lāzerapstrāde ir materiālu apstrāde bez fiziska spēka ietekmes. Tā novērš instrumenta izmantošanu un nodilumu (jo tādu nav), darbgaldu vibrācijas un novirzes, kā arī izstrādājuma formas ierobežojumus, kā tas notiek mehāniskās apstrādes laikā.
- Salīdzinot ar abrazīvo procesu, lāzergriešanā var sasniegt šaurāku griezuma platumu un lielāku griešanas ātrumu, vienlaikus piedāvājot labākus griezumus.
- Svarīgi atrast optimālus lāzerapstrādes procesa parametrus, kas gala rezultātā nodrošina minimālus materiāla termiskos bojājumus. Lielā mērā tas ir atkarīgs no materiāla biezuma, griešanas ātruma un lāzera jaudas blīvuma.
- Kaņepju šķiedras kompozītmateriālu griešanai ir nepieciešama mazāka lāzera jauda nekā oglekļa šķiedras kompozīta gadījumā. Pie vienādiem lāzera parametriem kaņepju šķiedras kompozītam piemērojams lielāks lāzera griešanas ātrums nekā oglekļa kompozītam.

3.2. Kaņepju spaļu betons

Kaņepju spaļu betonu (kaņepju betonu) iegūst kaņepju, spaļus sajaucot ar dzēstajiem kaļķiem (nepieciešamības gadījumā pievieno arī piedevas) un ūdeni, noteiktās proporcijās (3.2.1. att.). Kaņepju betonu izmanto kā siltumizolācijas materiālu un pildvielu koka statņu ēku nenesošajās konstrukcijās un arī kā skaņas izolācijas materiālu.



3.2.1. att. Kaņepju betona ražošanas sastāvdaļas.

Autores veidots attēls.

Tas iekšstelpās nodrošina ļoti labu mikroklimatu un antialerģisku vidi, pateicoties tam, ka tiek akumulēts gan liekais mitrums, gan saglabāts sienas siltums temperatūru svārstību laikā, kas ir būtiski dzīvojamām telpām.

Tehnoloģiski kaņepju betonu parasti sagatavo (sajauc) un iestrādā uz vietas būvobjektā, retāk – tas ir plātņu veidā kā gatavs būvniecības materiāls. Svarīgi ir panākt viendabīgu masu, kas būtu gan viegli iestrādājama, gan homogēna visā iestrādātajā tilpumā.

Ļoti nozīmīga priekšrocība, iestrādājot materiālu uz vietas būvobjektā, ir tas, ka neveidojas salaiduma šuves, kuras citos gadījumos būtu atsevišķi apstrādājamās. Kā ieguvums ir siltuma tiltu veidošanās novēršana, līdz ar to nav siltuma zudumu.

Atkarībā no sagatavotā materiāla sastāva proporcijas un konsistences vienā piegājienā iestrādātais materiāls var sasniegt 4 m augstumu.

Gatavais produkts ir ugunsizturīgs, tam ir maza tilpummasa. Līdz ar to kaņepju betonam nav papildus jāpievieno cilvēkam bīstamas ķīmiskas vielas, lai nodrošinātu konstrukcijām nepieciešamo ugunsizturības līmeni.

Promocijas darba autors kopā ar Rēzeknes Augstskolas (šobrīd Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas) kolēģiem veica pētījumus siltumizolācijas kompozītmateriāla no sapropeļa un sējas kaņepju atlikumiem receptūras izstrādē. Rezultātā ir iesniegts patenta pieteikums un saņemts patents: LV patents Nr. 14869, Sapropeļa un kaņepju spaļu betons ēku siltumizolācijai (angļu val. *Concrete containing sapropel and hemp sheaves for insulation of buildings*), 2014, izgudrotāji – S. Pleikšnis, Ē. Teirumnieka. Patenta īpašnieks – Rēzeknes Augstskola.

Izgudrojums attiecas uz ilgtspējīgu būvniecību un konkrēti uz jauna ekoloģiska siltumizolācijas kompozītmateriāla iegūšanu. Ir zināmi dažādi siltumizolācijas materiāli ēku siltināšanai: putupolistirols, akmensvate, minerālvate, perlīts u. c. Visi šie siltumizolācijas materiāli to izgatavošanas procesā tiek pakļauti ļoti sarežģītai apstrādei (drupināšana, malšana, termiskā apstrāde utt.) un tehnoloģiskie procesi ir saistīti ar lielu enerģijas patēriņu un rezultātā augstām galaproduktu dzīves cikla CO₂ emisijām. Līdz ar to šobrīd izmantotie ēku siltumizolācijas materiāli rada desmitiem tonnu CO₂ emisiju.

Sapropeļa un sējas kaņepju atlikumu siltumizolācijas kompozītmateriāls ir absolūti ekoloģisks siltumizolācijas materiāls: sapropeļa – kaņepju spaļu betons (turpmāk tekstā – SKS betons). Galvenā saistviela ir organogēnie ezera nogulumi – sapropelis, kas konkrētajā gadījumā aizstāj dzēstos kaļķus. SKS kā pildvielu izmanto kaņepju spaļus, kas iegūti no sējas kaņepju šķirnēm (*Cannabis sativa L.*). Kaņepju spaļi ir kaņepju pārstrādes rezultātā iegūti atlikumi ar mazu tilpummasu. SKS betons ir elpojošs, tāpēc tiek nodrošināts labvēlīgs mikroklimats telpā. Ļoti svarīgs aspekts ir šī materiāla ietekme uz apkārtējo vidi.

Kaņepes augšanas laikā saista CO₂ un izdala O₂. Kaņepju piesaistītais CO₂ saglabājas visā dzīves ciklā un pārstrādes procesā. No ezeriem iegūto sapropeli arī uzskatīta par atjaunojamu un ekoloģisku materiālu, ko papildus neapstrādā. Tajā pašā laikā, iegūstot sapropeli, tiek attīrīti aizaugušie ezeri.

Ēkām, kas būvētas no SKS betona, ir daudz mazāka ietekme uz vidi nekā tradicionālajām: mazāks enerģijas patēriņš izejmateriālu ieguvē, praktiski nav būvniecības atkritumu un ir mūsdienu prasībām atbilstošas siltumizolācijas īpašības.

SKS betonu var izmantot visu ēku norobežojošo konstrukciju daļās. Šo materiālu var lietot ēkas grīdu, sienu, pārsegumu un mansardu siltināšanā. SKS betona sastāvs ir šāds: kaņepju spaļi, sapropelis un ūdens maisījums attiecībā 1:2:1. SKS betons var būt ietojams karkasa ēku būvniecībā, kā arī pašnesošu sienu konstrukcijās. Ņemot vērā SKS betona relatīvi zemo spiedes stiprību, tas labāk izmantojams kā pašnesošu sienu siltumizolācijas materiāls. Vispirms veido ēkas koka karkasu un jumta konstrukciju ar segumu. Šāda darba tehnoloģija ļauj darbus veikt arī lietus laikā. Savukārt sienu izveidei tiek uzstādīti veidņi un SKS betonu pilda pakāpeniski pa slāņiem, labi sablīvējot. SKS betona maisīšanai var izmantot dažādus cikliskās darbības pārvietojamus betona maisītājus. Ja būvniecības apjomi ir lieli, tad var izmantot izsmidzināšanas paņēmieni ar speciāliem sūkņiem. Kad materiāls ir pietiekami sacietējis, sienu atveidņo.

Pēc pilnīgas materiāla izžūšanas veic sienas iekšējo apdari. Palielinot saistvielas daudzumu (kaņepju spaļi, sapropelis un ūdens maisījums attiecībā 1:2,5:0,5), var veidot arī gatavus sienu blokus, bet tiem būs vajadzīgi speciāli veidņi, un bloku žāvēšana var aizkavēt būvniecības procesu.

Lai uzlabotu SKS betona ugunsdrošību, ieteicams pievienot boraku (līdz 7 %), kas aizkavē uguns iekļūšanu ēkā – paaugstinoties temperatūrai, boraks izdala ūdeni, materiāls kļūst ugunsizturīgs un vienlaku aizsargā arī ēkas koka konstrukcijas.

Lai aizsargātu SKS betonu pret grauzējiem un kukaiņiem, ieteicams pievienot būvniecības kaļķi vai smiltis (līdz 8 %).

SKS betonam ir labas ne tikai termiskās, bet arī akustiskās īpašības, kas ievērojami atšķiras no citiem betoniem.

Darbs ar šādu materiālu nerada risku apkārtējai videi un cilvēku veselībai.

SKS betonu ieteicams izmantot koka karkasa ēkās, kas nav augstākas par diviem stāviem. SKS betona blīvums ir 140–170 kg/m³. Vidējā materiāla siltumvadītspēja λ ir 0,0552 W/(m·K).

SKS betona blīvums un siltumvadītspēja ir līdzīga zema blīvuma 50 mm kaņepju plākšņu (200 kg/m³) siltumvadītspējai (0,054 – 0,06147 W/(m·K)). Līdz ar plākšņu blīvuma palielināšanu, pieaug siltumvadītspēja. [148] Kaņepju betona priekšrocība pret plāksnē ir šuvju neesamība, kas nepieļauj siltuma zudumu rašanos caur šuvēm. Putuģipsim ar kaņepju spaļu piedevām ir ievērojami augstāks blīvums (virs 400 kg/m³), tai pat laikā augstāka siltumvadītspēja (0,10 – 0,12 W/(m·K)). [149]

4. DATU ANALĪŽU METOŽU KOMBINĒŠANA ILGTSPĒJĪGAI KAŅEPJU UN NIEDRU BIOMASAS IZMANTOŠANAI LATVIJĀ

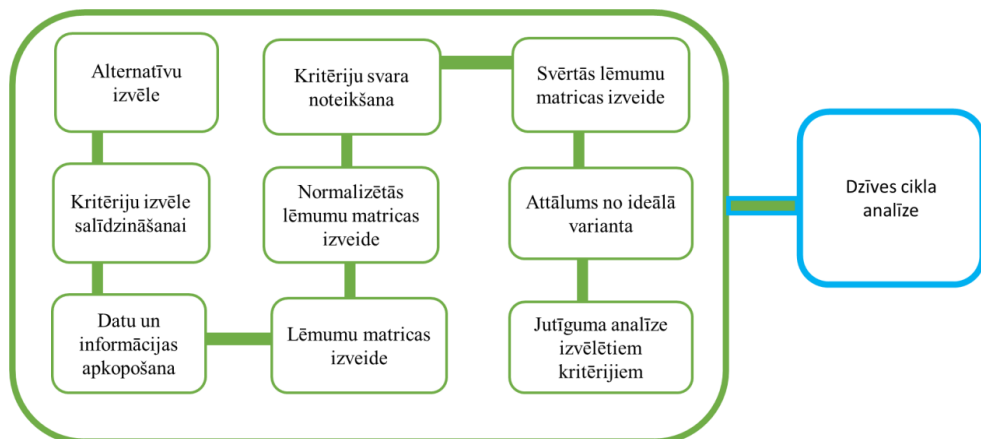
Lai noteiktu ilgtspējīgāko alternatīvu kaņepju un niedru biomasas izmantošanai, tika kombinētas daudzkritēriju analīzes metode un dzīves cikla analīzes metode. Kā atzīmēts iepriekš, lauksaimnieciskajos sējumos plaši lieto slāpekļa mēslojumu, kas slāpekļa savienojumu augstās šķīdības dēļ viegli pāriet hidrosfērā un nonāk ūdenstilpēs. Tas veicina barības vielu uzkrāšanos un ūdensaugu intensīvu attīstību, un Latvijā īpaši ir pieaugušas niedru platības. Līdz ar to ir lietderīgi izvērtēt gan kaņepju kā kultivējamās kultūras, gan niedru kā dabiskajos apstākļos pastiprināti augošas biomasas izmantošanas potenciālu.

Daudzkritēriju lēmumu pieņemšana ir komplicēts process, kura mērķis ir palīdzēt lēmumu pieņēmējiem padarīt lēmumus efektīvākus un konsekventus. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšana ir vispārīgs apzīmējums metodēm, kas palīdz pieņemt lēmumu atbilstoši situācijai, kad ir vairāk nekā viens pretrunīgs kritērijs. To izmanto stratēģiskiem novērtējumiem un lēmumu pieņemšanai sarežģītās situācijās ar lielu nenoteiktību un pretrunīgiem mērķiem. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas priekšrocība ir tās lietošana lēmumu pieņemšanā ar kvalitatīviem un kvantitatīviem faktoriem.[150] Literatūrā ir atrodami dati par daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodes kombinēšanu ar citām datu apstrādes un analīzes metodēm un rīkiem, piemēram, ģeogrāfiskās informācijas sistēmām (GIS) [151]–[153], energosistēmu modeli *TIMES* [154], risku analīzes metodi [155], izmaksu efektivitātes analīzes metodi [156] u. c.

4.1. Metodoloģija

Pētījuma uzdevums ir novērtēt kaņepju izmantošanas ilgtspējību enerģijas ražošanai, izmantojot integrētu datu analīzes metožu kopumu. Lai sasniegtu izvirzīto uzdevumu, tika izstrādāta metodoloģija kaņepju izmantošanas ilgtspējas izvērtēšanai. Tika veikta arī rezultātu jutīguma analīze. Integrēti izmantojot iepriekšminētās metodes, ir iespējams iegūt pilnīgāku daudzkritēriju analīzes rezultātu. 4.1.1. attēlā redzama pētījuma metodoloģijas shēma. *TOPSIS*

metode ir visvienkāršākā un ērtākā alternatīvu salīdzināšanai, savukārt jutīguma analīze dod iespēju novērtēt alternatīvu snieguma izmaiņas. Dzīves cikla analīze ļauj kvantitatīvi novērtēt produkta ietekmi uz vidi.



4.1.1. att. Pētījuma metodoloģijas shēma.

Autores veidots attēls.

4.1.1. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metode

Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metode *MCDM* (*Multiple Criteria Decision Making*) jeb daudzkritēriju lēmumu analīzes metode *MCDA* (*Multiple Criteria Decision Analysis*) ir lietojama kritēriju jeb indikatoru identificēšanai un pārbaudei, kritēriju svēršanai un alternatīvu sarindošanai, kad lēmums jāpieņem neviendabīgu kritēriju un ievades datu gadījumā. [157] Daudzkritēriju analīze *MCA* (*Multi-criteria Analysis*) ir analīzes veids, kurā tiek ņemti vērā vairāki faktori, kas ietekmē situāciju. *MCA TOPSIS* (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) metode sniedz situācijas modeli, kas ir pēc iespējas tuvāks reālajiem apstākļiem, ļaujot salīdzināt alternatīvas, kas nav savstarpēji analizējamas bez analītiskas pieejas. *TOPSIS* metode izvērtē alternatīvas saistībā ar ideālo scenāriju vai risinājumu, un vislabākā alternatīva ir ideālajam risinājumam vistuvākā situācija. *TOPSIS* metode ietver četrus posmus, kas apkopoti 4.1.1.1. attēlā. [158]–[160] Pirmajā posmā tiek apkopota informācija par izvēlētajiem kritērijiem un alternatīvām. Otrajā posmā tiek veikta

datu normalizēšana. Trešajā posmā notiek datu normalizēšana ar svaru vērtībām, bet ceturtajā – attāluma no ideālā varianta koeficienta aprēķināšana (tā vērtība ir starp 0 un 1, jo rezultāts tuvāk 1, jo alternatīva ir labāka).



4.1.1.1. att. *TOPSIS MCA* metodes gaita.

Autores veidots attēls. Avots: [161]

TOPSIS metodi izmanto daudzkritēriju analīzes normalizēšanai, lai iegūtu ideālajam pozitīvajam risinājumam vistuvāko risinājumu, kas atrodas vistālāk no negatīvā ideālā risinājuma. Šai metodei ir nepieciešama informācija par kritēriju relatīvo nozīmi, ko var iegūt, izmantojot subjektīvās svēršanas metodes, piemēram, analītiskās hierarhijas metodi, vai objektīvās svēršanas metodes, piemēram, entropijas svēršanas metodi. *TOPSIS* metodi izmantot ne tikai, lai normalizētu svērtos kritērijus, bet arī piešķirtu tiem ilgtspējības kritēriju, pēc kura tiek sarindoti procesi. Šī metode ir vienkārši lietojama. Turklāt procesa soļu skaits ir nemainīgs neatkarīgi no kritēriju skaita. *TOPSIS* metodē izmanto Eiklīda attālumu, kas neņem vērā korelāciju starp kritērijiem. Arī kritērijiem ir grūti piešķirt nozīmi bez subjektivitātes. *TOPSIS* sastāv no turpmāk uzskaitītajiem soļiem.

1. Novērtēšanas matricas uzbūve.

Šis solis balstās uz pieejamajiem datiem un informāciju par kritērijiem. Matrica sastāv no m alternatīvām un n kritērijiem. Katra daudzkritēriju analīzes matricas rinda ir viena alternatīva. Matricā katra vienība x_{ij} apzīmē indikatora j reālo vērtību, kas pieder pie alternatīvas procesa i .

2. Kritēriju normalizēšanai lieto sadalošās normalizācijas metodi (3. formula), izmantojot vienādojumu:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}}, \quad (3.)$$

kur:

R_{ij} – normalizēta vērtība;

x_{ij} – indikatora vērtība.

3. Svērtās normalizētās matricas vērtības V_{ij} iegūst, reizinot katru matricas R_{ij} vērtību ar tai piešķirto svaru w_j (4. formula).

$$V_{ij}=w_j \cdot R_{ij} \quad (4.)$$

4. Svērtās vērtības izmanto, lai noteiktu pozitīvo ideālo (maksimālo) un negatīvo ideālo (minimālo) vērtību. Katru svērtu vērtību salīdzina ar attiecīgā kritērija maksimālo un minimālo vērtību. Katras alternatīvas kritēriju atšķirību no maksimālās un minimālās vērtības kvadrātu summas izmanto attāluma noteikšanai līdz ideālajam risinājumam.

5. Pozitīvo ideālo un negatīvo ideālo risinājumu iegūst, izmantojot 5. un 6. vienādojumu:

$$V^+ = \left((V_{ij}^{max}/j), (V_{ij}^{max}/j') \right) / (i = 1, 2, \dots, n), = (V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_m^+) \quad (5.)$$

$$V^- = \left((V_{ij}^{min}/j), (V_{ij}^{min}/j') \right) / (i = 1, 2, \dots, n), = (V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_m^-), \quad (6.)$$

kur:

V^+ – pozitīvs ideāls risinājums;

V^- – negatīvs ideāls risinājums;

$j=(j=1,2,\dots,m)$ ir saistīta ar rādītājiem, kuriem vēlamas augstākas vērtības;

$j'=(j=1,2,\dots,m)$ ir saistīta ar rādītājiem, kuriem ir vēlamas zemākas vērtības.

6. Katras alternatīvas attālumu no pozitīvā ideālā risinājuma un no negatīvā ideālā risinājuma nosaka, izmantojot 7. un 8. vienādojumu:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (8.)$$

kur:

S_i^+ – attālums līdz pozitīvajam ideālajam risinājumam;

S_i^- – attālums līdz negatīvajam ideālajam risinājumam.

7. Katra alternatīvā procesa relatīvā tuvumu ideālajam risinājumam atrod ar 9. vienādojumu:

$$P_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)}, \quad (9.)$$

kur:

P_i – ideāls risinājums.

Šī koeficienta vērtība ir starp 0 un 1. Jo rezultāts tuvāks 1, jo alternatīva ir labāka.

8. Iegūto vērtību sarindošana pēc to relatīvā tuvuma ideālajam risinājumam.

TOPSIS metodes ietvaros tika izmantoti dati un informācija no zinātniskās literatūras, citiem informācijas avotiem (pārskati, statistika) un personīgie pētījumu rezultāti. Tādā veidā tika minimizēta datu subjektivitāte, jo tie balstās uz literatūras datiem un pētījumos iegūtajiem kvantitatīvajiem lielumiem.

4.1.2. Jūtīguma analīze

Lai pārbaudītu indikatoru svaru sadalījuma ietekmi uz iegūtajiem *TOPSIS* analīzes rezultātiem, veicama jutīguma analīze. Jūtīguma analīzes sākumā tiek izvēlēti vienādi indikatoru svāri, sākotnējie svāri aprēķināti, kā parādīts 10. vienādojumā.

$$w' = 1/n, \quad (10.)$$

kur

w' – indikatora jeb kritērija sākotnējais svārs.

Jūtīguma analīzes veikšanai ir jādefinē vienotās variācijas attiecība, kas izmaina izvēlēto kritērija svaru, atbilstoši 11. vienādojumam.

$$wk1' = \beta k * w', \quad (11.)$$

kur

$wk1'$ – izvēlēto indikatora svārs, kas pakļauts izmaiņām;

βk – svāra izmaiņu vienotās variācijas attiecība.

Vienotās variācijas vērtības, veicot jutīguma analīzi, tiek izvēlētas patvaļīgi, taču ir jāizmanto vērtības, kas ir gan lielākas, gan mazākas par 1. Analīze tiek veikta katram *TOPSIS* analīzē izmantotajam indikatoram, mainot tā vērtības atbilstoši 10. vienādojumam. Pārējo indikatoru svāri katrā iterācijā tiek noteikti atbilstoši 12. vienādojumam.

$$wk2' = wk3' = wkn' = (1 - wk1')^{n-1}, \quad (12.)$$

kur

$wk2'$ un $wk3'$ – citu indikatoru svāri.

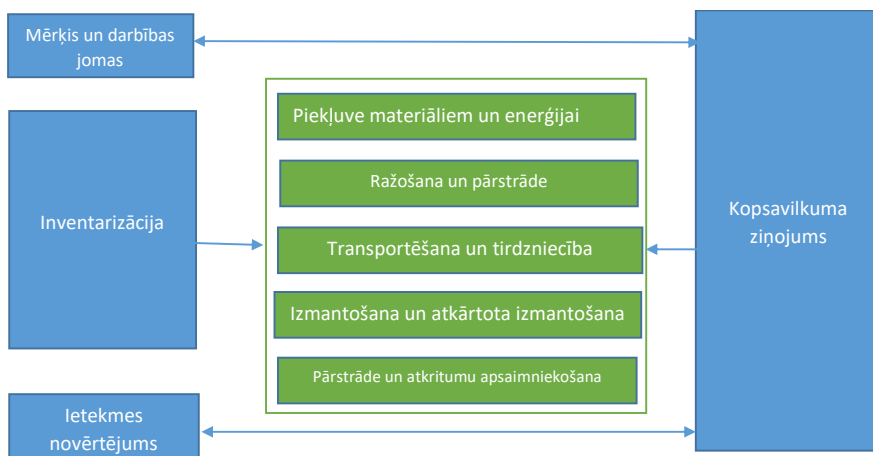
Indikatoru svāri tiek mainīti atbilstoši iepriekš aprakstītajiem vienādojumiem un tad izmantoti atkārtotai *TOPSIS* analīzei, apkopojot iegūtās relatīvā tuvuma ideālajam

risinājumam vērtības. Šāda analīze tiek veikta visiem *TOPSIS* metodē izmantotajiem indikatoriem, lai novērtētu to ietekmi uz alternatīvu rezultāta un sakārtojuma izmaiņām. Jutīguma analīze dod iespēju simulēt dažādus kritēriju svarīguma scenārijus, izvērtējot alternatīvu stabilitāti mainīgos apstākļos.[162]

4.1.3. Dzīves cikla analīze

Dzīves cikla analīze *LCA* (*Life Cycle Assessment*) ir produkta sistēmas ietekmes uz vidi kvantitatīvs novērtējums visā tā dzīves laikā – izejvielu ieguve, ražošana, apstrāde, lietošana, atkritumu apglabāšana un atkārtota izmantošana.[163]

LCA principi ir atrunāti *ISO 14040:2006* standartā.[164] *LCA* ir četri galvenie posmi: mērķis un darbības jomas, inventarizācija, ietekmes novērtējums un kopsavilkums (4.1.3.1. att.).



4.1.3.1. att. *LCA* tehniskais ietvars.[163]

Kopumā konkrētajā ražošanas posmā vai pilnā dzīves ciklā patērētās vielas j kopējo daudzumu aprēķina pēc 13. formulas:

$$M_j = \sum_{i=1}^r m_i^j, \quad (13.)$$

kur

m_i^j – vielas j daudzums, ko patērē iekārta i , kg, $i = 1, 2, 3 \dots$;

M_j – ir kopējais vielas j daudzums, kas patērēts noteiktā ražošanas posmā vai visā dzīves ciklā, kg, $j = 1, 2, 3 \dots$

Tad kopējā piesārņotāja k izplūdi šajā procesā aprēķina pēc 14. formulas:

$$Q_k = \sum_{j=1}^n M_j ef_j^k, \quad (14.)$$

kur

ef_j^k – piesārņojošās vielas k emisijas koeficients, ko izraisa vielas j patērēšana, kg/kg, $k = 1, 2, 3 \dots$

Turklāt šī procesa enerģijas patēriņu aprēķina pēc 15. formulas:

$$E = \sum_{j=1}^n M_j e_j. \quad (15.)$$

Ietekmes novērtējums ir kvantitatīvs ietekmes uz vidi novērtējums, kas balstīts uz resursiem, enerģijas patēriņa datiem un emisiju datiem, ko nodrošina inventarizācijas analīze. Ietekme uz vidi galvenokārt ietver resursu patēriņu, cilvēku veselību un ekosistēmu veselību. Ietekme uz vidi tāpat var ietvert minerālu izsīkšanu, degvielas izsīkšanu, globālās sasilšanas potenciālu, paskābināšanos, fotoķīmiskā ozona veidošanās potenciālu, eutrofikāciju, putekļus un cietos atkritumus, kā arī citas apakšskategorijas.

Kopumā piesārņotāja k iespējamo ietekmi uz vidi ietekmes tipā t , EP^t , var aprēķināt pēc 16. vienādojuma:

$$EP^t = \sum_{k=1}^l Q_k ep_k^t, \quad (16.)$$

kur

ep_k^t – piesārņojošās vielas k veicinošais faktors ietekmes uz vidi veidam t , kg/kg, $t = 1, 2, 3 \dots$

Rezultātu interpretācija sastāv no trim daļām: galveno problēmu noteikšanas, novērtējuma un rezultātiem un ieteikumiem. Nozīmīgu vides problēmu identificēšana ietver inventarizācijas analīzes informācijas strukturēšanu no dzīves cikla inventarizācijas analīzes un ietekmes novērtēšanas fāzes, lai noteiktu nozīmīgus vides jautājumus. Vērtēšana ir *LCA* rezultātu ticamības noteikšana. Secinājumi un ieteikumi ir vērsti uz rekomendācijām, kas balstītas uz *LCA* konstatējumiem.

4.2. Metožu lietošanas piemēri

4.2.1. Niedru izmantošanas analīze

Biogēno elementu, īpaši slāpekļa, nonākšana dabas ūdeņos veicina niedru audžu veidošanos. Gadā to platības Latvijas ezeros var palielināties līdz pat 1,32 % un niedru platībām ir tendence paplašināties.[165] Niedres intensīvāk attīstās seklos ūdeņos, to augšanu veicina arī mazūdens periodi. Tās spēj augt arī ar smagajiem metāliem piesārņotā vidē. [166], [167]

Audzējot kultūraugus, netieši tiek veicināta arī niedru audžu paplašināšanās, jo slāpekļa savienojumi labi šķīst ūdenī, līdz ar to viegli migrē no litosfēras hidrosfērā. Niedru biomasa līdz šim netiek pilnvērtīgi izmantota. Līdz ar to, vērtējot kaņepju ilgtspējīgu izmantošanu, paralēli ir lietderīgi veikt arī niedru izmantošanas novērtējumu.

Niedru biomasa ir plaši izplatīts resurss, kas pieejams lielos daudzumos visā pasaulē, arī Latvijā [168], [169] Tas strauji aug, nav jākultivē un jānovāc, un to ir iespējams izmantot, nekonkurējot ar citām nozarēm. Niedres ir sastopamas mitrājos, stāvošos ūdeņos, piekrastes zonās un pat kā peldošas salas ūdenī. Neskatoties uz to visu, niedres joprojām netiek plaši izmantotas un daudzas iespējamās izmantošanas alternatīvas nav izpētītas.

Niedres tiek uzskatītas par invazīvu sugu – pēdējo 150 gadu laikā niedres ir augušas eksponenciāli un veidojušas monokultūras audzes, jo tā ir monodominējoša suga. [160] Eiropā klimata pārmaiņu rezultātā pašlaik veidojas liels skaits jaunu ūdenstilpju, kas ļauj atkal augt niedru audzēm, un mūsdienu lauksaimniecība pastiprina ūdenstilpju eitrofikāciju.

2014. gadā veiktais resursu novērtējuma pētījums Latvijā liecina, ka 116 no 129 analizētajām dabiskajām un mākslīgajām ūdenstilpēm varētu būt potenciālas niedru ieguves vietas 5000 ha platībā (4.2.1.1. tab.). Diemžēl lielākā daļa no tām ir aizsargājamas dabas teritorijas, tāpēc saimnieciskajai darbībai ir nepieciešama Dabas aizsardzības pārvaldes atļauja. Dabas aizsardzības pārvalde no 2021. līdz 2023. gadam īsteno Rāznas ezera attīrīšanu no niedru audzēm.[170] Niedru regulāra novākšana samazina N_2O , CH_4 un CO_2 emisijas.[171] Pēdējos gados klimata pārmaiņas un siltās ziemas ir radījušas problēmas niedru novākšanai Latvijā, jo veiksmīgai niedru biomasas novākšanai ir jāievēro konkrēti nosacījumi:

- ūdens virsmai jābūt pārklātai ar ledus slāni;
- augsnei jābūt sasalušai;

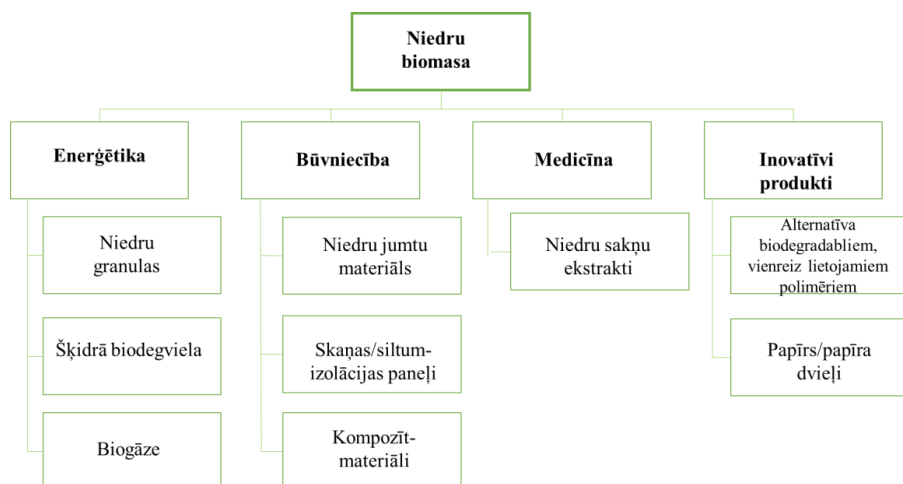
- mērens sniega daudzums, kas netraucē niedru audžu pārvietošanos līdz ar ledu;
- pieļaujams tikai neliels vējš, kas nesaspiež niedru audzes.[165], [172]

4.2.1.1. tabula

Pieejamās niedru novākšanas [167]

Nr. p. k.	Potenciālās novākšanas vietas	Pieejamā niedru audzes platība, ha gadā	Pieejamās sausās niedru biomasas daudzums, t gadā
1.	Engures ezers	1600	6800
2.	Papes ezers	1040	5800
3.	Lubānas ezers	570	3800
4.	Liepājas un Tosmares ezers	620	3200
5.	Rušonas ezers	365	2000
6.	Burtnieku ezers	220	1300
7.	Babītes ezers	250	1200
8.	Kaņiera ezers	215	1100
9.	Rāznas ezers	145	900
10.	Ludzas ezers	100	550
11.	Ķīšezers	85	460
12.	Lobes ezers	75	440
13.	Lielaucis ezers	55	200
	Kopā	5340	27750

Lai rastu ilgtspējīgus risinājumus niedru augšanas un novākšanas problēmu risināšanai, ir jāierobežo niedru izplatība. Vasarā novācot zaļo niedru biomasu, iespējams novērst aizaugšanu un saglabāt dabisko bioloģisko daudzveidību mitrājos un ezeros. 4.2.1.1. attēlā var redzēt niedru produktu alternatīvas, kas izmantotas arī turpmākajā analīzē. Analīzei izvēlētas deviņas alternatīvas: trīs enerģētikas sektorā, trīs būvniecības nozarē, viena tautas medicīnā un divi inovatīvi produkti. Izvēlētas gan tādas alternatīvas, kas labi zināmas jau ilgu laiku, piemēram, niedru jumta segumi, gan tādas, kas aprakstītas literatūrā tikai pēdējo gadu laikā.



4.2.1.1. att. Niedru biomasas produktu alternatīvas.

Autores veidots attēls.

Lai noteiktu ilgtspējīgāko alternatīvu niedru biomasas izmantošanai, tika izmantota *TOPSIS MCDM*. Sarežģītam problēmu novērtēšanas procesam ir nepieciešama visaptveroša pieejamo risinājumu analīze. Resursu pārvaldība ir sarežģīta sistēma, tāpēc jāņem vērā visi iespējamie faktori: ietekme uz tautsaimniecību, tehniskā specifika un tehnoloģiju gatavība, ietekme uz sabiedrību, kā arī ietekme uz vidi. Niedru biomasas izmantošanas alternatīvu novērtēšanai tika izvēlēti 11 kritēriji četrās grupās: ekonomiskie, tehnoloģiskie, vides un sociālie kritēriji (4.2.1.2. tab.).

4.2.1.2. tabula

Daudzkritēriju analīzē iekļautie kritēriji

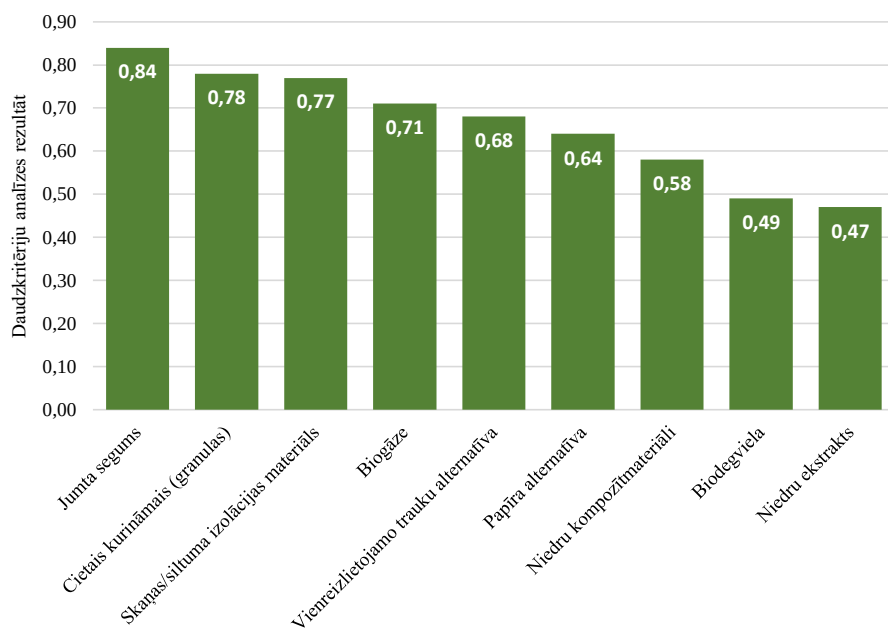
Ekonomiskie rādītāji	Tehnoloģiskie rādītāji	Vides rādītāji	Sociālie rādītāji
Produkta izmaksas	Enerģijas patēriņš ražošanas procesā	Iztīrītas niedru audzes platība gadā	Darba vietas, kas izveidotas, uzsākot ražošanas procesu
Ražošanas izmaksas no biomasas novākšanas līdz gatavam produktam	Tehnoloģiskā gatavība un pieejamība ražošanai	Vides piesārņojums ražošanas procesā	
Investīcijas <i>start-up</i> uzsākšanai		Ieguvumi videi no biomasas izmantošanas	
Gatavā produkta pieejamība tirgū		Ietekme uz klimata pārmaiņām un SEG emisijām	

Autores veidota tabula.

Alternatīvu salīdzināšanai tika apkopoti dati no zinātniskās literatūras un citiem informācijas avotiem (pārskati, nozares un ražotāju dati, statistika). Dažos gadījumos, pamatojoties uz līdzīgiem gadījumiem, tika veikti aprēķini un pieņēmumi, lai pilnībā aprakstītu alternatīvu. Datu pārpilnības gadījumā izmantots vides inženierzinātņu ekspertu vērtējums, tika nodrošināti objektīvi rezultāti, sniedzot ievērojamu ekspertu spriedumu skaitu. Primārajā lēmumu matricā katrs rādītājs tika svērts vienādi (0,091), lai izvairītos no kļūdām novērtēšanā.

Pēc tam tika veikta jutīguma analīze, lai analizētu katras alternatīvas elastību. Jutīguma analīze ir rīks, kas ļauj redzēt izmaiņas *TOPSIS* rezultātos attiecībā pret katra rādītāja svaru. Katram indikatoram tika veikta jutīguma analīze, mainot svara vērtības no 0,1 līdz 0,9.

Izmantojot *TOPSIS MCA* metodi, tika analizēti deviņi alternatīvie niedru biomasas produkti (4.2.1.2. att.). Kā labākās niedru biomasas izmantošanas alternatīvas tika noteiktas jumta segumu izgatavošana, niedru granulu ražošana no sausas niedru biomasas, skaņas/siltumizolācijas paneļu ražošana, biogāzes iegūšana no zaļās niedru biomasas un bioloģiski noārdāmas vienreiz lietojamo polimēru lietošanas alternatīvas.



4.2.1.2. att. *TOPSIS* daudzkritēriju analīzes rezultāti.

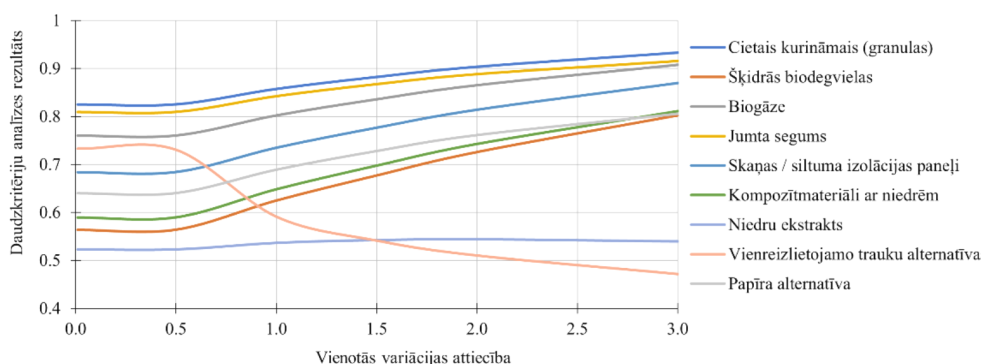
Autores veidots attēls.

Vislabāko rezultātu *TOPSIS* analīzē uzrāda niedru jumta segums. Tas skaidrojams ar jumta segumu ražošanas pieredzi un praksi, tehnoloģijas ir pieejamas un to ieviešanai nav nepieciešami lieli ieguldījumi. Vēsturiski niedru biomasa bija vienīgais pieejamais materiāls jumtu veidošanai, līdz sāka izmantot māla dakstiņus, metālu, ruberoīdu, šiferi un citus materiālus. Šobrīd niedru jumti zaudējuši savu popularitāti, un tos vairāk izvēlas ekoloģiskā dzīvesveida piekritēji vai atpūtas vietu īpašnieki klientu piesaistīšanai. Neskatoties uz popularitātes samazināšanos, niedru jumti ir alternatīva, kas visvienkāršāk ieviešama niedru apsaimniekošanā, ja vien būtu iespējams nodrošināt tirgus pieejamību un pieprasījumu pēc ekoloģiskiem jumtu segumiem.

Ar relatīvo tuvumu ideālajam variantam (0,78) kā otrā labākā alternatīva aprēķinos iegūta cietā niedru granulu (kurināmā) ražošana. Niedru granulu ražošana ir plaši pētīta, un tehnoloģiskais process ir labi zināms, ņemot vērā, ka granulas kā cietais kurināmais pazīstams jau ilgu laiku. Līdzīgu vērtību (0,77) *TOPSIS* analīzē uzrādīja arī niedru skaņas vai siltumizolācijas paneļu ražošana, kas ir daudz pētīta alternatīva, ko ražot no dažādiem dabas materiāliem – ne tikai niedrēm, bet arī kaņepēm, salmiem u. c. lignocelulozes biomasas avotiem. [173], [174]

Trīs labākās produktu alternatīvas tiek ražotas no sausās niedru biomasas, ceturtā labākā ir biogāzes ražošana no zaļās niedru biomasas. Lai arī zaļās niedru biomasas pieejamība ir ierobežota, jo jāievāc vasaras periodā, biogāzes ražošana gūst arvien lielāku popularitāti, lai izskaustu dabasgāzi no globālā enerģētikas portfeļa. Arī tehnoloģijas ir labi zināmas un tikai turpina attīstīties. Piekto labāko rezultātu uzrāda vienreizlietojamo trauku alternatīvas. Šīs alternatīvas augstais novērtējums skaidrojams ar labvēlīgo ietekmi uz vidi un sociālo faktoru vērtībām, taču jāņem vērā, ka pieejamais tirgus vai tehnoloģiskie faktori ir vienreizlietojamo trauku alternatīvu ražošanas vājie punkti. Daudzsološas alternatīvas ir izmantošana enerģētikas nozarē. Biomasas resursi ir labi zināmi siltumenerģijas ražošanā – šķelda un citi kopējo ražošanas ķēžu blakusprodukti bez pievienotās vērtības jau ilgu laiku ir izmantoti kā enerģijas avots. Tehnoloģijas biomasas izmantošanai enerģētikā ir labi zināmi mūsdienīgi procesi, kas prasa tikai nelielas korekcijas, lai citus biomasas avotus aizstātu ar niedru biomasu. Līdz ar to kā labākās alternatīvas niedru biomasas izmantošanai pēc *TOPSIS* analīzes veikšanas ir būvniecības un enerģētikas risinājumi un inovatīvu vienreizlietojamo produktu aizstājēju ražošana.

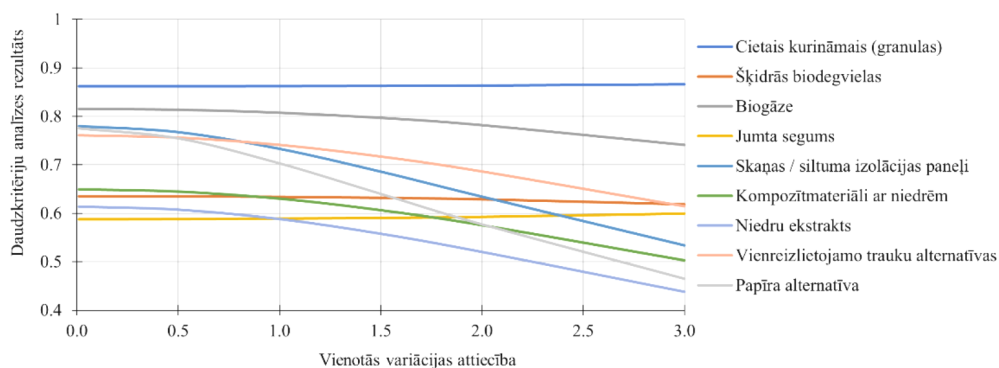
Lai pārbaudītu rezultātus un izvērtētu alternatīvu stabilitāti mainīgos apstākļos, veikta jutīguma analīze visām alternatīvām. Jutīguma analīze veikta ar vienotās variācijas attiecības vērtībām $\beta k=0,1; 0,5; 1; 1,5; 2; 3$. Jutīguma analīze veikta visiem *TOPSIS* analīzē izmantotajiem kritērijiem, taču atspoguļoti tikai tie jutīguma analīzes grafiki, kuru rezultāti uzrādījuši izmaiņas. Ja jutīguma analīzes vērtības ir nemainīgas vai visu alternatīvu līknes apraksta līdzīgas izmaiņas, alternatīvas tiek uzskatītas par stabilām pie šī kritērija izmaiņām un šādi rezultāti tiek aprakstīti apkopotā veidā. Jutīguma analīzes rezultāti apkopoti 4.2.1.3.–4.2.1.8. att.



4.2.1.3. att. Kritērija “Produkta izmaksas” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

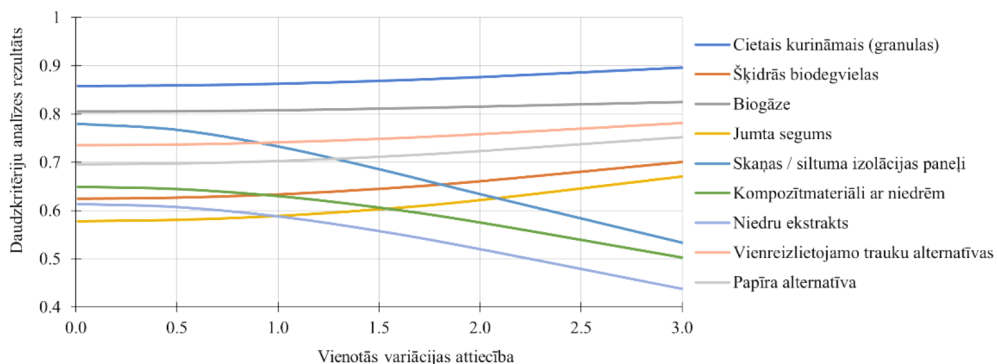
4.2.1.3. attēlā redzams, ka produkta izmaksu svara izmaiņa būtiski ietekmē vienreizlietojamo trauku alternatīvas kā niedru biomasas izmantošanas alternatīvas sniegumu *TOPSIS* analīzē. Pārējās alternatīvas indikatora īpatsvara palielināšanās ietekmē labvēlīgi. Tas skaidrojams ar vienreizlietojamo trauku augstajām izmaksām, kas veidojas ne tikai no resursu apstrādes un materiālu izmaksām, bet arī augstā enerģijas patēriņa ražošanā, kas saistīts ar sildīšanas un dzesēšanas procesiem. Niedru ekstrakts pēc jutīguma analīzes rezultātiem uzskatāms par stabilu alternatīvu, jo *TOPSIS* analīzes vērtības izmaiņas ir nelielas. Tomēr *TOPSIS* vērtība, palielinot cenas ietekmi uz rezultātiem, palielinās par mazāk nekā 0,1, kas norāda uz to, ka produkta izmaksas tomēr ir augstas.



4.2.1.4. att. Kritērija “Gatavā produkta pieejamība tirgū” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Tirgus pieejamības īpatsvara izmaiņas negatīvi ietekmē gandrīz visu alternatīvu TOPSIS vērtības. Veicot analīzi šim kritērijam, par stabilām alternatīvām atzītas tikai cietā kurināmā ražošana, šķidro biodegvielu ražošana un jumta seguma ražošana, kas skaidrojams ar pieaugošo interesi par atjaunojamo energoresursu izmantošanu enerģētikā un videi un cilvēkam draudzīgu materiālu izmantošanu būvniecībā.

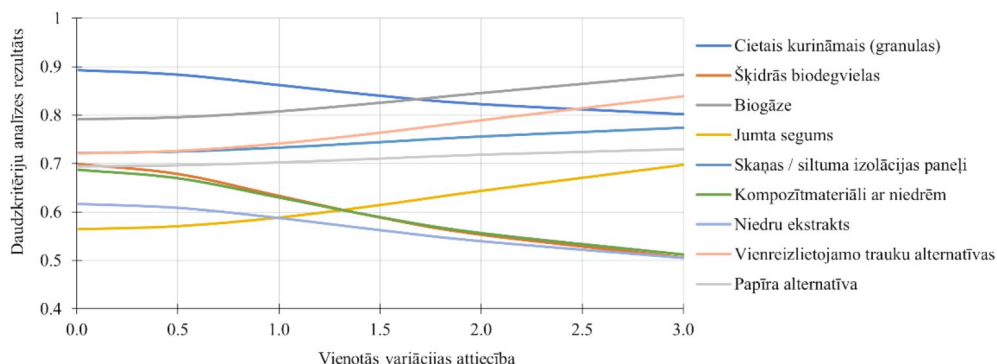


4.2.1.5. att. Kritērija “Investīcijas *sart-up* uzsākšanai” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Analizējot nepieciešamo investīciju ražošanas uzsākšanai ietekmi uz niedru biomasas izmantošanas alternatīvu TOPSIS analīzes rezultātiem, iespējams novērot skaņas un

siltumizolācijas paneļu, niedru ekstrakta un niedru kompozītmateriālu uzrādīto rezultātu pasliktināšanos. Iemesls tam varētu būt alternatīvu ierobežotā ražošana šobrīd, jo šo produktu ražošanas tehnoloģiskie procesi vēl nav pilnībā izstrādāti, kā arī ražošanas uzsākšanai nepieciešama jauna infrastruktūra.

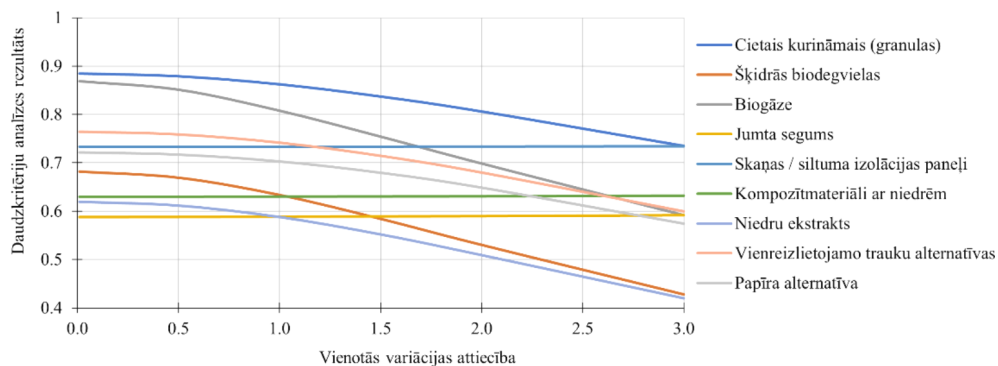


4.2.1.5. att. Kritērija “Enerģijas patēriņš ražošanas procesā” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Ražošanas procesiem ir dažādas energoietilpības, dažus no alternatīviem produktiem iespējams ražot, patērējot ļoti mazu enerģijas apjomu, piemēram, niedru jumtu ražošanas procesā ir minimāls enerģijas patēriņš, kas rodas izejvielu ieguves procesā, līdz ar to, palielinot šī indikatora īpatsvaru, alternatīvas uzrādītais *TOPSIS* rezultāts būtiski uzlabojas.

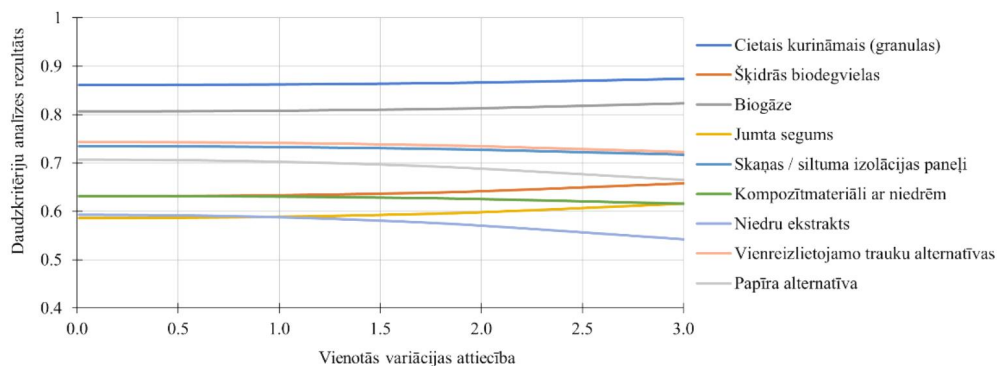
Nelabvēlīga ietekme uz *TOPSIS* rezultātu indikatora īpatsvara izmaiņām ir energoietilpīgākajiem risinājumiem – cietā kurināmā ražošanai (patēriņu rada žāvēšanas, smalcināšanas un granulu veidošanas iekārtas), šķidro biodegvielu ražošanai (patēriņu rada reaktoru apsilde un fermentācijas procesa enerģijas patēriņš), kompozītmateriālu ražošanai (līdzīgi kā cietā kurināmā ražošanai, patēriņu rada žāvēšana un smalcināšanai), kā arī niedru ekstrakta ražošanai (patēriņu rada ekstrakcija, kā arī biomasas apstrāde pirms ekstrakcijas). Par stabilāko alternatīvu uzskatāma biogāzes ražošana, kuras rezultāti palielinās, taču nav vērojamas krāsas rezultātu izmaiņas.



4.2.1.6. att. Kritērija “Ražošanas produktivitāte” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

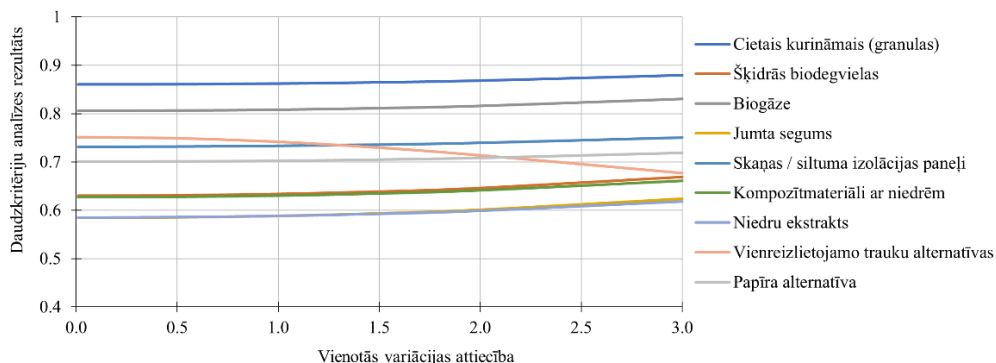
Ražošanas produktivitātes īpatsvara ietekme uz *TOPSIS* analīzes rezultātiem raksturo arī procesā radušos zudumus. Redzams, ka gandrīz visas alternatīvas ietekmētas nelabvēlīgi, kas skaidrojams ar zudumu rašanos un atlikumu veidošanos ražošanas procesā. Stabīlus rezultātus uzrāda jumta seguma, skaņas vai siltumizolācijas paneļu vai kompozītmateriālu ražošana. Jumtu ražošanas procesā veidojas minimāli atlikumi, kas vēlāk izmantotāji tā paša jumta veidošanai, kompozītmateriālu un paneļu ražošanā iespējams izmantot niedru biomasas atgriezumus vai ievāktu biomasu, neradot resursa pārpalikumus ražošanas procesā.



4.2.1.6. att. Kritērija “Tehnoloģiju gatavības līmenis” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

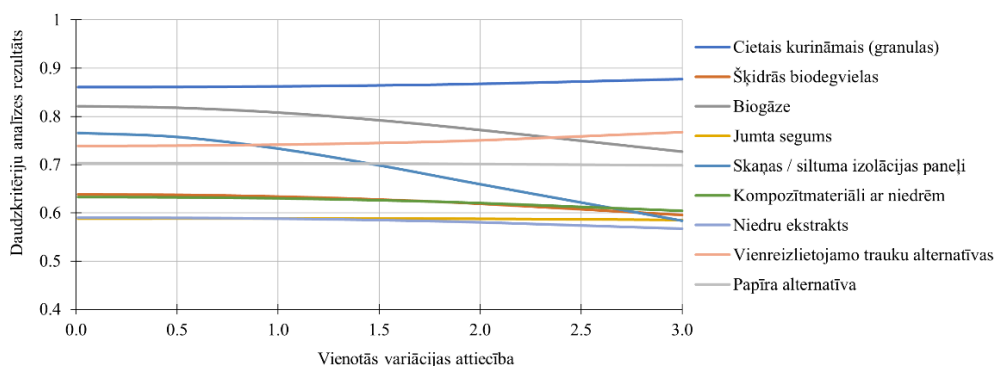
Attiecībā uz tehnoloģiju gatavības līmeni, lai arī alternatīvu TOPSIS salīdzinājumā rezultātu izmaiņas ir mazākas nekā iepriekš apskatīto indikatoru izmaiņu gadījumā, novērojams, ka jaunākās un mazāk pazīstamās alternatīvas šī īpatsvaru izmaiņa ietekmē nelabvēlīgi. Redzams, ka labvēlīga ietekme šī indikatora izmaiņām ir tikai enerģētikas risinājumu un niedru jumta seguma novērtējumā, kas, kā jau minēts iepriekš, ir visvairāk pētītās un uzlabotās tehnoloģijas pēdējo gadu laikā.



4.2.1.7. att. Kritērija “Attīrītās niedru audžu platības” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Attīrītās niedru audžu teritorijas ir būtisks indikators, jo nosaka ne tikai spēju apsaimniekot reģionā atrodamās niedru audzes, bet arī uzturēt bioloģisko daudzveidību. Redzams, ka vienīgā alternatīva, ko šī indikatora īpatsvara izmaiņas ietekmē nelabvēlīgi ir vienreizlietojamo trauku alternatīvu ražošana. Vienreizlietojamo trauku alternatīvas, lai arī aktuāls un inovatīvs produkts, ir maz pieprasītas, kas nozīmē, ka ražošanas laikā nav iespējams apsaimniekot pietiekami lielas niedru audžu teritorijas, lai šo alternatīvu varētu uzskatīt par ilgtspējīgu un stabilu izvēli niedru biomasas apsaimniekošanai.



4.2.1.8. att. Kritērija “Pieejamība dažādām sociālajām grupām” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Lielākās izmaiņas risinājumu uzrādītajos *TOPSIS* rezultātos, mainot pieejamības sociālajām grupām īpatsvaru analīzē, novērojamas biogāzes un skaņas vai siltumizolācijas paneļu ražošanai. Šīs alternatīvas ir dārgas un nav aktuālas visām sabiedrības grupām, kas izskaidro šo izmaiņu.

Labvēlīgu ietekmi uz analīzes rezultātiem var novērot vienreizlietojamo trauku un niedru granulu ražošanai, kas skaidrojams ar to, ka šīs alternatīvas izmaksā mazāk un ir aktuālas vairākām sabiedrības grupām, jo var kalpot kā šī brīža kurināmā vai plastmasas trauku aizstājējas.

Kā nākamais jutīguma analīzes indikators ir vides piesārņojums. Līdzīgu ietekmi uz visu alternatīvu *TOPSIS* analīzes rezultātiem atstājusi radītā vides piesārņojuma īpatsvara izmaiņa veiktajos aprēķinos. Visu alternatīvu ražošanas procesā rodas kāda veida vides piesārņojums, taču tiek būtiski samazināts piesārņojums, kas rastos no produkta, kuru šīs alternatīvas aizstāj. Ja ražojot tiek pieņemti aprites ekonomikas pamatprincipi, ražošanas procesā radītais piesārņojums samazinās vēl vairāk. Līdzīgi rezultāti ir arī vides ieguvumu izmaiņu ietekmei uz alternatīvu salīdzinājumu. Vienīgā alternatīva, kuru šī izmaiņa ietekmē negatīvi, ir cietā kurināmā ražošana. Rezultātus iespējams skaidrot ar to, ka cietā kurināmā sadegšanas procesā rodas vairāk SEG un cieto daļiņu emisiju nekā citu apskatīto enerģētikas alternatīvu gadījumā.

Vislielāko ietekmi uz *TOPSIS* analīzes rezultātiem un rezultātu atšķirību dažādiem risinājumiem var novērot, mainot tehnoloģisko un ekonomisko faktoru indikatoru īpatsvaru aprēķinos. Vides un sociālie faktori ietekmē alternatīvu uzrādītos rezultātus mazākā mērā un veido līdzīgas tendences līknes.

Biogāzes ražošanai ir potenciāls aizstāt dabasgāzes izmantošanu mājāsaimniecībās un apkurē. Lokāli novāktā niedru biomasas ir ideāls risinājums ilgtspējīgai un neatkarīgai atjaunojamo energoresursu izmantošanai.

Bioloģiski noārdāmo vienreiz lietojamo polimēru alternatīvu var uzskatīt arī par iespējamu risinājumu niedru biomasas izmantošanai, lai arī tirgus pieejamība un niedru biomasas izmantošana nav ideāla, šim risinājumam ir pozitīva ietekme uz vidi un klimata pārmaiņām, virzoties uz ES klimata mērķi.[175]

Vislabākā alternatīva būvniecībā ir skaņas/siltumizolācijas paneļi, kas šobrīd tiek plaši pētīti. Augsto ražošanas izmaksu, salīdzinot jauno tehnoloģiju un tirgus pieejamības dēļ šis risinājums vēl nav ilgtspējīgs. Lai izveidotu veiksmīgu un efektīvu ražošanas procesu, ir nepieciešama tehnoloģiju attīstība un izpēte.

Jutīguma analīzes rezultāti parāda katra rādītāja ietekmi uz izvēlētajiem niedru produktiem, ļaujot izprast būtiskākos faktorus, kas maina *TOPSIS* analīzes rezultātus. Tirgus pieejamība negatīvi ietekmē visas alternatīvas, izņemot niedru granulā ražošanu, jo granulā ražošana ir izplatīta prakse, un to arvien vairāk izmanto, lai veicinātu biomasu kā atjaunojamo resursu izmantošanu. Granulas un koksnes briķetes ir izplatītas mājāsaimniecības apkures alternatīvas, un tās varētu aizstāt ar niedru biomasas granulām vai briķetēm. Biogāzes ražošana ir jutīga pret tehnoloģisko gatavību un pieejamību, jo ražošanas process netiek plaši izmantots un vēl ir jāuzlabo. Vienreizējās lietošanas polimēru alternatīva ir visjutīgākā pret iztīrīto niedru audzes platību gadā – šī alternatīva patērētu vismazāk niedru biomasas, bet par ideālu risinājumu uzskata to, kas izmanto visvairāk biomasas.

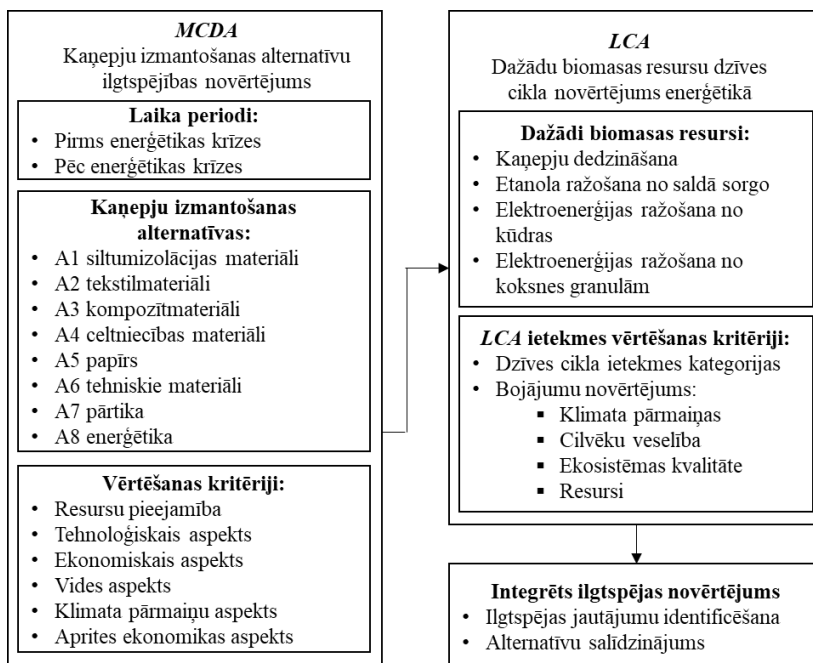
Dzīvotspējīgākās alternatīvas niedru izmantošanai ir enerģētikas nozare, jo relatīvais tuvums ideālajam variantam saglabājas stabils un nav jutīgs pret rādītāju svara izmaiņām. Lai paplašinātu niedru biomasas izmantošanu, jāattīsta niedru izmantošana būvniecības sektorā vai inovatīvu produktu jomā. Enerģētikas nozares vajadzībām var izmantot tikai līdz 3000 ha niedru biomasas gadā, atstājot iespēju būvniecības nozarei un inovatoriem, izstrādājot jaunus produktus. Citi pētījumi ir noteikuši, ka siltumizolācijas un skaņas izolācijas paneļi ir

visizdevīgākie produkti no niedru biomasas (daudzkritēriju analīzes rezultāts 0,826), kam seko niedru jumti (0,789). [160]

4.2.2. Kaņepju izmantošanas analīze

Pētījuma mērķis ir novērtēt kaņepju izmantošanas ilgtspējību enerģijas ražošanai, izmantojot integrētu datu analīžu metožu kopumu, tostarp daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metodi (*MCDA*) un dzīves cikla analīzi (*LCA*). *MCDA* piemērošana ļauj novērtēt dažādu kaņepju produktu ilgtspējību krīzes un bezkrīzes apstākļos, ņemot vērā sešus dažādus kritērijus. Nākamajā posmā *LCA* veikta četriem dažādiem biomasas enerģijas resursiem, tostarp enerģijas ražošanai no kaņepēm. Rezultāti tika apkopoti, lai novērtētu kaņepju kā bioresursa un kā biomasas izmantošanu enerģijas ražošanai un noteiktu, kura no šīm izmantošanas alternatīvām būtu ilgtspējīgākā, kā arī identificētu citus papildu ierobežojošus vai veicinošus aspektus plašākai kaņepju izmantošanai. Tika atlasīti literatūrā biežāk sastopamie sējas kaņepju izmantošanas veidi (2.1. att.)

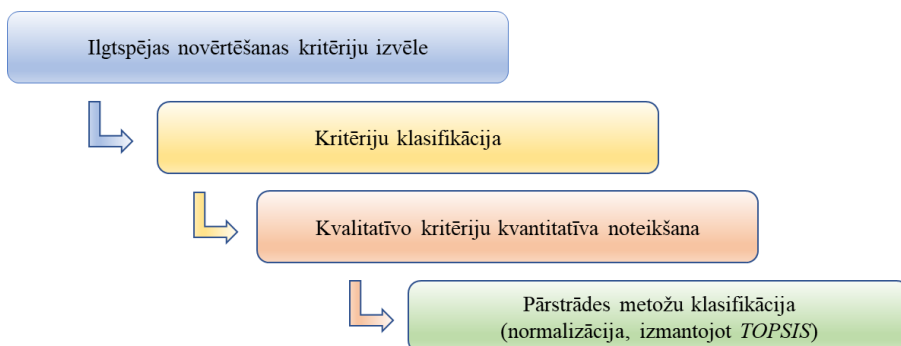
Lai sasniegtu šī pētījuma mērķi, tika izstrādāta metodoloģija *MCDA* un *LCA* metožu integrētai lietošanai. *MCDA* metode tika izvēlēta astoņu atlasīto kaņepju produktu novērtēšanai, ņemot vērā sešus izvirzītos kritērijus (4.2.2.2. att.), kas ļauj novērtēt ne tikai vides, bet arī ekonomiskos un tehnoloģiskos aspektus. Ar *MCDA* identificētie kaņepju produkti un kritēriju kopums dod iespēju izvērtēt, kurš būtu ilgtspējīgākais kaņepju kā izejvielas izmantošanas variants. Turklāt *LCA* ļauj novērtēt kaņepes kā enerģijas ražošanas biomasu salīdzinājumā ar trim citām enerģijas iegūšanas no biomasas iespējām. *MCDA* un *LCA* rezultāti par kaņepju potenciālajiem lietojumiem ļauj plašāk aplūkot to stratēģisko izmantošanu krīzes un bezkrīzes apstākļos, lai varētu pieņemt konkrētai situācijai atbilstošākus lēmumus par kaņepju izmantošanu.



4.2.2.2. att. Pētījumam izstrādātās metodoloģijas vizuāls attēlojums.

Autores veidots attēls.

MCDA veido secīgu darbību kopumu, kas nodrošina mērķa sasniegšanu saprotamā un pārskatāmā veidā. 4.2.2.3. attēlā parādīti soļi MCDA veikšanai, lai salīdzinātu kaņepes saturošos produktus savā starpā. [176]



4.2.2.3. att. MCDA veikšanas darbību secība.

Autores veidots attēls.

Ņemot vērā pētījumā analizētos literatūras avotus, netika atrasti piemēri, kuros potenciālie kaņepju produkti un to ražošanas metodes būtu analizētas un salīdzinātas savā starpā, izmantojot *MCDA* (4.2.2.2. att., 4.2.2.3. att.). Ir veikti pētījumi nozares ietvarā, piemēram, kaņepju izmantošana enerģētikā [177], būvniecībā [178], [179], kompozītmateriālu ražošanā [180], [181], [182].

MCDA novērtējumam tika atlasīti šādi alternatīvi kaņepju produkti, tādējādi nodrošinot plašu produktu klāstu:

- A1** siltumizolācija būvniecības nozarē;
- A2** tekstilmateriāli dažādās nozarēs;
- A3** kompozītmateriāli dažādās nozarēs;
- A4** būvmateriāli dažādās nozarēs;
- A5** papīrs rūpniecības sektorā;
- A6** tehniskie materiāli dažādās nozarēs;
- A7** pārtika lauksaimniecības nozarē;
- A8** enerģija enerģētikas nozarē.

Kritēriji atbilstoši 4.2.2.2. attēlam ir sadalīti sešās galvenajās ilgtspējas kritēriju grupās:

- resursu pieejamība;
- tehnoloģiskie aspekti;
- ekonomiskie aspekti;
- vides aspekti;
- klimata pārmaiņu aspekti;
- aprites ekonomikas aspekti.

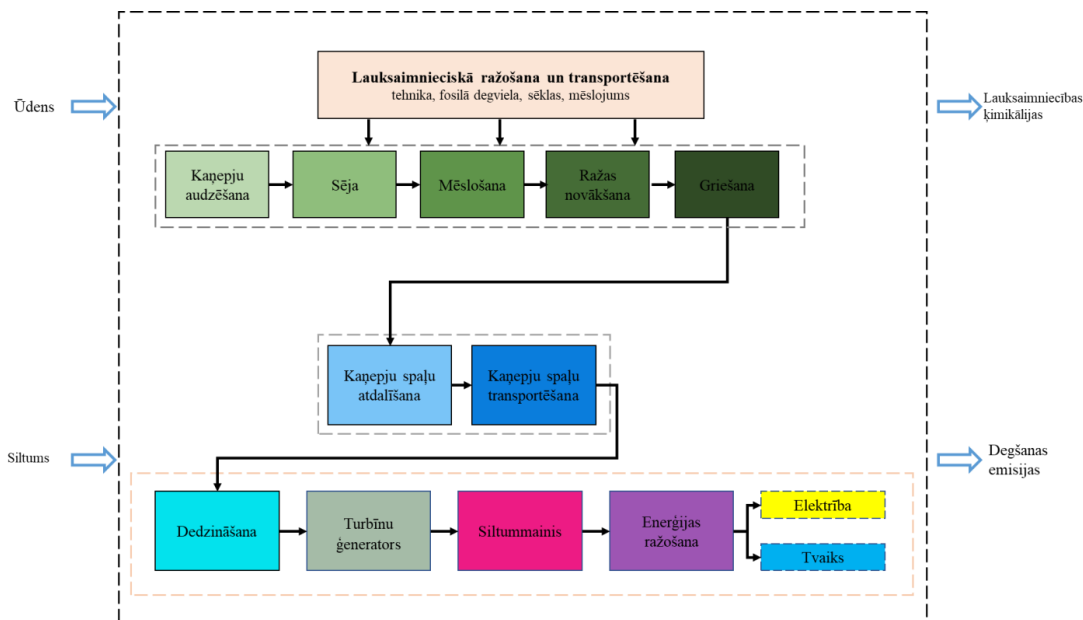
Lēmuma pieņemšanas analīzē ir izmantota *TOPSIS* metode.

LCA metodoloģiju izmanto, lai analizētu kaņepju sadedzināšanas rezultātā ražotās bioenerģijas ekoloģiskos raksturlielumus. Kaņepju sadegšanas process ir salīdzināts ar kūdras, kokskaidu granulu un saldā sorgo biomasas sadegšanas procesiem bioenerģijas un biodegviela ražošanā. *LCA* ir veikta, izmantojot *Sima Pro 9.3.0.3 IMPACT 2002+* ietekmes novērtējuma metodiku.

Šajā pētījumā kā funkcionālā vienība (FV) ir izvēlēta 100 kWh elektroenerģijas daudzuma saražošana, sadedzinot kaņepju biomasu. FV ir bioenerģijas ražošanas no

kaņepēm galvenā funkcija. Tāda pat FV – saražots 100 kWh elektroenerģijas – tiek izmantota kūdras, kokskaidu granulu biomasas un saldā sorgo biomasas salīdzināšanai.

4.2.2.4. attēlā parādīta sistēmas robeža bioenerģijas ražošanai, balstoties uz kaņepju dzīves ciklu, kas iekļauts sistēmas robežās. Sistēma sastāv no kaņepju audzēšanas, novākšanas, transportēšanas un kaņepju spaļu pārvēršanas bioenerģijā sadedzinot.



4.2.2.4. att. Sistēmas robeža bioenerģijas ražošanai no kaņepēm.

Autores veidots attēls.

Pirmais solis ir kaņepju biomasas audzēšana, kas ietver mēslojumu (amonija nitrātu NH_4NO_3 , trīskāršo superfosfātu $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ un kālija hlorīdu KCl), dīzeļdegvielu, kas nepieciešama lauksaimniecības tehnikai (ražas novākšanai, sēšanai, pļaušanai un mēslošanai), mēslošanas līdzekļu izkliedētā emisija un citas lauksaimniecības darbības.

Kaņepes var kultivēt dažādos augsnes apstākļos. Labākie augsnes apstākļi lielākai kaņepju ražai ir labi drenēti, ar zemu skābumu un daudz organisko vielu. pH līmenim jābūt intervālā no 5,8 līdz 7,5. Optimālais mitruma līmenis ražas uzlabošanai veģetatīvās augšanas

laikā ir 50–70 cm. Lai izveidotu augsnes virskārtu, augsne ir jāuzar un jāecē. Tas sagatavo augsni sējai un palīdz samazināt nezāļu izplatību uz lauka.[49]

Pēdējo divu gadsimtu dati liecina, ka rūpnieciskajām kaņepēm nepieciešamais mēslojums ir no 60 kg līdz 200 kg slāpekļa (N) uz ha, no 30 kg līdz 120 kg fosfora (P) uz ha un no 40 kg līdz 200 kg kālija (K) uz ha. [183]

Augsnes sagatavošana kaņepju audzēšanai ir līdzīga kā citu kultūru audzēšanai. Vispirms rudenī vai ziemā uzar augsni apmēram 30–40 cm dziļumā, bet pēc tam pavasarī tieši pirms sēšanas sagatavo sēklas gultni. Parasti P un K mēslojumu vai organisko vielu izmanto sēklas gultnes sagatavošanā, bet slāpekļa mēslojumu izmanto pirms sēšanas vai vienlaikus ar to. Rūpniecisko kaņepju sēšanas dziļums ir no 2 cm līdz 3 cm, un rindu attālums ir 9 cm līdz 17 cm. Šķiedru kaņepēm ieteicamais sējas daudzums ir 40 kg līdz 65 kg uz ha, bet graudu kaņepēm – 20 kg uz ha. [5]

Pēc kultivēšanas nākamais solis ir kaņepju novākšana, stiebru griešana un transportēšana, ieskaitot žāvēšanu. Transportēšana notiek ar vieglo kravas automašīnu. Tika pieņemts, ka vidējais transportēšanas attālums no audzēšanas vietas līdz sadedzināšanas iekārtai ir 50 km.

Trešais solis ir bioenerģijas apstrāde. Šis posms ietver tādus procesus kā biomasas sadedzināšana un radītā siltuma pārveide elektroenerģijā un tvaikā, ietverot radītās emisijas (oglekļa monoksīds CO, slāpekļa oksīdi NO_x, oglekļa dioksīds CO₂ un sēra dioksīds SO₂).

Dati par kaņepju sadedzināšanu ir parādīti 4.2.2.1. tabulā. [183] [184] Lai analizētu kaņepju sadedzināšanas ietekmi uz vidi, no *Ecoinvent* datubāzes tika atlasīti dati par transportēšanas veidu, elektroenerģijas avotu un tehniku.

4.2.2.1. tabula

Kaņepju sadedzināšanas inventarizācijas dati

Materiali	Daudzums
1. Lauksaimniecības posms	
Ievaddati no tehnosfēras	
Mēslošanas līdzekļi	
Amonija nitrāts (kg N)	0,77
Trīskāršais superfosfāts (kg P₂O₅)	0,59
Kālija hlorīds (kg K₂O)	1,13

4.2.2.1. tabulas turpinājums

Dīzeļdegviela (kg)	0,67
Lauksaimniecības tehnikas degviela (kg)	0,15
Enerģija (kWh)	3,24
Transportēšana (t. km)	0,81
Rezultāti tehnosfērā	
Slāpekļa (IV) oksīds (kg/ha)	0,028
Slāpekļa (II) oksīds (kg/ha)	0,03
Oglekļa (IV) oksīds (kg/ha)	0,013
Amonjaks (kg/ha)	0,023
2. Elektroenerģijas ražošana	
Ievaddati no tehnosfēras	
Kaņepju spalī (kg)	27
Siltums (kWh)	100
Transportēšana (t/km)	1,35
<i>Rezultāti tehnosfērā</i>	
Oglekļa (IV) oksīds (kg)	0,00025
Slāpekļa (IV) oksīds (kg)	0,42
Sēra (IV) oksīds (kg)	0,195
Oglekļa (II) oksīds (kg)	30,1

Autores veidota tabula.

Lai saražotu 100 kWh elektroenerģijas, nepieciešami 27 kg kaņepju. Nepieciešamais kaņepju daudzums aprēķināts, normalizējot katla zemāko sadegšanas vērtību un elektroefektivitāti, kas ir attiecīgi 15,72 MJ/kg un 75 %. [184]

MCDA tika veikta divām dažādām situācijām valstī:

- normāls, ikdienišķs scenārijs bezkrīzes apstākļos;
- enerģētikas un ekonomiskās krīzes apstākļos.

Lēmumu pieņemšanas analīzē izmantota daudzkritēriju analīzes metode *TOPSIS*. Iepriekš aprakstīto matemātisko vienādojumu praktiskā lietošana veido normalizētu datu matricu (4.2.2.2. tab.).

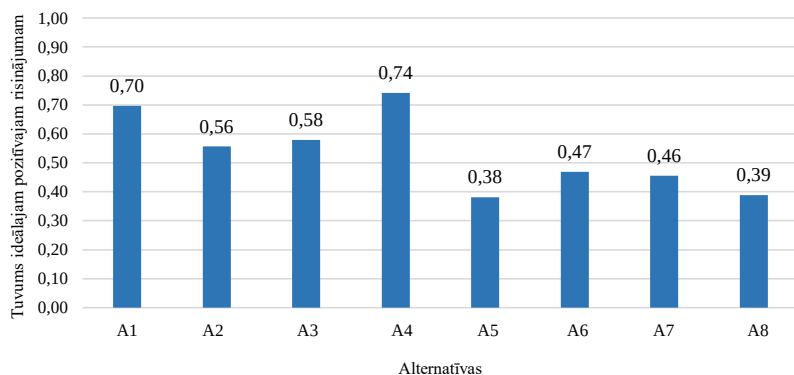
4.2.2.2. tabula

Normalizēta datu matrica situācijā pirms enerģētiskās krīzes

Kritērijs	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Resursu pieejamība	0,325	0,217	0,325	0,542	0,325	0,325	0,434	0,217
Tehnoloģiskie aspekti	0,435	0,348	0,261	0,435	0,261	0,348	0,348	0,348
Ekonomiskie aspekti	0,470	0,376	0,376	0,376	0,188	0,188	0,376	0,376
Vides aspekti	0,408	0,408	0,408	0,327	0,327	0,408	0,245	0,245
Klimata pārmaiņu aspekti	0,399	0,399	0,319	0,319	0,319	0,399	0,239	0,399
Aprites ekonomikas aspekti	0,328	0,410	0,410	0,410	0,410	0,410	0,164	0,164

Autores veidota tabula.

TOPSIS aprēķinu rezultāti, lai salīdzinātu astoņus kaņepju produktus ikdienas apstākļos, izmantojot ideālajam risinājumam vistuvāko metodi, parādīti 4.2.2.5. attēlā. Vistuvāk ideālajam rezultātam ir būvmateriālu ražošana un siltumizolācija ar vērtībām attiecīgi 0,74 un 0,7. Sliktākie rezultāti ir enerģijas un papīra ražošanai, attiecīgi 0,39 un 0,38. Visas astoņas salīdzinātās alternatīvas ir tālu no ideālā risinājuma, un būvmateriālu ražošana ir tikai par 0,24 vienībām tuvāk ideālam. Labākā un otrā labākā alternatīva tikai par 0,04 vienībām tuvāk. Tomēr būvmateriālu ilgtspējības rādītāji ir gandrīz par 50 % labāki nekā papīra ražošanai no kaņepēm. Tā ir būtiska atšķirība, kas norāda, ka, balstoties uz pētījumā izmantotajiem kritērijiem, *MCDA* analīzes rezultātā būvmateriālu ražošana no kaņepēm ir nepārprotami ilgtspējīgāka nekā papīra un enerģijas ražošana no kaņepēm.



4.2.2.5. att. Kaņepju izmantošanas klasifikācija pirms enerģētikas krīzes.

(A1 siltumizolācija būvniecības nozarē, A2 tekstilmateriāli dažādās nozarēs, A3 kompozītmateriāli dažādās nozarēs, A4 būvmateriāli dažādās nozarēs, A5 papīrs rūpniecības sektorā, A6 tehniskie materiāli dažādās nozarēs, A7 pārtika lauksaimniecības nozarē, A8 enerģija enerģētikas nozarē)
 Autores veidots attēls.

Situācija ir citādāka, kad pasaulē un valstī attīstās ekonomikas un enerģētikas krīze. Šādā situācijā visi resursi, kurus varētu izmantot arī kā enerģijas avotus, ir jāvērtē citādi, jo importētās fosilās enerģijas cena var ievērojami pieaugt. 4.2.2.3. tabulā ir redzama normalizēto datu matrica enerģētiskās krīzes situācijā.

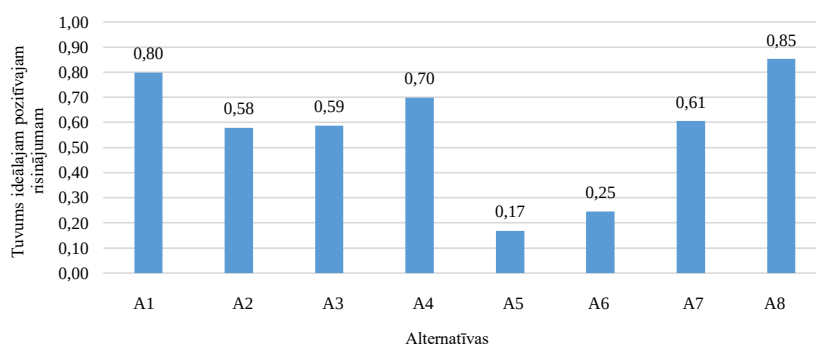
4.2.2.3. tabula

Normalizētu datu matrica enerģētiskās krīzes situācijā

Kritērijs	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Resursu pieejamība	0,291	0,194	0,291	0,486	0,291	0,291	0,389	0,486
Tehnoloģiskie aspekti	0,435	0,348	0,261	0,435	0,261	0,348	0,348	0,348
Ekonomiskie aspekti	0,453	0,362	0,362	0,362	0,181	0,181	0,362	0,453
Vides aspekti	0,408	0,408	0,408	0,327	0,327	0,408	0,245	0,245
Klimata pārmaiņu aspekti	0,399	0,399	0,319	0,319	0,319	0,399	0,239	0,399
Aprites ekonomikas aspekti	0,307	0,383	0,383	0,383	0,383	0,383	0,153	0,383

Autores veidota tabula.

TOPSIS aprēķini, lai salīdzinātu astoņus kaņepju produktus ekonomiskās un enerģētiskās krīzes apstākļos, izmantojot ideālajam risinājumam vistuvāko metodi, deva rezultātus, kas parādīti 4.2.2.6. attēlā. Enerģijas un siltumizolācijas ražošana ir vistuvāk ideālajam pozitīvajam risinājumam ar vērtībām attiecīgi 0,85 un 0,8. Savukārt viszemākie rezultāti ir tehniskajiem materiāliem un papīra ražošanai, attiecīgi 0,25 un 0,17. Arī siltumizolācija ir pietuvojusies ideālam, jo tā var samazināt enerģijas patēriņu mājokļos. Labākais un otrs labākais sniegums atšķiras tikai par 0,05 vienībām. Pārējās sešas salīdzinātās alternatīvas ir tālāk no ideālā risinājuma. Enerģijas ražošanas ilgtspējības rādītājs ir četras reizes augstāks nekā papīra ražošanai no kaņepēm. Tā ir milzīga atšķirība, kas norāda uz nepieciešamību veikt papildu analīzi un nepieciešamību koriģēt kaņepju izmantošanas prioritātes ekonomikas krīzes kontekstā.

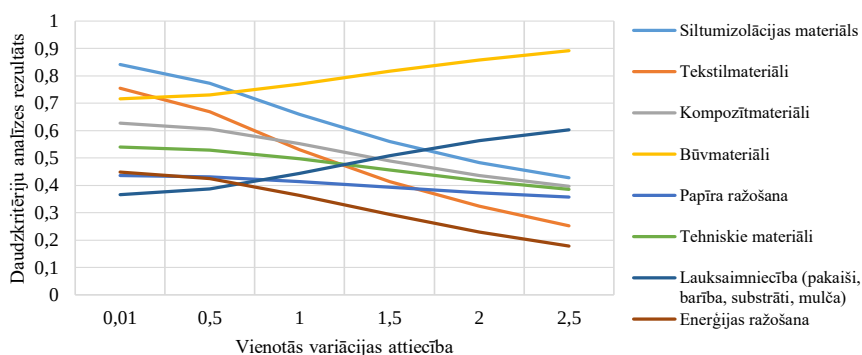


4.2.2.6. att. Kaņepju izmantošanas klasifikācija enerģijas krīzes laikā

(A1 siltumizolācija būvniecības nozarē, A2 tekstilmateriāli dažādās nozarēs, A3 kompozītmateriāli dažādās nozarēs, A4 būvmateriāli dažādās nozarēs, A5 papīrs rūpniecības sektorā, A6 tehniskie materiāli dažādās nozarēs, A7 pārtika lauksaimniecības nozarē, A8 enerģija enerģētikas nozarē)

Autores veidots attēls.

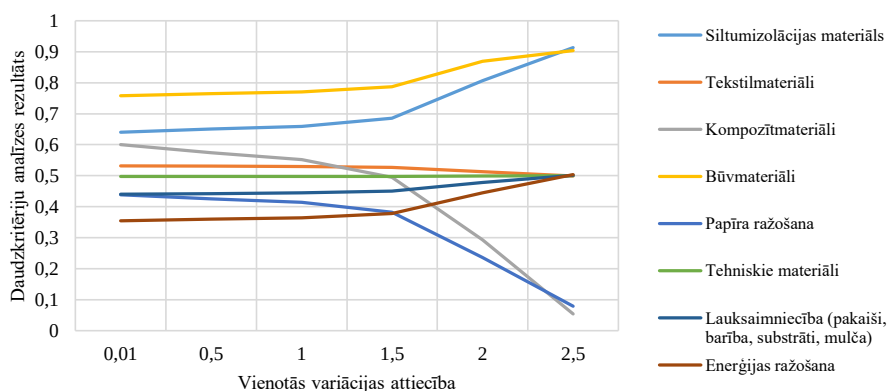
Rezultātu pārbaudei un alternatīvu stabilitātes izvērtēšanai mainīgos apstākļos, veikta jutīguma analīze visām astoņām alternatīvām. Jutīguma analīze veikta ar vienotās variācijas attiecības vērtībām $\beta k=0,01; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5$. Jutīguma analīze veikta visiem pieciem *TOPSIS* analīzē izmantotajiem kritērijiem (4.2.2.7. līdz 4.2.2.12. att.).



4.2.2.7. att. Kritērija “Resursu pieejamība” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Nelabvēlīga ietekme *TOPSIS* rezultātu resursu pieejamības kritērija īpatsvara izmaiņām ir nozarēm, kur kā izejvielu pārsvarā izmanto kaņepju šķiedras (tekstilmateriāli, tehniskie audumi, kompozītmateriāli, papīrs, siltumizolācija). Stabilākās alternatīvas resursu pieejamības ziņā ir būvmateriālu un lauksaimniecības produktu ražošana, jo šim mērķim ir izmantojamas visas kaņepju sastāvdaļas, kā arī daļai produktu prasības izejmateriāla kvalitātei nav augstas. Enerģijas ražošanā kaņepju izmantošana nebūtu lietderīga.

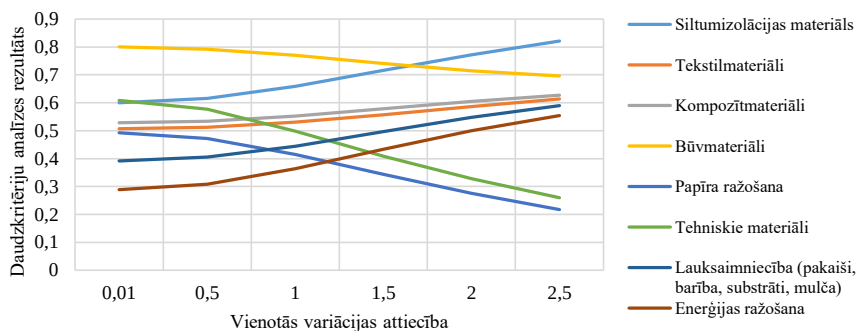


4.2.2.8. att. Kritērija “Tehnoloģiskie aspekti” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Tehnoloģisko aspektu svara izmaiņa būtiski ietekmē papīra un kompozītmateriālu ražošanas alternatīvu sniegumu *TOPSIS* analīzē. Iemesls tam varētu būt ražošanas sarežģītais tehnoloģiskais process. Kritērija īpatsvara palielināšanās labvēlīgi ietekmē siltumizolācijas

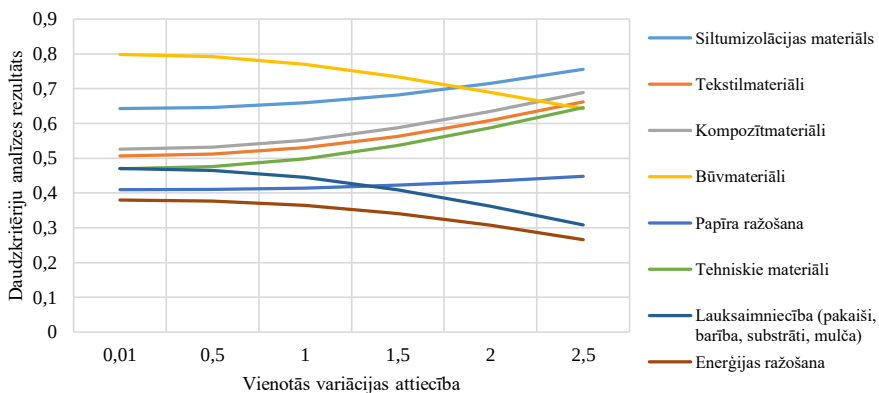
un būvmateriālu ražošanas alternatīvu, jo tehnoloģijas nav sarežģītas un ir pieejamas. Pārējās alternatīvas kritērija izmaiņas neietekmē.



4.2.2.9. att. Kritērija “Ekonomiskie aspekti” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Pozitīva ietekme *TOPSIS* rezultātu ekonomisko aspektu kritērija īpatsvara izmaiņām ir lielākajai nozaru daļai. Attēlā redzams, ka ekonomisko aspektu izmaiņa būtiski ietekmē papīra un tehnisko materiālu ražošanas alternatīvas. Papīra ražošanā tas skaidrojams ar augstajām ražošanas un izejmateriālu izmaksām, bet tehnisko materiālu ražošanā kaņepes ir dārgāka izejviela nekā citas izejvielas.

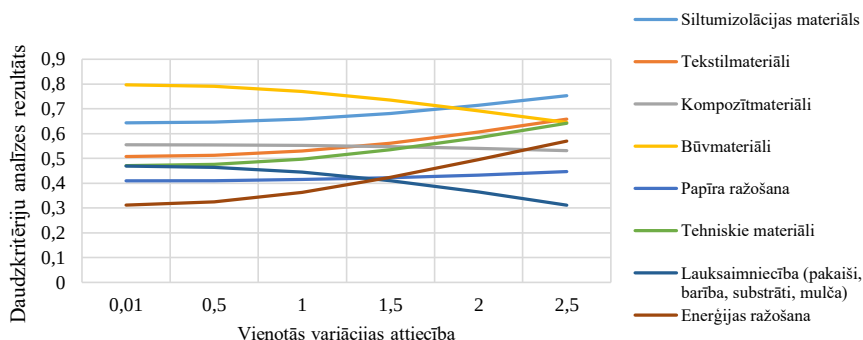


4.2.2.10. att. Kritērija “Vides aspekti” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Analizējot vides aspektu ietekmi uz kaņepju izmantošanas alternatīvu *TOPSIS* analīzes rezultātiem, redzams būvmateriālu, enerģijas un lauksaimniecības produktu

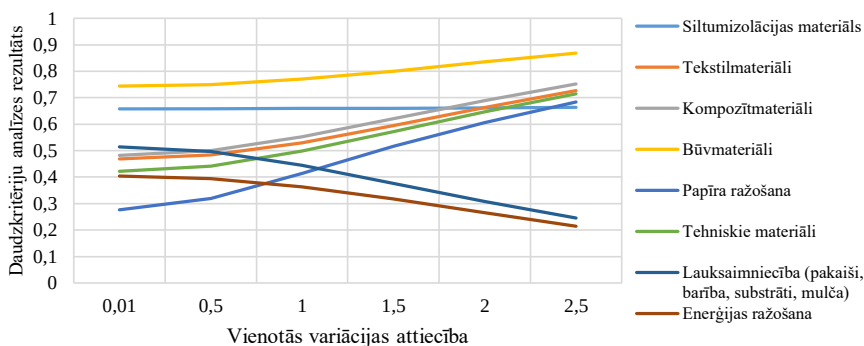
ražošanas rezultātu pasliktināšanās. Iemesls ir fosilo resursu un ķīmikāliju izmantošana, kā arī emisijas vidē ražošanas procesa gaitā. Pārējām alternatīvām ir pozitīva ietekme, jo daudzviet kaņepes aizstāj fosilos resursus. Siltumizolācijas materiālu ražošanai no kaņepēm ir pozitīva ietekme vides un klimata aspektu kritērijiem, jo siltumizolācijas materiāli paaugstina būvju energoefektivitāti.



4.2.2.11. att. Kritērija “Klimatiskie aspekti” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Analizētajām kaņepju izmantošanas alternatīvām pozitīva ietekme ir enerģijas ražošanai, jo kaņepju izmantošana dod nulles SEG emisijas. Kaņepju pielietošanai dažādu materiālu alternatīvām arī ir pozitīva ietekme, jo tiek aizvietoti fosilie resursi, piemēram, sintētisko tekstilmateriālu, tehnisko materiālu, siltumizolācijas materiālu ražošanā. Negatīva ietekme uz *TOPSIS* rezultātu kritērija īpatsvara izmaiņām ir tikai kaņepju izmantošanai lauksaimniecībā un būvmateriālu ražošanā.



4.2.2.12. att. Kritērija “Aprites ekonomikas aspekti” jutīguma analīze.

Autores veidots attēls.

Aprites ekonomikas aspektu svara izmaiņas visnegatīvāk ietekmē kaņepju pielietošanu lauksaimniecībā un enerģijas ražošanā. Pārējās alternatīvas kritērija īpatsvara palielināšanās ietekmē pozitīvi. Tas apliecina, ka kaņepes ir atbilstoša izejviela aprites ekonomikas prasībām un tai ir nākotne dažāda veida produktu ražošanā.

Dzīves cikla ietekmes novērtējums veikts, izmantojot raksturlielumu apstrādi ar *Sima Pro 9.3.0.3 IMPACT 2002+* ietekmes novērtējuma metodoloģiju. Tika analizētas šādas ietekmes kategorijas: kancerogēni, nekancerogēni, neorganiskās vielas elpošanas orgānos, jonizējošais starojums, ozona slāņa noārdīšanās, organiskās vielas elpošanas orgānos, ūdens ekotoksicitāte, augsnes skābums, zemes lietošana, ūdens paskābināšanās, ūdens eutrofikācija, globālā sasilšana, neatjaunojamā enerģija un minerālu ieguve. Ietekme uz vidi, ko rada kaņepju sadedzināšana bioenerģijas ražošanai, ir parādīta 4.2.2.4. tabulā.

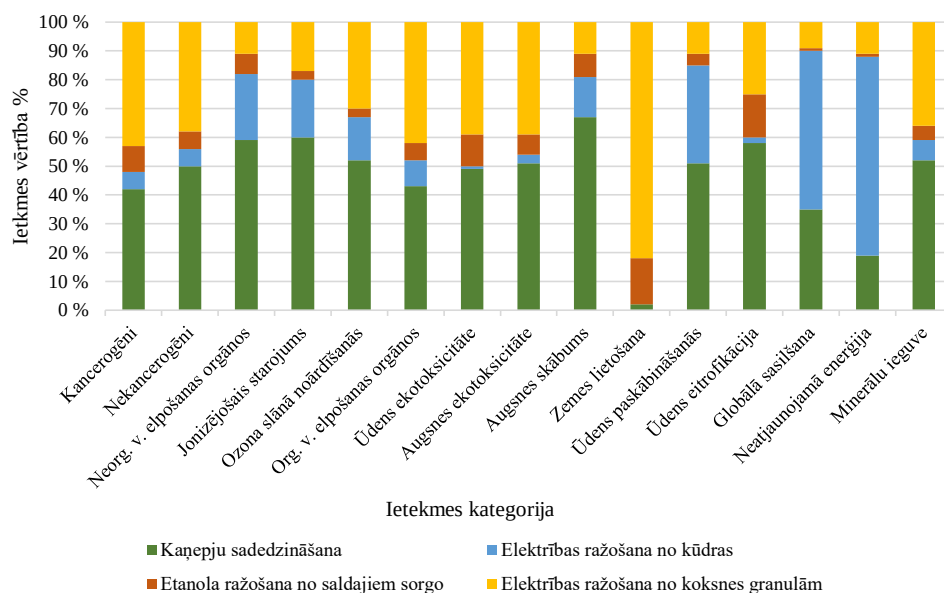
4.2.2.4. tabula

Kaņepju sadedzināšanas bioenerģijas ražošanai dzīves cikla ietekmes kategorijas

Ietekmes kategorija	Vienība	Kaņepju sadedzināšana	Ietekmes vērtība
Kancerogēni	kg C ₂ H ₃ Cl ekv.	0,628	100 %
Nekancerogēni	kg C ₂ H ₃ Cl ekv.	2,314	100 %
Neorganiskās vielas elpošanas orgānos	kg PM 2,5 ekv.	0,145	100 %
Jonizējošais starojums	Bq C-14 ekv.	245,313	100 %
Ozona slāņa noārdīšanās	kg CFC-11 ekv.	2,617e-06	100 %
Organiskās vielas elpošanas orgānos	kg C ₂ H ₄ ekv.	0,013	100 %
Ūdens ekotoksicitāte	kg TEG ūdens	14217,586	100 %
Augsnes ekotoksicitāte	kg TEG augsne	5348,325	100 %
Augsnes skābums	kg SO ₂ ekv.	3,817	100 %
Zemes lietošana	m ²	1,055	19,3 %
Ūdens paskābināšana	kg SO ₂ ekv.	0,826	100 %
Ūdens eutrofikācija	kg PO ₄ P-lim	0,016	100 %
Neatjaunojamā enerģija	MJ primārā	357,777	27,9 %
Globālā sasilšana	kg CO ₂ ekv.	77,311	65,9 %
Minerālu ieguve	MJ pārpalikums	1,403	100 %

Autores veidota tabula.

Kaņepju sadedzināšanas dzīves cikla rādītāji, lai saražotu 100 kWh elektroenerģiju, liecina par lielu ieguldījumu (100 %) visās ietekmes kategorijās, izņemot zemes aizņemšanu, neatjaunojamo enerģiju un globālās sasilšanas potenciālu. 4.2.2.7. attēlā parādīti ietekmes novērtējuma rezultāti kaņepju biomasai, kūdrai, kokskaidu granulām un saldajam sorgo. Elektroenerģijas ražošanai no kūdras ir liela ietekme uz globālo sasilšanu un neatjaunojamo enerģiju, savukārt etanola ražošanai no saldajiem sorgo ir liela ietekme tikai uz zemes lietošanu. Elektroenerģijas ražošana no koksnes granulām uzrāda 100 % ieguldījumu kancerogēnu un zemes lietošanas ietekmes kategorijās. Turpretim attiecībā uz vielām, kas nav kancerogēnas, ūdens ekotoksicitātei, sauszemes skābēm un minerālu ieguvei, ieguldījums ir no 65 % līdz 80%. Kopumā ietekmes novērtējuma rezultāts kaņepju biomasai uzrāda negatīvus rezultātus, t. i., augstas ietekmes rādītāju gandrīz visām ietekmes kategorijām salīdzinājumā ar kūdras un saldo sorgo biomasu.



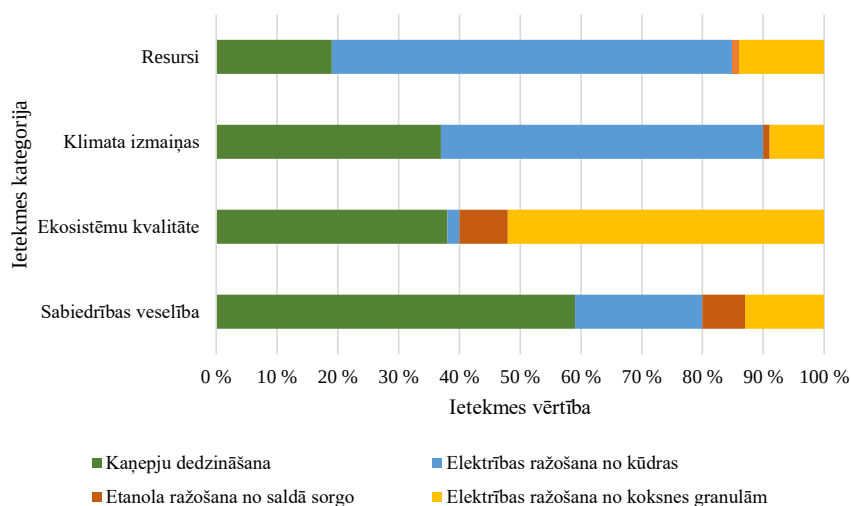
4.2.2.7. att. Kaņepju, kūdras, kokskaidu granulu un saldā sorgo biomasas ietekmes kategoriju salīdzinājums.

Autores veidots attēls.

LCA attiecas uz četrām ietekmju kategorijām, kas norāda uz lielāko būtisko negatīvo ietekmi uz vidi. Identificētās ietekmju kategorijas ir resursi, cilvēku veselība, klimata pārmaiņas un ekosistēmu kvalitāte. Tālāk ir sniegta katras ietekmju kategorijas sīkāka definīcija:

- resursi veido resursu patēriņa procentuālo daļu;
- klimata pārmaiņas ir potenciālās globālās sasilšanas indikators, ko izraisa SEG emisijas gaisā;
- ekosistēmas kvalitāte parāda aizsargjoslu, kas saistīta ar ietekmi uz dabisko vidi;
- cilvēka veselība parāda vidē emitēto vielu toksicitātes ietekmi uz cilvēku.

Kaņepju sadedzināšanas, elektrības ražošanas no kūdras un etanola ražošanas no saldā sorgo ietekmju novērtējuma salīdzinājums ir parādīts 4.2.2.8. attēlā. Rezultāti liecina, ka kūdras un saldo sorgo biomasai ir zemāka ietekme uz cilvēka veselību un ekosistēmas kvalitāti nekā kaņepju biomasai. Etanola ražošanai no saldajiem sorgo ir vismazākā ietekme visās kategorijās, savukārt kaņepju biomasas ietekme ir būtiska visās ietekmju kategorijās.



4.2.2.8. att. Kaņepju, kūdras, koksnes granulu un saldā sorgo biomasas ietekmju novērtējuma salīdzinājums.

Autores veidots attēls.

Rezultāti liecina, ka kūdras un saldā sorgo biomasai ir zemāka ietekme uz cilvēku veselību un ekosistēmas kvalitāti nekā kaņepju biomasai. Etanola ražošanai no saldā sorgo ir vismazākā ietekme visās kategorijās, savukārt kaņepju biomasai ir vērā ņemama ietekme visās kategorijās. Elektroenerģijas ražošanai no koksnes biomasas ir 100 % ietekme uz ekosistēmas kvalitāti, savukārt ietekme uz cilvēka veselību, klimata pārmaiņām un resursiem ir attiecīgi 21 %, 15 % un 16 % ietekme. Kopumā kaņepju sadedzināšanai ir lielāka negatīvā ietekme nekā kūdras, koksnes granulām un saldā sorgo biomasai.

Ilgtermiņa daudzdimensionālitate ir skaidri redzama, kad runa ir par kaņepju izmantošanu. No vienas puses, ir bioresursu vērtību piramīda, kas nosaka kaņepju resursu izmantošanu sadedzināšanai un enerģijas ražošanai. Šis izmantošanas veids ir tuvu piramīdas pamatnei, kas liecina par zemu pievienoto vērtību. No otras puses, ilgtspējības pieeja var zaudēt prioritāti un konkrētos apstākļos, piemēram, ekonomikas, ģeopolitikas un/vai enerģētikas krīzēs.

Krievijas karš Ukrainā ir novedis daudzas valstis pie lielām problēmām, jo tām bija jāizlemj par enerģētikas nozares ilgtermiņa attīstību un jāmaina sava ilgtermiņa attīstības politika. Eiropas valstīm steidzami bija jāatsakās no fosilā kurināmā, piemēram, dabasgāzes, un jāatrod veidi, kā šo fosilo kurināmo aizstāt ar atjaunojamiem enerģijas avotiem. Šajā gadījumā ir svarīgi atrast kritērijus, kas aptver visus ilgtspējas spektru. *MCDA* analīze ikdienas situācijai parādīja, ka kaņepju izmantošanas enerģētikā uzrādītais punktu skaits ir zems, kas nozīmē, ka tas ir tālu no ideālā risinājuma. Tomēr situācija mainās enerģijas krīzes apstākļos, kad kaņepju izmantošana enerģijas ražošanā ierindojas pirmajā vietā un ir labākais risinājums.

Šie rezultāti liecina, ka ir nepieciešami turpmāki pētījumi, lai atbildētu uz jautājumu: vai īslaicīgs risinājums var būt arī uzskatāms par ilgtspējīgu risinājumu? Atbildi uz šo jautājumu sniedz kaņepju granulu *LCA* salīdzinājumā ar citu biomasu un vietējo kurināmo (kūdras) enerģijas iegūšanai. Tika meklētas atbildes par dažādu enerģijas avotu ietekmi uz cilvēka veselību, klimata pārmaiņām, resursiem un ekosistēmu kvalitāti. Rezultāts bija pozitīvs: enerģētikas nozare enerģijas ražošanai nav ilgtspējīga, un no tās būtu jāizvairās pat ekonomiskās krīzes apstākļos.

Izstrādātā ilgtspējas novērtēšanas metodika parādīja, ka *MCDA* metodoloģija nodrošina tikai daļēju atbildi par bioprodukta efektivitāti. Tikai tad, ja rezultātus, kas iegūti ar *MCDA*, tālāk analizē ar *LCA*, var iegūt pilnīgu priekšstatu par to, vai kaņepju izmantošana enerģētikas nozarē ir ilgtspējīga jebkuros apstākļos un varētu būt nākotnes risinājums fosilās enerģijas

avotu aizstāšanai. Tāpēc paredzams, ka integrētā ilgtspējības novērtēšanas metode tuvākajā laikā tiks plaši izmantota lēmumu pieņemšanā.

Alternatīvu izvēle un tas, kā alternatīvas tiek salīdzinātas, ir svarīgi, lai izvērtētu ilgtspējību. Katram produktam ir sava niša noteiktā nozarē, sākot no tehniskajiem materiāliem būvniecības un autobūves nozarēs līdz enerģētikas sektoram.

Pirmajā metodoloģijas testēšanas posmā astoņas biežāk sastopamās kaņepju produktu lietošanas alternatīvas tika atlasītas *MCDA* analīzei. Tās tika analizētas, izmantojot sešus kritērijus. Resursu pieejamība, tehnoloģiskā, ekonomiskā, vides, klimata pārmaiņu un aprites ekonomikas aspekti noteica alternatīvu vērtību. *MCDA* matricas rezultāti parāda, ka ārkārtas situācija var ietekmēt prioritātes un mainīt alternatīvu izvēli, tāpēc *MCDA* analīzes rezultātu turpmākai izvērtēšanai ir jāintegrē *LCA*, lai apstiprinātu izvēlēto labākā risinājuma ilgtspēju ekonomiskās krīzes apstākļos. *LCA* analīzei tika atlasīti četri alternatīvi tehnoloģiskie scenāriji enerģētikas nozares attīstībai: kaņepju granulā dedzināšana, elektroenerģijas ražošana no kūdras un koksnes granulām, etanola ražošana no saldā sorgo. Rezultāti parādīja, ka kaņepju granulā scenārijs nav videi un klimatam draudzīgs, un to nevar izmantot situācijā, kad ir ekonomiskā krīze. *MCDA LCA* analīzes metožu integrācija ir noderīgs instruments, lai novērtētu bioresursu ilgtspējību.

Nemot vērā pasaulē pieaugošo pieprasījumu pēc enerģijas un augstākus klimata mērķus, biomasas sadedzināšana kļūs vēl svarīgāka nekā līdz šim. Pieaugošā pieprasījuma pēc koksnes un lielā enerģijas patēriņa dēļ samazinās koksnes resursi. Tā rezultātē pieaug interese par alternatīvo cieto biomasas kurināmā veidu izmantošanu enerģijai. Biomasas izejvielu granulēšana vai briketēšana ir labākais veids, kā optimizēt cietā biomasas kurināmā vērtību. Granulām ir priekšrocības, piemēram, liels enerģijas blīvums, viendabīgas fizikālās īpašības, vienkārša apstrāde un efektīva transportēšana. Tomēr biomasas izmantošana enerģijas ražošanai ir mērķtiecīgi un rūpīgi jāizvēlas.

LCA parādīja, ka kaņepju dedzināšanai ir lielāka negatīva ietekme nekā citiem enerģijas avotiem, piemēram, kūdrai vai koksnei un citai biomasai.

MCDA parādīja, ka kaņepes ir laba izejviela dažādu produktu ražošanai. Kaņepju produkti, ko var izmantot būvniecības nozarē (būvmateriāli un siltumizolācijas materiāli) ieņem visaugstāko vietu produktu rangējumā. Tomēr jāņem vērā, ka šie rezultāti ir tikai ikdienas bezkrīzes apstākļos. Ekonomikas un enerģētikas krīžu laikā situācija būtiski mainās,

un vistuvāk ideālajam risinājumam tad ir kaņepju izmantošana enerģijas ražošanā vai tāda materiāla (šajā gadījumā siltumizolācijas) ražošanā, kas palielina energoefektivitāti.

Tas rada dilemmu starp īstermiņa lēmumiem un ilgtermiņa vērtību radīšanu. Skatoties īstermiņā, kaņepju audzēšana un izmantošana enerģētikā var mazināt enerģētikas problēmas krīzes apstākļos. Savukārt ilgtermiņā ilgtspējīgāks risinājums gan no ekonomiskā, gan vides aspekta būtu risinājumi, kas ļautu pārstrādāt kaņepes, lai radītu produktus ar augstu pievienoto vērtību.

SECINĀJUMI

1. Mainīgos klimatiskajos apstākļos Latvijā ir iespējams audzēt sējas kaņepes (*Cannabis sativa* L.) gan sēklu, gan šķiedru, gan spaļu iegūšanai. Piemērojot pazeminātas izsējas normas (šķiedru un spaļu iegūšanai 40–60 kg/ha, savukārt sēklu iegūšanai 50 kg/ha vai pat mazāk, ja atstarpes starp rindām ir 12–15 cm) un slāpekļa mēslojumu trūdvielām bagātās augsnēs (30 kg/ha), var iegūt nemainīgi labas ražas kombinētai kaņepju izmantošanai, vienlaku mazinot slodzi vidē.
2. Austrumlatvijas apstākļos sēklu iegūšanai labāk audzēt agrinās šķirnes ar īsu veģetācijas periodu. No pētītajām šķirnēm sēklaudzēšanai var ieteikt “*Finola*”. “*Bialobrzskie*” ir piemērota šķiedrām un spaļiem. Kopumā kaņepju šķiedru un spaļu raža ir mainīga, tāpēc ekonomiski izdevīgāk izmantot visas augs daļas.
3. Pētījumā atrastie empīriskie vienādojumi ir izmantojami slāpekļa mēslojuma un kaņepju izsējas normas aprēķināšanai noteikta kaņepju produkta iegūšanai. Tādējādi, samazinot slāpekļa mēslojuma devas, var mazināt N₂O emisijas no lauksaimniecības sektora, veicinot klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu lauksaimniecībā un eitrofikācijas mazināšanu.
4. Izstrādāti kaņepes saturoši bioproduktu prototipi ar uzlabotām īpašībām un augstu pievienoto vērtību – kaņepes saturošs kompozītmateriāls un kaņepju betons, kas ir pamats tālākai tehnoloģijas attīstībai un komercializācijai.
5. Noteikta ilgtspējīgākā alternatīvas niedru izmantošanai – enerģētikas nozare. Lai paplašinātu niedru biomasas izmantošanu, jāattīsta niedru izmantošana būvniecības jomā vai inovatīvu produktu jomā. Enerģētikas nozares vajadzībām var izmantot tikai līdz 3000 ha niedru biomasas gadā, atstājot iespēju būvniecības nozarei un jaunu produktu izstrādei.
6. Tika izstrādāta metodoloģija kaņepju izmantošanas ilgtspējas izvērtēšanai mainīgos vides, ekonomiskajos un ģeopolitiskajos apstākļos. Metodoloģija ietver agrotehnoloģiskos un ilgtspējas kritērijus un integrētu datu analīzes metožu kombinēšanu ilgtspējīga lēmuma pieņemšanai.
7. Biomasas izmantošanai enerģijas ražošanā ir jābūt mērķtiecīgai un rūpīgi izvēlētai. *LCA* parāda, ka kaņepju sadedzināšana rada lielāku kaitējumu nekā citi enerģijas avoti, piemēram, kūdra vai koksne un cita biomasas.

8. MCDA parādīja, ka kaņepes ir laba izejviela dažādu produktu ražošanai. Kaņepju produkti, ko var izmantot būvniecības nozarē (būvmateriāli un siltumizolācijas materiāli), ieņem visaugstāko vietu produktu ranžējumā. Tomēr jāņem vērā, ka šie rezultāti ir tikai ikdienas bezkrīzes apstākļos. Ekonomikas un enerģētikas krīžu laikā situācija būtiski mainās, un vistuvāk ideālajam risinājumam tad ir kaņepju izmantošana enerģijas ražošanā vai tāda materiāla (šajā gadījumā siltumizolācijas) ražošanā, kas palielina energoefektivitāti.
9. Pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina, ka sējas kaņepes (*Cannabis sativa L.*) audzēšana mērķtiecīgai kaņepju produktu ar augstākus pievienoto vērtību ražošanai Latvijā ir pamats rapšu lauku aizstāšanai līdz 2030. gadam.

ATSAUCES

- [1] X. Wei *et al.*, “Knowledge Mapping of bioeconomy: A bibliometric analysis,” *J Clean Prod*, vol. 373, p. 133824, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.133824.
- [2] “BIOEAST - BIOEAST.” <https://bioeast.eu/home/> (accessed Oct. 06, 2022).
- [3] “Pētniecība | LBTU.” <https://www.llu.lv/lv/petnieciba> (accessed Dec. 06, 2022).
- [4] C. Moscariello, S. Matassa, G. Esposito, and S. Papirio, “From residue to resource: The multifaceted environmental and bioeconomy potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.),” *Resour Conserv Recycl*, vol. 175, p. 105864, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2021.105864.
- [5] S. Amaducci *et al.*, “Key cultivation techniques for hemp in Europe and China,” *Ind Crops Prod*, vol. 68, pp. 2–16, Jun. 2015, doi: 10.1016/J.INDCROP.2014.06.041.
- [6] Victoria Troyano Fernández, “The Hemp Manifesto_EN,” 2020.
- [7] Z. Dimanta, “Augu sekas ietekmes analīze uz biogēno elementu noplūdēm,” Latvia University of Agriculture, 2012.
- [8] A. Fridrihsone, F. Romagnoli, and U. Cabulis, “Life Cycle Inventory for winter and spring rapeseed production in Northern Europe,” *J Clean Prod*, vol. 177, pp. 79–88, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.214.
- [9] “Statistics | Eurostat,” Aug. 22, 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00100/default/line?lang=en> (accessed Sep. 22, 2022).
- [10] A. Adamovics, S. Ivanovs, and V. Stramkale, “Investigations about the impact of norms of the fertilisers and cultivars upon the crop capacity biomass of industrial hemp,” 2016.
- [11] “Rapša un ripša ražošanas un patēriņa balance (tūkst. t) – Rādītāji un Laika periods. PxWeb.” https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START__NOZ__LA__LAB/LAB020/table/tableViewLayout1/ (accessed Oct. 09, 2022).
- [12] “EUR-Lex - 02018L2001-20181221 - EN - EUR-Lex.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/?uri=celex%3A02018L2001-20181221> (accessed Dec. 06, 2022).
- [13] T. Hussain, G. Jeena, T. Pitakbut, N. Vasilev, and O. Kayser, “Cannabis sativa research trends, challenges, and new-age perspectives,” *iScience*, vol. 24, no. 12, p. 103391, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ISCI.2021.103391.

- [14] J. M. McPartland and E. Small, "A classification of endangered high-THC cannabis (*Cannabis sativa* subsp. *indica*) domesticates and their wild relatives," *PhytoKeys*, vol. 144, pp. 81–112, Apr. 2020, doi: 10.3897/phytokeys.144.46700.
- [15] G. Vilnītis, "Nozares analīze. Latvijas industriālo kaņepju asociācija," 2012.
- [16] E. M. Wimalasiri *et al.*, "A framework for the development of hemp (*Cannabis sativa* L.) as a crop for the future in tropical environments," *Ind Crops Prod*, vol. 172, p. 113999, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.INDCROP.2021.113999.
- [17] E. B. Russo *et al.*, "Phytochemical and genetic analyses of ancient cannabis from Central Asia," *J Exp Bot*, vol. 59, no. 15, pp. 4171–4182, 2008, doi: 10.1093/jxb/ern260.
- [18] M. Schroeder, "The history of European hemp cultivation," 2019.
- [19] "Hemp Around the World - Countries to Watch in the Growing Industry." <https://blog.signature-products.com/hemp-around-the-world/> (accessed Oct. 08, 2022).
- [20] "Kaņepes." <https://www.zm.gov.lv/lauksaimnieciba/statiskas-lapas/kanepes?id=18663#jump> (accessed Oct. 08, 2022).
- [21] M. Baldini, C. Ferfua, F. Zuliani, and F. Danuso, "Suitability assessment of different hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties to the cultivation environment," *Ind Crops Prod*, vol. 143, p. 111860, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.INDCROP.2019.111860.
- [22] "Industriālo kaņepju (*Cannabis sativa* L) audzēšanas, novākšanas tehnoloģiju izstrāde produkcijas ieguvei ar augstu pievienoto vērtību (S274) | LBTU." <https://www.llu.lv/lv/projekti/apstiprinatie-projekti/2015/industrialo-kanepju-cannabis-sativa-l-audzšanas-novaksanas> (accessed Oct. 08, 2022).
- [23] Aleksandrs Adamovičs, "Atskaite," Jelgava, 2014.
- [24] K. Tang *et al.*, "Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments," *Ind Crops Prod*, vol. 87, pp. 33–44, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.INDCROP.2016.04.026.
- [25] "Statistics | Eurostat." https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE/default/line?lang=en&category=env.env_air.env_air_ai (accessed Sep. 24, 2022).
- [26] "Statistics | Eurostat." https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_REN/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_ind.nrg_ind_share (accessed Sep. 24, 2022).

- [27] F. Scrucca *et al.*, “Energy and carbon footprint assessment of production of hemp hurds for application in buildings,” *Environ Impact Assess Rev*, vol. 84, p. 106417, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106417.
- [28] F. Scrucca *et al.*, “Energy and carbon footprint assessment of production of hemp hurds for application in buildings,” *Environ Impact Assess Rev*, vol. 84, p. 106417, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106417.
- [29] “ANO Ilgtspējīgas attīstības mērķi | Pārresoru koordinācijas centrs.” <https://pkc.gov.lv/lv/attistibas-planosana-latvija/ano-ilgtspejigas-attistibas-merki> (accessed Sep. 03, 2022).
- [30] “Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2030,” 2021.
- [31] G. Todde, G. Carboni, S. Marras, M. Caria, and C. Sirca, “Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) for phytoremediation: Energy and environmental life cycle assessment of using contaminated biomass as an energy resource,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, p. 102081, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102081.
- [32] B. de Vos, M. F. Souza, E. Michels, and E. Meers, “Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in a phytoattenuation strategy: Remediation potential of a Cd, Pb and Zn contaminated soil and valorization potential of the fibers for textile production,” *Ind Crops Prod*, vol. 178, p. 114592, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.INDCROP.2022.114592.
- [33] S. Pedrazzi *et al.*, “Techno-economic study of a small scale gasifier applied to an indoor hemp farm: From energy savings to biochar effects on productivity,” *Energy Convers Manag*, vol. 228, p. 113645, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2020.113645.
- [34] P. K. Dubey *et al.*, “Planet friendly agriculture: Farming for people and the planet,” *Current Research in Environmental Sustainability*, vol. 3, p. 100041, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.CRSUST.2021.100041.
- [35] R. I. Bolla, “Family Farming: Biopharming for sustainability,” *EFB Bioeconomy Journal*, vol. 1, p. 100006, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.BIOECO.2021.100006.
- [36] “Kaņepju Produktu veikals Latvijā | Obelisk Farm.” <https://www.obeliskfarm.lv/veikals/> (accessed Sep. 09, 2022).
- [37] “Hemp | OEC - The Observatory of Economic Complexity.” <https://oec.world/en/profile/sitc/hemp#exporters-importers> (accessed Sep. 24, 2022).

- [38] “2014 Hemp Farm Bill Signed by President Obama - Vote Hemp.” https://www.votehemp.com/press_releases/president-obama-signs-farm-bill-with-amendment-to-allow-industrial-hemp-research/ (accessed Sep. 24, 2022).
- [39] Michael Carus, “European hemp industry: cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers,” vol. 1994, no. March, pp. 1–9, 2017, [Online]. Available: <https://eiha.org/media/2016/05/16-05-17-European-Hemp-Industry-2013.pdf>
- [40] J. Thurmond and J. Horner, “Comparative Analysis of the Industrial Hemp Industry,” 2019.
- [41] Patel, “Plant variety catalogues,” 2019.
- [42] “Papildu nosacījumi vienotā platību maksājuma piešķiršanai par kaņepju platībām.” <https://www.zm.gov.lv/zemkopibas-ministrija/statiskas-lapas/papildu-nosacijumi-vienota-platibu-maksajuma-pieskirsanai-par-kanepju?id=2277#jump> (accessed Sep. 02, 2022).
- [43] “Narkotisko un psihotropo vielu un zāļu, kā arī prekursoru likumīgās aprites likums.” <https://likumi.lv/ta/id/40283-par-narkotisko-un-psihotropo-vielu-un-zalu-likumigas-aprites-kartibu> (accessed Sep. 02, 2022).
- [44] “Nosacījumi kaņepju audzētājiem.” <https://www.vmd.gov.lv/statiskas-lapas/nosacijumi-kanepju-audzetajiem?id=5616#jump> (accessed Sep. 22, 2022).
- [45] T. L. Guntis Strazds, Veneranda Stramkale, *Lauksaimniecības kultūraugu sējumu platība – Kultūraugi un Laika periods. PxWeb*. Accessed: Nov. 29, 2022. [Online]. Available: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START__NOZ__LA__LAG/LAG020/table/tableViewLayout1/
- [46] “Statistics | Eurostat.” https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00100/settings_1/line?lang=en (accessed Oct. 08, 2022).
- [47] “Statistics | Eurostat.” https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00100/settings_1/map?lang=en (accessed Sep. 09, 2022).

- [48] “Statistics | Eurostat.”
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ef_lac_indus/default/map?lang=en
 (accessed Sep. 09, 2022).
- [49] F. Dhondt and S. S. Muthu, “Climate Change Impact on Hemp,” Springer, Singapore, 2021, pp. 51–68. doi: 10.1007/978-981-16-3334-8_4.
- [50] M. Abdollahi, F. Sefidkon, M. Calagari, A. Mousavi, and M. F. Mahomoodally, “Impact of four hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties and stage of plant growth on yield and composition of essential oils,” *Ind Crops Prod*, vol. 155, no. April, p. 112793, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112793.
- [51] M. Abdollahi, F. Sefidkon, M. Calagari, A. Mousavi, and M. Fawzi Mahomoodally, “A comparative study of seed yield and oil composition of four cultivars of Hemp (*Cannabis sativa* L.) grown from three regions in northern Iran,” *Ind Crops Prod*, vol. 152, no. March, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112397.
- [52] B. Mazian, A. Bergeret, J. C. Benezet, and L. Malhautier, “Influence of field retting duration on the biochemical, microstructural, thermal and mechanical properties of hemp fibres harvested at the beginning of flowering,” *Ind Crops Prod*, vol. 116, no. January, pp. 170–181, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.062.
- [53] T. Glivar *et al.*, “Cannabinoid content in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in Slovenia,” *Ind Crops Prod*, vol. 145, no. August 2019, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112082.
- [54] I. Baltiņa, Z. Zamuška, V. Stramkale, and G. Strazds, “Physical properties of latvian hemp fibres,” in *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 2011, vol. 2, pp. 237–243. doi: 10.17770/etr2011vol2.964.
- [55] M. Maļceva, P. Stramkale, and P. Vikmane, “Physiological aspects of nitrogen fertilizer impact on latvian origin cannabis sativa l,” in *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 2011, vol. 2, p. 305314. doi: 10.17770/etr2011vol2.986.
- [56] K. Bar, “Yield potential and factor influencing yield gap in industrial hemp cultivation under nemoral climate conditions,” vol. 139, no. February, 2022, doi: 10.1016/j.eja.2022.126576.
- [57] R. G. H. Metzger, M.J., Shkaruba, A.D., Jongman, R.H.G., Bunce, “Descriptions of the European Environmental Zones and Strata,” p. 152, 2012, [Online]. Available: <http://edepot.wur.nl/197197>

- [58] R. Žydelis *et al.*, “Yield potential and factor influencing yield gap in industrial hemp cultivation under nemoral climate conditions,” *European Journal of Agronomy*, vol. 139, p. 126576, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.eja.2022.126576.
- [59] Redaktori: Māris Kļaviņš un Jānis Zaļoksnis., “3. Klimata mainība un klimata pārmaiņas: 3.1. Zemes klimats un tā veidošanos ietekmējošie faktori,” in *Klimats un ilgtspējīga attīstība*, LU Akadēmiskais apgāds, 2011, p. 334. Accessed: Dec. 05, 2022. [Online]. Available: <https://edu.lu.lv/mod/book/view.php?id=39523>
- [60] Redaktori: Māris Kļaviņš un Jānis Zaļoksnis., “4. Latvijas klimats un tā mainības raksturs: 4.6. Veģetācijas periods un tā izmaiņas,” in *Klimats un ilgtspējīga attīstība*, Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 2011, p. 334. Accessed: Dec. 04, 2022. [Online]. Available: <https://edu.lu.lv/mod/book/view.php?id=39525&chapterid=314>
- [61] Redaktori: Māris Kļaviņš un Jānis Zaļoksnis., “4. Latvijas klimats un tā mainības raksturs: 4.4. Ekstremālās parādības un to izmaiņas,” in *Klimats un ilgtspējīga attīstība*, Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 2011, p. 334. Accessed: Dec. 04, 2022. [Online]. Available: <https://edu.lu.lv/mod/book/view.php?id=39525&chapterid=312>
- [62] C. Cole and B. Zurbo, “Industrial hemp – a new crop for NSW,” *Primefact*, no. 801, pp. 1–6, 2008.
- [63] Guntis Strazds Veneranda Stramkale Tālis Laizāns, *Ieteikumi rūpniecisko kaņepju audzētājiem un pārstrādātājiem. Praktiska rokasgrāmata*.
- [64] R. A. Nelson, “Hemp Husbandry Chapter 4 Table of Contents,” no. 1, pp. 1–20, 2000.
- [65] K. Tang *et al.*, “A comprehensive study of planting density and nitrogen fertilization effect on dual-purpose hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation,” *Ind Crops Prod*, vol. 107, pp. 427–438, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.INDCROP.2017.06.033.
- [66] Z. Jankauskiene, E. Gruzdeviene, S. Ivanovs, and E. Maumevicius, “Screening hemp (*Cannabis sativa* L.) biomass and chemical composition as influenced by seed rate and genotype,” *Engineering for Rural Development*, vol. 16, pp. 317–322, 2017, doi: 10.22616/ERDev2017.16.N062.
- [67] Z. Jankauskienė, E. Gruzdevienė, E. Maumevičius, and I. M. Layko, “Investigation of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre quantity and quality as influenced by genotype and seed rate,” *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, vol. 1, pp. 125–128, 2017, doi: 10.17770/etr2017vol1.2530.

- [68] Aleksandrs Adamovičs, "Latvijas Republikas Zemkopības ministrija Latvijas Lauksaimniecības universitāte," Jelgava, 2015.
- [69] "Delivering the European Green Deal | European Commission." https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en (accessed Oct. 03, 2022).
- [70] "Land use and forestry regulation for 2021-2030." https://climate.ec.europa.eu/eu-action/forests-and-agriculture/land-use-and-forestry-regulation-2021-2030_lv (accessed Oct. 03, 2022).
- [71] Z. Shen, L. Tiruta-Barna, and L. Hamelin, "From hemp grown on carbon-vulnerable lands to long-lasting bio-based products: Uncovering trade-offs between overall environmental impacts, sequestration in soil, and dynamic influences on global temperature," *Science of The Total Environment*, vol. 846, p. 157331, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.157331.
- [72] T. Karche and M. R. Singh, "The application of hemp (*Cannabis sativa* L.) for a green economy: a review," *Turk J Botany*, vol. 43, no. 6, pp. 710–723, Jan. 2019, doi: 10.3906/bot-1907-15.
- [73] G. Corrado, A. Pannico, A. Zarrelli, M. C. Kyriacou, S. de Pascale, and Y. Rouphael, "Macro and trace element mineral composition of six hemp varieties grown as microgreens," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 114, p. 104750, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.JFCA.2022.104750.
- [74] I. Auzi, "Kaņepju sēklu kvalitātes prasības un pārstrāde."
- [75] C. Botella-Martínez, A. Gea-Quesada, E. Sayas-Barberá, J. Á. Pérez-Álvarez, J. Fernández-López, and M. Viuda-Martos, "Improving the lipid profile of beef burgers added with chia oil (*Salvia hispanica* L.) or hemp oil (*Cannabis sativa* L.) gelled emulsions as partial animal fat replacers," *LWT*, vol. 161, p. 113416, May 2022, doi: 10.1016/J.LWT.2022.113416.
- [76] D. R. Grijó, I. A. Vieitez Osorio, and L. Cardozo-Filho, "Supercritical extraction strategies using CO₂ and ethanol to obtain cannabinoid compounds from Cannabis hybrid flowers," *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 28, pp. 174–180, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.JCOU.2018.09.022.
- [77] P. valde, "Patentu valdes oficiālais vēstnesis „Patenti un preču zīmes”,” 2010, Accessed: Dec. 09, 2022. [Online]. Available: <http://www.lrpv.lv>

- [78] “Projekta gala atskaite”.
- [79] A. Blake and I. Nahtigal, “The evolving landscape of cannabis edibles,” *Curr Opin Food Sci*, vol. 28, pp. 25–31, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.COFS.2019.03.009.
- [80] T. Moreno, F. Montanes, S. J. Tallon, T. Fenton, and J. W. King, “Extraction of cannabinoids from hemp (*Cannabis sativa* L.) using high pressure solvents: An overview of different processing options,” *J Supercrit Fluids*, vol. 161, p. 104850, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.SUPFLU.2020.104850.
- [81] V. Brighenti, M. Protti, L. Anceschi, C. Zanardi, L. Mercolini, and F. Pellati, “Emerging challenges in the extraction, analysis and bioanalysis of cannabidiol and related compounds,” *J Pharm Biomed Anal*, vol. 192, p. 113633, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JPBA.2020.113633.
- [82] C. Chen and Z. Pan, “Cannabidiol and terpenes from hemp – ingredients for future foods and processing technologies,” *Journal of Future Foods*, vol. 1, no. 2, pp. 113–127, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.JFUTFO.2022.01.001.
- [83] V. Kitrytė, D. Bagdonaitė, and P. Rimantas Venskutonis, “Biorefining of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) threshing residues into cannabinoid and antioxidant fractions by supercritical carbon dioxide, pressurized liquid and enzyme-assisted extractions,” *Food Chem*, vol. 267, pp. 420–429, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.09.080.
- [84] T. M. Attard, C. Bainier, M. Reinaud, A. Lanot, S. J. McQueen-Mason, and A. J. Hunt, “Utilisation of supercritical fluids for the effective extraction of waxes and Cannabidiol (CBD) from hemp wastes,” *Ind Crops Prod*, vol. 112, pp. 38–46, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.INDCROP.2017.10.045.
- [85] E. Kawka, “A Systematic Approach to Developing Terpene Extraction Conditions Utilising Supercritical Carbon Dioxide,” *Chromatography Today*, no. March, pp. 44–49, 2018.
- [86] A. C. Gallo-Molina *et al.*, “Extraction, isolation and purification of tetrahydrocannabinol from the *Cannabis sativa* L. plant using supercritical fluid extraction and solid phase extraction,” *J Supercrit Fluids*, vol. 146, pp. 208–216, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.SUPFLU.2019.01.020.
- [87] S. Qamar, Y. J. M Torres, H. S. Parekh, J. Robert Falconer, G. Luci, and A. di Paolo, “Effects of Ethanol on the Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Cannabinoids

- from Near Equimolar (THC and CBD Balanced) Cannabis Flower,” 2021, doi: 10.3390/separations8090154.
- [88] C. Chen, C. Venkitasamy, W. Zhang, R. Khir, S. Upadhyaya, and Z. Pan, “Effective moisture diffusivity and drying simulation of walnuts under hot air,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 150, p. 119283, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2019.119283.
- [89] C. Leonelli, P. Veronesi, and G. Cravotto, “Microwave-assisted extraction: An introduction to dielectric heating,” *Food Engineering Series*, pp. 1–14, 2013, doi: 10.1007/978-1-4614-4830-3_1/COVER.
- [90] K. Leiman, L. Colomo, S. Armenta, M. de la Guardia, and F. A. Esteve-Turrillas, “Fast extraction of cannabinoids in marijuana samples by using hard-cap espresso machines,” *Talanta*, vol. 190, pp. 321–326, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.TALANTA.2018.08.009.
- [91] S. Wainaina *et al.*, “Utilization of food waste-derived volatile fatty acids for production of edible *Rhizopus oligosporus* fungal biomass,” *Bioresour Technol*, vol. 310, p. 123444, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2020.123444.
- [92] S. Matassa *et al.*, “Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the ‘full gas’ route to single cell protein,” *Green Chemistry*, vol. 22, no. 15, pp. 4912–4929, Aug. 2020, doi: 10.1039/D0GC01382J.
- [93] “Hemp vs Cotton: Which Fabric Is Better For The Environment?” <https://www.greenmarketreport.com/hemp-vs-cotton-which-fabric-is-better-for-the-environment/> (accessed Sep. 03, 2022).
- [94] J. Averink, “GLOBAL WATER FOOTPRINT OF INDUSTRIAL HEMP TEXTILE”.
- [95] A. G. Duque Schumacher, S. Pequito, and J. Pazour, “Industrial hemp fiber: A sustainable and economical alternative to cotton,” *J Clean Prod*, vol. 268, p. 122180, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122180.
- [96] H. Sankari, “TOWARDS BAST FIBRE PRODUCTION IN FINLAND: STEM AND FIBRE YIELDS AND MECHANICAL FIBRE PROPERTIES OF SELECTED FIBRE HEMP AND LINSEED GENOTYPES”.
- [97] M. Novaković, D. M. Popović, N. Mladenović, G. B. Poparić, and S. B. Stanković, “Development of comfortable and eco-friendly cellulose based textiles with improved sustainability,” *J Clean Prod*, vol. 267, p. 122154, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122154.

- [98] D. de Miranda, "AN EVALUATION OF HEMP FIBER FOR FURNISHING APPLICATIONS," Colorado State University, 2011.
- [99] A. B. Thomsen, A. Thygesen, V. Bohn, K. V. Nielsen, B. Pallesen, and M. S. Jørgensen, "Effects of chemical–physical pre-treatment processes on hemp fibres for reinforcement of composites and for textiles," *Ind Crops Prod*, vol. 24, no. 2, pp. 113–118, Sep. 2006, doi: 10.1016/J.INDCROP.2005.10.003.
- [100] A. THYGESEN, F. T. MADSEN, H. LILHOLT, C. FELBY, and A. B. THOMSEN, "Changes in chemical composition, degree of crystallisation and polymerisation of cellulose in hemp fibres caused by pre-treatment," *Proceedings of the ... Risø International Symposium on Materials Science*, pp. 315–323, 2002, Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=14614834>
- [101] R. G. Martinez, "Hygrothermal Assessment of a Prefabricated Timber-frame Construction Based in Hemp | Enhanced Reader," *Procedia Environ Sci*, vol. 38, pp. 729–736, 2017.
- [102] S. Fuchsl, F. Rheude, and H. Röder, "Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review," *Cleaner Materials*, vol. 5, p. 100119, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.CLEMA.2022.100119.
- [103] "HEMP ECO SYSTEM LATVIA." <http://hempecosystems.lv/index.html> (accessed Sep. 06, 2022).
- [104] J. A. Abdalla, B. S. Thomas, and R. A. Hawileh, "Use of hemp, kenaf and bamboo natural fiber in cement-based concrete," *Mater Today Proc*, vol. 65, pp. 2070–2072, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.06.428.
- [105] E. Awwad, M. Mabsout, B. Hamad, M. T. Farran, and H. Khatib, "Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers," 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.119.
- [106] "Kaņepju šķiedru un stiebru īpašību un pārstrādes tehnoloģiju izpēte, to izmantošanas iespējas arhitektūras un inter." <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:3IFNISYGxWcJ:https://ortu.s.rtu.lv/science/lv/publications/9671/fulltext+&cd=1&hl=lv&ct=clnk&gl=lv> (accessed Sep. 06, 2022).

- [107] S. Barbhuiya and B. Bhusan Das, “A comprehensive review on the use of hemp in concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 341, p. 127857, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127857.
- [108] M. Sawadogo, F. Benmahiddine, A. E. A. Hamami, R. Belarbi, A. Godin, and M. Duquesne, “Investigation of a novel bio-based phase change material hemp concrete for passive energy storage in buildings,” *Appl Therm Eng*, vol. 212, p. 118620, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2022.118620.
- [109] E. Kirilovs, I. Zotova, I. Gendelis, H. Jörg-Gusovius, S. Kukle, and V. Stramkale, “Experimental Study of Using Micro-Encapsulated Phase-Change Material Integrated into Hemp Shive Wallboard”, doi: 10.3390/buildings10120228.
- [110] L. Barberà, M. A. Pèlach, I. Pérez, J. Puig, and P. Mutjé, “Upgrading of hemp core for papermaking purposes by means of organosolv process,” *Ind Crops Prod*, vol. 34, no. 1, pp. 865–872, Jul. 2011, doi: 10.1016/J.INDCROP.2011.02.005.
- [111] E. Papadopoulou *et al.*, “Value-added industrial products from bast fiber crops,” *Ind Crops Prod*, vol. 68, pp. 116–125, Jun. 2015, doi: 10.1016/J.INDCROP.2014.10.028.
- [112] R. Wang *et al.*, “Preparation and antibacterial properties of hemp cellulose-based material based on Schiff base between lysine grafted N-halamine and dialdehyde hemp,” *Ind Crops Prod*, vol. 176, p. 114388, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.INDCROP.2021.114388.
- [113] N. Murugu Nachippan, M. Alphonse, V. K. Bupesh Raja, S. Shasidhar, G. Varun Teja, and R. Harinath Reddy, “Experimental investigation of hemp fiber hybrid composite material for automotive application,” *Mater Today Proc*, vol. 44, pp. 3666–3672, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.10.798.
- [114] D. de Fazio, L. Boccarusso, and M. Durante, “Tribological Behaviour of Hemp, Glass and Carbon Fibre Composites,” *Biotribology*, vol. 21, p. 100113, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.BIOTRI.2019.100113.
- [115] B. v. Subrahmanyam, Y. Abshalomu, D. Mojeswararao, and S. B. R. Devireddy, “Experimental investigation of physical and mechanical behaviour of broom grass root and glass fiber reinforced hybrid composites,” *Mater Today Proc*, vol. 46, pp. 3193–3197, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.11.190.
- [116] M. P. Ribeiro *et al.*, “Mechanical, thermal and ballistic performance of epoxy composites reinforced with Cannabis sativa hemp fabric,” *Journal of Materials*

- Research and Technology*, vol. 12, pp. 221–233, May 2021, doi: 10.1016/J.JMRT.2021.02.064.
- [117] T. Väisänen, P. Batello, R. Lappalainen, and L. Tomppo, “Modification of hemp fibers (*Cannabis Sativa* L.) for composite applications,” *Ind Crops Prod*, vol. 111, pp. 422–429, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.INDCROP.2017.10.049.
- [118] C. Sowmya, V. Ramesh, and D. Karibasavaraja, “An Experimental Investigation of New Hybrid Composite Material using Hemp and Jute Fibres and Its Mechanical Properties through Finite Element Method,” *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 5, pp. 13309–13320, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.MATPR.2018.02.323.
- [119] S. Réquillé *et al.*, “Exploring the dew retting feasibility of hemp in very contrasting European environments: Influence on the tensile mechanical properties of fibres and composites,” *Ind Crops Prod*, vol. 164, p. 113337, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.INDCROP.2021.113337.
- [120] J. Müssig, S. Amaducci, A. Bourmaud, J. Beaugrand, and D. U. Shah, “Transdisciplinary top-down review of hemp fibre composites: From an advanced product design to crop variety selection,” *Composites Part C: Open Access*, vol. 2, p. 100010, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.JCOMC.2020.100010.
- [121] M. George, M. Chae, and D. C. Bressler, “Composite materials with bast fibres: Structural, technical, and environmental properties,” *Prog Mater Sci*, vol. 83, pp. 1–23, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.PMATSCI.2016.04.002.
- [122] R. Siva, S. Sundar Reddy Nemali, S. Kishore Kunchapu, K. Gokul, and T. Arun Kumar, “Comparison of Mechanical Properties and Water Absorption Test on Injection Molding and Extrusion - Injection Molding Thermoplastic Hemp Fiber Composite,” *Mater Today Proc*, vol. 47, pp. 4382–4386, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.05.189.
- [123] V. Ş. Ediger, E. Hoşgör, A. N. Sürmeli, and H. Tatlıdil, “Fossil fuel sustainability index: An application of resource management,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 5, pp. 2969–2977, May 2007, doi: 10.1016/J.ENPOL.2006.10.011.
- [124] “Naftas produktu imports, eksports un patēriņš (tūkst. tonnas) – Energoresursu veids, Rādītāji un Laika periods. PxWeb.” https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START__NOZ__EN__ENB/ENB030m/table/tableViewLayout1/ (accessed Oct. 06, 2022).

- [125] S. Bilgen, “Structure and environmental impact of global energy consumption,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 890–902, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.RSER.2014.07.004.
- [126] A. T. M. F. Ahmed, M. Z. Islam, M. S. Mahmud, M. E. Sarker, and M. R. Islam, “Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review,” *Heliyon*, vol. 8, no. 1, p. e08753, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.HELİYON.2022.E08753.
- [127] K. R. Szulczyk and R. A. Badeeb, “Nontraditional sources for biodiesel production in Malaysia: The economic evaluation of hemp, jatropha, and kenaf biodiesel,” *Renew Energy*, vol. 192, pp. 759–768, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.RENENE.2022.04.097.
- [128] T. Prade, S. E. Svensson, and J. E. Mattsson, “Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp,” *Biomass Bioenergy*, vol. 40, pp. 36–52, May 2012, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2012.01.045.
- [129] D. R. Nhuchhen and P. Abdul Salam, “Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach,” *Fuel*, vol. 99, pp. 55–63, Sep. 2012, doi: 10.1016/J.FUEL.2012.04.015.
- [130] M. H. Eisenbies, T. A. Volk, and A. Patel, “Changes in feedstock quality in willow chip piles created in winter from a commercial scale harvest,” *Biomass Bioenergy*, vol. 86, pp. 180–190, Mar. 2016, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2016.02.004.
- [131] R. Petlickaitė, A. Jasinskas, R. Mieldažys, K. Romaneckas, M. Praspaliauskas, and J. Balandaitė, “Investigation of Pressed Solid Biofuel Produced from Multi-Crop Biomass,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 2, 2022, doi: 10.3390/su14020799.
- [132] “Chemical composition of agromass ash and its influence on ash melting characteristics,” *Agronomy Research*, vol. 16, no. 2, p. 357, 2018, doi: 10.15159/AR.18.078.
- [133] S. A. Channiwala and P. P. Parikh, “A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels,” *Fuel*, vol. 81, no. 8, pp. 1051–1063, May 2002, doi: 10.1016/S0016-2361(01)00131-4.
- [134] K. Kongkadee, W. Wisutiprot, K. Ingkaninan, and N. Waranuch, “Anti-inflammation and gingival wound healing activities of Cannabis sativa L. subsp. sativa (hemp) extract and cannabidiol: An in vitro study,” *Arch Oral Biol*, vol. 140, p. 105464, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.ARCHORALBIO.2022.105464.

- [135] J. Liu and J. Beckerman, "Application of sustainable biosorbents from hemp for remediation copper(II)-containing wastewater," *J Environ Chem Eng*, vol. 10, no. 3, p. 107494, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JECE.2022.107494.
- [136] I. Gabriele, M. Race, S. Papirio, and G. Esposito, "Phytoremediation of pyrene-contaminated soils: A critical review of the key factors affecting the fate of pyrene," *J Environ Manage*, vol. 293, p. 112805, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2021.112805.
- [137] M. Girdhar, • Neeta, R. Sharma, • Hasibur, R. • Anupam Kumar, and A. Mohan, "Comparative assessment for hyperaccumulatory and phytoremediation capability of three wild weeds", doi: 10.1007/s13205-014-0194-0.
- [138] G. C. Stonehouse *et al.*, "Selenium Metabolism in Hemp (*Cannabis sativa* L.) - Potential for Phytoremediation and Biofortification," *Environ Sci Technol*, vol. 54, no. 7, pp. 4221–4230, 2020, doi: 10.1021/acs.est.9b07747.
- [139] S. Kiran and R. Challa, "DRYING KINETICS AND THE EFFECTS OF DRYING METHODS ON QUALITY (CBD, TERPENES AND COLOR) OF HEMP (*Cannabis sativa* L.) BUDS," Mar. 2020, Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: <https://DalSpace.library.dal.ca/handle/10222/80480>
- [140] V. K. Chasiotis, D. A. Tzempelikos, and A. E. Filios, "Assessment of constant and time-varying temperature schemes on the convective drying characteristics of hemp leaves," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, p. 101098, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.CSITE.2021.101098.
- [141] V. Chasiotis, A. Tsakirakis, A. Termentzi, K. Machera, and A. Filios, "Drying and quality characteristics of *Cannabis sativa* L. inflorescences under constant and time-varying convective drying temperature schemes," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 28, p. 101076, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.TSEP.2021.101076.
- [142] G. G. Atungulu and Z. Pan, "Infrared heating for food and agricultural processing," *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, pp. 1–300, Jul. 2010, doi: 10.1201/9781420090994/INFRARED-HEATING-FOOD-AGRICULTURAL-PROCESSING-ZHONGLI-PAN-GRIFFITHS-GREGORY-ATUNGULU.
- [143] X. fei Wu, M. Zhang, and B. Bhandari, "A novel infrared freeze drying (IRFD) technology to lower the energy consumption and keep the quality of Cordyceps

- militaris,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 54, pp. 34–42, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.IFSET.2019.03.003.
- [144] “Processing of cannabis using radiofrequency,” Oct. 2017.
- [145] L. Boccarusso, D. M. D’Addona, M. Durante, D. de Fazio, F. M. Capece Minutolo, and A. Langella, “A study on the drilling process of hemp/epoxy composites by using different tools,” *Procedia CIRP*, vol. 88, pp. 462–466, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROCIR.2020.05.080.
- [146] T. Segreto, A. Bottillo, A. Caggiano, R. Teti, and F. Ricci, “Full-volume Ultrasonic Technique for 3D Thickness Reconstruction of CFRP Aeronautical Components,” *Procedia CIRP*, vol. 67, pp. 434–439, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2017.12.238.
- [147] J. Müssig, S. Amaducci, A. Bourmaud, J. Beaugrand, and D. U. Shah, “Transdisciplinary top-down review of hemp fibre composites: From an advanced product design to crop variety selection,” *Composites Part C: Open Access*, vol. 2, no. July, 2020, doi: 10.1016/j.jcomc.2020.100010.
- [148] S. Ivanovs, A. Rucins, O. Valainis, D. Belakova, E. Kirilovs, and R. Vidzickis, “Research of technological process of hemp slab production,” *Engineering for Rural Development*, vol. 14, no. January, pp. 202–209, 2015.
- [149] I. Preikss, J. Skujans, A. Adamovics, and U. Iljins, “Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) quality parameters for building material from foam gypsum products,” *Chem Eng Trans*, vol. 32, pp. 1639–1644, 2013, doi: 10.3303/CET1332274.
- [150] P. A. Alvarez, A. Ishizaka, and L. Martínez, “Multiple-criteria decision-making sorting methods: A survey,” *Expert Syst Appl*, vol. 183, p. 115368, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.ESWA.2021.115368.
- [151] P. Zolfaghary, M. Zakerinia, and H. Kazemi, “A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS),” *Agric Water Manag*, vol. 243, p. 106490, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.AGWAT.2020.106490.
- [152] G. Villacreses, J. Martínez-Gómez, D. Jijón, and M. Cordovez, “Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 3526–3548, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.02.152.

- [153] Y. Chen, "Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques," *J Hydrol (Amst)*, vol. 612, p. 128268, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.JHYDROL.2022.128268.
- [154] D. Lerede, G. Pinto, M. Saccone, C. Bustreo, A. Capozzoli, and L. Savoldi, "Application of a Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis to support decision-making within a macro-scale energy model: Case study of the electrification of the road European transport sector," *Energy*, vol. 236, p. 121444, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.121444.
- [155] F. F. C. L. Viana, R. S. G. R. Casado, L. B. L. da Silva, M. H. Alencar, R. J. P. Ferreira, and A. T. de Almeida, "A hybrid multicriteria decision model for selecting a portfolio of risk-based maintenance actions in natural gas pipelines," *J Nat Gas Sci Eng*, vol. 103, p. 104655, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.JNGSE.2022.104655.
- [156] R. Wilson, J. Chua, Y. Pryymachenko, A. Pathak, S. Sharma, and J. H. Abbott, "Prioritizing Healthcare Interventions: A Comparison of Multicriteria Decision Analysis and Cost-Effectiveness Analysis," *Value in Health*, vol. 25, no. 2, pp. 268–275, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.JVAL.2021.08.008.
- [157] F. Sitorus and P. R. Brito-Parada, "The selection of renewable energy technologies using a hybrid subjective and objective multiple criteria decision making method," *Expert Syst Appl*, vol. 206, p. 117839, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.ESWA.2022.117839.
- [158] A. Jahan, K. L. Edwards, and M. Bahraminasab, "Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design".
- [159] A. Jahan, M. Bahraminasab, and K. L. Edwards, "A target-based normalization technique for materials selection," *Mater Des*, vol. 35, pp. 647–654, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2011.09.005.
- [160] I. Muizniece, V. Kazulis, L. Zihare, L. Lupkina, K. Ivanovs, and D. Blumberga, "Evaluation of reed biomass use for manufacturing products, taking into account environmental protection requirements," *Agronomy Research*, vol. 16, no. Special Issue 1, pp. 1124–1132, 2018, doi: 10.15159/AR.18.077.
- [161] A. Jahan, K. L. Edwards, and M. Bahraminasab, *Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design*. 2016.
- [162] V. Maliene, R. Dixon-Gough, and N. Malys, "Dispersion of relative importance values contributes to the ranking uncertainty: Sensitivity analysis of Multiple Criteria Decision-

- Making methods,” *Appl Soft Comput*, vol. 67, pp. 286–298, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.ASOC.2018.03.003.
- [163] C. Gao, S. Zhu, N. An, H. Na, H. You, and C. Gao, “Comprehensive comparison of multiple renewable power generation methods: A combination analysis of life cycle assessment and ecological footprint,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 147, p. 111255, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2021.111255.
- [164] “ISO - ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.” <https://www.iso.org/standard/37456.html> (accessed Sep. 18, 2022).
- [165] ČUBARS Edgars. *Niedru produktivitāti un biomasas īpašības ietekmējošo faktoru izpēte un to izmantošanas enerģijas ieguvei pamatojums. 2014.*
- [166] G. Delplace *et al.*, “Accumulation of heavy metals in phytoliths from reeds growing on mining environments in Southern Europe,” *Science of The Total Environment*, vol. 712, p. 135595, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.135595.
- [167] H. Mäemets and L. Freiberg, “Characteristic of reeds on Lake Peipsi and the floristic consequences of their expansion,” *Limnologica*, vol. 34, no. 1–2, pp. 83–89, 2004, doi: 10.1016/S0075-9511(04)80025-2.
- [168] E. Čubars and G. Noviks, “EVALUATION OF REED RECOURCES IN THE LUBANS LAKE AND SUBSTANTIATION OF THEIR USE IN ENERGY PRODUCTION,” *ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, vol. 1, no. 0, pp. 66–73, 2009, doi: 10.17770/ETR2009VOL1.1092.
- [169] E. Čubars and G. Noviks, “EVALUATION OF REED RESOURCES IN KURZEME REGION IN LATVIA,” 2012.
- [170] “Rāznas ezerā uzsākti ekoloģiskā stāvokļa uzlabošanas darbi | Dabas aizsardzības pārvalde.” <https://www.daba.gov.lv/lv/jaunums/raznas-ezera-uzsakti-ekologiska-stavokla-uzlabosanas-darbi> (accessed Sep. 17, 2022).
- [171] F. Liu, Y. Zhang, H. Liang, and D. Gao, “Long-term harvesting of reeds affects greenhouse gas emissions and microbial functional genes in alkaline wetlands,” *Water Res*, vol. 164, p. 114936, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.WATRES.2019.114936.

- [172] Latvijas Dabas fonds and Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, “Inovatīvi tehnoloģiskie risinājumi niedru biomasas izmantošanai un to efektivitātes novērtējums,” p. 83, 2018.
- [173] T. Guo *et al.*, “Energy pellets from whole-wheat straw processed with a deep eutectic solvent: A comprehensive thermal, molecular and environmental evaluation,” *Renew Energy*, vol. 194, pp. 902–911, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.RENENE.2022.05.143.
- [174] A. Selvarajoo, C. W. Lee, D. Oochit, and K. H. O. Almashjary, “Bio-pellets from empty fruit bunch and durian rinds with cornstarch adhesive for potential renewable energy,” *Mater Sci Energy Technol*, vol. 4, pp. 242–248, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MSET.2021.06.008.
- [175] “2030 climate & energy framework.” https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en (accessed Sep. 17, 2022).
- [176] M. H. Saad, M. A. Nazzal, and B. M. Darras, “A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes,” *Ecol Indic*, vol. 97, pp. 211–224, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2018.09.062.
- [177] L. Balezentiene, D. Streimikiene, and T. Balezentis, “Fuzzy decision support methodology for sustainable energy crop selection,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 17, pp. 83–93, Jan. 2013, doi: 10.1016/J.RSER.2012.09.016.
- [178] L. Rocchi *et al.*, “Sustainability evaluation of retrofitting solutions for rural buildings through life cycle approach and multi-criteria analysis,” *Energy Build*, vol. 173, pp. 281–290, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.05.032.
- [179] C. Niyigena, S. Amziane, and A. Chateauneuf, “Multicriteria analysis demonstrating the impact of shiv on the properties of hemp concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 160, pp. 211–222, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.11.026.
- [180] A. Mahajan, V. Binaz, I. Singh, and N. Arora, “Selection of Natural Fiber for Sustainable Composites Using Hybrid Multi Criteria Decision Making Techniques,” *Composites Part C: Open Access*, vol. 7, p. 100224, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.JCOMC.2021.100224.
- [181] N. M. Ishak, S. D. Malingam, and M. R. Mansor, “Selection of natural fibre reinforced composites using fuzzy VIKOR for car front hood,” *International Journal of Materials and Product Technology*, vol. 53, no. 3–4, pp. 267–285, 2016, doi: 10.1504/IJMPT.2016.079205.

- [182] M. Noryani, S. M. Sapuan, and M. T. Mastura, "Multi-criteria decision-making tools for material selection of natural fibre composites: A review," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences ISSN*, vol. 12, no. 1, pp. 3330–3353, 2018, doi: 10.15282/jmes.12.1.2018.5.0299.
- [183] A. G. R. N. M. F. Sarah E. Wylie1, "Fertility management for industrial hemp production: Current knowledge and future research needs," *GCB-Bioenergy*, vol. 13, no. 4, pp. 517–624, 2020, doi: 10.1111/gcbb.12779.
- [184] S. Pedrazzi, N. Morselli, M. Puglia, F. Ottani, and M. Parenti, "EQUILIBRIUM MODELING OF HEMP HURD GASIFICATION".

PIELIKUMS

1.pielikums

2010., 2011., 2012. gada meteoroloģiskie dati

Mēnesis	Dekāde	Temperatūra, °C							Nokrišņi, mm						
		Vidējā ilggadējā	2010. gads	± no normas	2011. gads	± no normas	2012. gads	± no normas	Vidējie ilggadējie	2010. gads	% no normas	2011. gads	% no normas	2012. gads	% no normas
Aprīlis	1	1,5	6,0	+4,5	2,5	+1,0	-0,5	-2,0	10	7,2	72,0	7,3	73,0	5,4	54,0
	2	4,3	7,1	+2,8	4,5	+0,2	5,4	+1,1	10	0,7	7,0	2,2	22,0	10,5	105,0
	3	7,1	6,4	-0,7	10,6	+3,5	10,8	+3,7	12	4,6	38,3	0,5	4,2	12,0	100,0
Mēn.		4,3	6,5	+2,2	5,9	+1,6	5,2	+0,9	32	12,5	39,0	10,0	31,2	27,9	87,2
Maijs	1	9,2	10,0	+0,8	8,1	-1,1	10,5	+1,3	15	18,7	124,7	4,2	28,0	17,5	116,7
	2	11,2	16,7	+5,5	11,8	+0,6	11,0	-0,2	17	14,0	82,3	17,8	104,7	60,0	352,9
	3	12,8	12,4	-0,4	13,1	+0,3	12,9	+0,1	20	14,0	70,0	16,0	80,0	24,5	122,5
Mēn.		11,1	13,0	+1,9	11,0	-0,1	11,5	+0,4	52	46,7	89,8	38,0	73,1	102,0	196,1
Junijs	1	13,9	15,5	+1,6	18,6	+4,7	11,0	-2,9	23	21,1	91,7	1,9	8,3	37,5	163,0
	2	14,8	14,4	-0,4	15,3	+0,5	15,2	+0,4	26	21,9	84,2	10,3	39,6	50,0	192,3
	3	15,6	16,2	+0,6	15,7	+0,1	14,1	-1,5	26	32,7	125,8	8,6	33,1	18,5	71,1
Mēn.		14,8	15,4	+0,6	16,5	+1,7	13,4	-1,4	75	75,7	100,9	20,8	27,7	106,0	141,3
Julijs	1	16,4	19,5	+3,1	19,1	+2,7	19,8	+3,4	27	11,3	41,8	10,3	38,1	55,0	203,7
	2	17,1	22,9	+5,8	19,1	+2,0	14,8	-2,3	27	6,0	22,2	7,0	25,9	73,0	270,3
	3	17,3	22,8	+5,5	19,5	+2,2	18,8	+1,5	27	7,8	28,9	5,8	21,5	24,0	88,9
Mēn.		16,9	21,7	+4,8	19,2	+2,3	17,8	+0,9	81	25,1	31,0	23,1	28,5	152,0	187,6
Augusts	1	16,6	22,4	+5,8	16,1	-0,5	16,3	-0,3	25	5,6	22,4	5,7	22,8	50,5	202,0
	2	15,5	21,4	+5,9	15,8	+0,3	14,6	-0,9	23	6,1	26,5	16,6	72,2	14,0	60,9
	3	14,3	14,1	-0,2	15,4	+1,1	13,8	-0,5	23	8,8	38,3	18,7	81,3	15,5	67,4
Mēn.		15,5	19,3	+3,8	15,8	+0,3	14,9	-0,6	71	20,5	28,9	41,0	57,7	80,0	112,7
Septembris	1	12,6	8,9	-3,7	12,5	-0,1	12,2	-0,4	22	23,1	105,0	5,7	25,9	44,0	200,0
	2	10,7	11,5	+0,8	12,0	+1,3	13,1	+2,4	20	10,4	52,0	9,4	47,0	25,0	125,0
	3	8,9	9,3	+0,4	11,5	+2,6	10,1	+1,2	20	10,3	51,5	3,1	15,5	32,0	160,0
Mēn.		10,7	9,9	-0,8	12,0	+1,3	11,8	+1,1	62	43,8	70,6	18,2	29,3	101,0	163,0

1.pielikuma turpinājums

2013., 2019. gada meteoroloģiskie dati

Mēnesis	Dekāde	Temperatūra, °C					Nokrišņi, mm				
		Vidējā ilggadējā	2013. gads	± no normas	2019. gads	± no normas	Vidējie ilggadējie	2013. gads	% no normas	2019. gads	% no normas
Aprīlis	1	1,5	-1,8	-3,3	5,2	+3,7	10	15,1	151,0	0	0
	2	4,3	+4,2	-0,1	5,8	+1,5	10	4,4	44,0	0	0
	3	7,1	+5,8	-1,3	13,2	+6,1	12	19,0	158,0	0	0
Mēn.		4,3	+2,7	-1,6	8,1	+3,8	32	38,5	120,3	0	0
Maijs	1	9,2	11,6	+2,4	7,5	-1,7	15	0	0	15,4	102,7
	2	11,2	17,2	+6,0	14,0	+2,8	17	22,5	174,4	14,4	84,7
	3	12,8	15,5	+2,7	15,3	+2,5	20	35,8	196,7	40,0	200,0
Mēn.		11,1	14,8	+3,7	12,3	+1,2	52	58,3	112,1	69,8	134,2
Junijs	1	13,9	18,3	+4,6	19,1	+5,2	23	11,0	47,8	2,3	10,0
	2	14,8	15,7	+0,9	20,0	+5,2	26	2,0	7,7	10,2	29,2
	3	15,6	20,6	+5,0	17,6	+2,0	26	17,5	67,3	35,9	138,1
Mēn.		14,8	18,3	+3,5	18,9	+4,1	75	30,5	40,7	48,4	64,5
Julijs	1	16,4	18,7	+2,3	13,4	-3,0	27	2,8	10,4	53,0	196,3
	2	17,1	17,5	+0,4	14,8	-2,3	27	19,0	70,4	23,6	87,4
	3	17,3	17,3	0	17,8	+0,5	27	29,0	107,4	16,3	60,4
Mēn.		16,9	17,8	+0,9	15,3	-1,6	81	50,8	62,7	92,9	114,7
Augusts	1	16,6	19,4	+2,8	13,5	-3,1	25	29,0	116,0	29,0	116,0
	2	15,5	16,6	+1,1	16,9	+1,4	23	14,5	63,0	19,9	86,5
	3	14,3	14,1	-0,2	16,9	+2,6	23	21,5	93,5	56,5	245,6
Mēn.		15,5	16,7	+1,2	15,8	+0,3	71	65,0	91,5	105,4	148,5
Septembris	1	12,6	12,7	+0,1	12,2	+0,4	22	10,7	48,6	26	118,2
	2	10,7	13,4	+2,7	10,7	0	20	0,5	2,5	21	105
	3	8,9	6,7	-2,2	8,5	-0,4	20	27,2	136	26	130
Mēn.		10,7	10,9	+0,2	10,7	0	62	38,4	61,9	73	117,7

Autores veidota tabula. Avots: Viļānu meteoroloģiskās stacijas dati.

2.pielikums

Kaņepju ražas dati klimatisko faktoru ietekmes izvērtēšanai uz ražu atkarībā no šķirnes

Gads	Stiebru raža, t/ha	Lūksnes saturs, %	Lūksnes raža t/ha	Spaļu raža, t/ha	Augu biezība uz m ²	Sēklu raža, t/ha	Eļļas saturs sausnā, %	Eļļas satur pie 8% mitruma, %	1000 sēklu masa, g	Zaļās masas raža, t/ha	Veģetācijas periodsd ienas
<i>Finola</i>											
2010	4,5	22,6	1,6	2,6	156	1,03	39,1	36,0	10,01	17,2	104
2011	4,0	27,5	1,5	2,3	194	2,03	40,3	37,1	12,43	15,7	94
2012	6,3	29,7	2,5	3,7	184	0,96	39,1	35,9	12,06	28,3	101
2013	3,0	38,3	1,15	1,0	156	2,01	39,1	35,9	13,22	12,7	62
2019	8,1	19,7	3,0	5,1	164	2,69	40,3	37,1	12,31	13,9	114
<i>Pūriņi</i>											
2010	6,4	24,9	2,5	3,6	140	1,3	39,6	36,4	12,49	22,8	111
2011	5,7	29,1	2,4	3,1	154	1,6	40	36,8	13,96	22,3	107
2012	8,1	29,4	2,8	4,9	168	0,83	40,3	37,1	10,6	27,3	121
2013	5,5	31	1,7	3,0	156	1,1	40,3	37,1	12,7	16,1	69
2019	14,4	27,5	5,1	7,2	177	2,12	40,2	37,0	13,82	19,4	119
<i>Bialozeberskie</i>											
2010	16,8	30,2	7,2	7,9	152	0,16	30,8	28,3	10,07	50,1	120
2011	15,5	32,9	7	7,3	183	0,45	36,2	33,3	9,76	48,3	123
2012	13,5	32,3	6,9	5,7	180	0,1	24,2	22,3	5,96	39,7	140
2013	13	42,3	5,5	6	196	0,24	24,2	22,3	9	41,5	119
<i>USO 31</i>											
2011	11,2	33,8	7,7	8,2	168	0,22	38	34,9	8,88	40,7	117
2012	9	40,3	4,8	4,1	175	0,22	25,1	23,1	8,2	45	136
2013	11,5	40	4,6	5,5	168	0,24	25,1	23,1	10,38	39,1	92
2019	21,3	33,8	8,1	12,6	174	0,26	25	23	8,86	23,5	129

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.

2.pielikuma turpinājums

Kaņepju ražas dati slāpekļa mēslojuma ietekme uz ražu atkarībā no šķirnes

Gads	N mēslojuma deva kg/ha	<i>Finola</i>	<i>Bialobrzeskie</i>	Pūriņi	<i>USO 31</i>
2010	30	5,67	15,51	6,36	
	60	7,92	18,18	6,18	
	100	9,9	17,7	7,1	
2011	30	5,4	15	6,21	13,71
	60	7,56	15,72	6,3	13,92
	90	9,54	17,28	6,48	14,4
2012	30	7,29	13,59	9,6	14,79
	60	11,4	14,88	11,22	15,6
	90	12,15	17,1	11,61	16,56
	100	10,3	16,5	9,8	16,7
2013	30	6,78	15,3	8,31	15
	60	11,04	18,72	8,52	16,32
	90	13,41	18,99	9,99	16,83
	100	9,6	18,5	8,7	17
2019	30		14,63	8,47	14,50
	60		16,43	8,67	15,33
	90		17,80	9,37	15,93

Autores veidota tabula, izmantojot SIA Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā veikto lauka pētījumu datus.



Ērika Teirumnieka dzimusi 1971. gadā Rēzeknē. Absolvējusi Latvijas Universitāti, iegūstot ķīmika kvalifikāciju (1994) un ķīmijas maģistra grādu (1995). Strādājusi par mācībspēku Rēzeknes Valsts ģimnāzijā, Valsts Robežsardzes koledžā, Latvijas Mākslas akadēmijas Rēzeknes filiālē kā mācībspēks, Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijā (iepriekš Rēzeknes Augstskola) kopš 1994. gada, ieņemot lektores, pētnieces un Inženieru fakultātes dekānes amatu. Aktīvi piedalījies daudzu projektu īstenošanā, īpaši aizraujošs darbs bija zinātnisko atklājumu komercializācijas projektos, jo tas ir brīdis, kad zinātniskie sasniegumi pārtop reālā produktā un tiek sākti ražošana. Patlaban ir Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas lektore un pētniece, Rēzeknes novada domes priekšsēdētāja vietniece. Zinātniskās intereses saistītas ar Latvijas resursu efektīvu izmantošanu un jaunu produktu ražošanu.