



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS:

Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu
(plūdu riska) mazināšanā

LĪGUMA NR.:

10.9.1-11/25/1540-e

IZPILDĪTĀJI:

Kristīne Bīlande

Andis Lazdiņš

Olga Šķiste

Raitis Meļņiks

Kristaps Siltumēns

Rēzija Paeglīte

Annija Straume

Arnis Sproģis

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2025



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR DARBA UZDEVUMA IZPILDI

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā

DARBA UZDEVUMS: 1. SEG emisiju mērījumi un cēloņsakarību izpēte nosusinātās lauksaimniecības zemēs

IZPILDĪTĀJI:

Kristīne Bīlande

Olga Šķiste

Kristaps Siltumēns

Rēzija Paeglīte

Annija Straume

Arnis Sproģis

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2025

SATURS

Attēlu saraksts	3
Tabulu saraksts	5
Izmantotie saīsinājumi	6
1. Ievads	7
1.1. SEG emisijas Latvijā	8
1.2. Kopsavilkums par SEG emisijām no augsnes	11
2. Materiāli un metodes	16
2.1. Pētījuma vietu izvēle SEG emisiju mērījumiem un to raksturojums	16
2.1.1. Bērzes monitoringa stacija	17
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija	20
2.1.3. Auces monitoringa stacija	21
2.1.4. Lafloras pētījumu vieta	23
2.1.5. Mārupes pētījumu vieta	23
2.1.6. Pēterlauku pētījumu vieta	24
2.2. Mērījumu veikšana ar Picarro	27
2.2.1. Iekārtas un aprīkojums	28
2.2.2. Datu analīzes metodes	29
2.2.3. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums	31
3. Rezultāti	32
3.1. SEG un amonjaka emisiju no augsnes rezultāti Auces, Bērzes, Mellupītes, Lafloras un Mārupes pētījumu vietās	32
3.1.1. Metāna emisiju no augsnes mērījumu rezultāti	33
3.1.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti	35
3.1.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti	38
3.1.4. Amonjaka mērījumu rezultāti	39
3.2. Augsnes organiskā satura, augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme	40
3.3. Augsnes apstrādes un kultūraugu ietekme uz SEG emisijām no augsnes	48
Secinājumi	55
Literatūras avoti	57

ATTĒLU SARAKSTS

1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2021. gadā (NIR, 2023).	9
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2021. gadā (NIR, 2023). 9	
3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2021. gadā (NIR, 2023).	10
4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2021. gadā (NIR, 2023).	10
5.att. SEG emisiju mērījumu vietas.	16
6. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Bērzes monitoringa stacijā.	19
7. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Mellupītes monitoringa stacijā.	21
8. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Auces monitoringa stacijā.	22
9. att. SEG emisiju mērījumu vieta Lafloras pētījumu vietā.	23
10. att. SEG emisiju mērījumu vieta Mārupes pētījumu vietā.	24
11. att. SEG emisiju mērījumu vieta Pēterlauku pētījumu vietā.	25
12. att. Picarro G2508 (autors: K.Valujeva).	28
13. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).	28
14. att. Augsnes mitruma mērītājs un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka- Uļčugačeva).	29
15. att. Diver barometriskā spiediena mērītājs, datu nolasīšanas iekārta un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).	29
16. att. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematisks attēlojums.	29
17. att. Mēneša vidējās gaisa temperatūras un mēneša nokrišņu summa mērījumu veikšanas vietu tuvākajās LVĢMC novērojumu stacijās veģetācijas periodos no 2017. līdz 2024. gadam (LVĢMC, 2024).	31
18.att. CH ₄ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2024. gadā.	34
19. att. CH ₄ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2024. gadam.35	
20.att. N ₂ O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2024. gadā.	36
21. att. N ₂ O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2024. gadam.	37
22. att. CO ₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2024. gadā.	38
23.att. CO ₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2024. gadam.39	

24.att. NH ₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2024. gadā.....	39
25. att. NH ₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2024. gadam.	40
26.att. CH ₄ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2024. gadam.	45
27.att. N ₂ O emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2024. gadam.	46
28.att. CO ₂ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2024. gadam.	47
29.att. NH ₃ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2024. gadam.	48
30.att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju no augsnes novērojumi Poķu stacionārā 2024. gadā pēc augsnes abstrādes veida.....	49
31.att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju no augsnes salīdzinājums 2018.- 2024. gadam.	50
32.att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju no augsnes salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida un kultūras 2024. gadā.....	51
33.att. CH ₄ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2024. gadam.	52
34.att. N ₂ O emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2024. gadam.	53
35.att. CO ₂ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2024. gadam.	53
36.att. NH ₃ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2024. gadam.	54

TABULU SARAKSTS

1. tab. Agronomiskās darbības pētījuma teritorijās.....	17
2. tab. Bērzes monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.	18
3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Bērzes monitoringa stacijas drenu laukā	19
4. tab. Mellupites monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.	20
5. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās	21
6. tab. Auces monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.	22
7. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Auces monitoringa stacijas sateces baseinā	23
8.tab. Agronomiskās darbības ziemas rapša lauciņos	25
9.tab. Agronomiskās darbības vasaras kviešu lauciņos	25
10.tab. Agronomiskās darbības pupu lauciņos.....	26
11. tab. Izmēģinājumu shēma 2009 - 2026. g.	26
12.tab. N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji 2024. gadā.	33
13. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām 2024. gadā.	41
14. tab. Kendala korelācijas koeficienti minerālaugsnes kamerām 2024. gadā. ..	42
15. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām 2024. gadā.	42
16. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām laika posmam no 2017. līdz 2024. gadam.	43
17. tab. SEG un NH ₃ emisiju no organiskajām un minerālaugsnēm vidējās vērtības un mediānas no 2017. līdz 2024. gadam	44
18. tab. N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji Poķu stacionārā 2024. gadā.....	48
19. tab. Kultūraugu N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju no augsnes vidējās vērtības Poķu stacionārā 2024. gadā.....	51

IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI

SEG – siltumnīcefekta gāzes;

CO₂ – oglekļa dioksīds;

N₂O – dislāpekļa oksīds;

CH₄ – metāns;

NH₃ – amonjaks;

NO – slāpekļa oksīds;

NO₃ – nitrāti;

C/N – oglekļa/slāpekļa attiecība, kas nosaka ātrumu, ar kādu mikroorganismi sadala organisko vielu;

N – slāpeklis;

C – ogleklis;

ppm – tilpuma miljondaļas;

LVĢMC – Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs;

SOC – augsnes organiskais ogleklis;

ne-ETS – emisiju tirdzniecības sistēmā neiekļautie sektori (transports, lauksaimniecība, mežsaimniecība, atkritumu apsaimniekošana, mājsaimniecības, rūpniecība).

1. IEVADS

Siltumnīcefekta izraisošo gāzu (SEG) koncentrācijas samazināšana atmosfērā līdz tādām līmenim, kas novērš bīstamu antropogēnu iejaukšanos klimata procesos, ir aktuāla kopš ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām pieņemšanas. Pēc 2020. gada Latvijas saistības SEG emisiju samazināšanā nosaka Parīzes nolīgums, kurā Latvija kopīgā rīcībā ar pārējām Eiropas Savienības valstīm, stiprinās globālo rīcību klimata pārmaiņu novēršanai. Parīzes nolīguma mērķi ir noturēt globālo sasilšanu būtiski zem 2 °C robežām, uzlabot pielāgošanos klimata pārmaiņu radītajām negatīvajām sekām, ietekmēt un sekmēt noturību pret klimata pārmaiņām, kā arī virzīt investīcijas, lai nodrošinātu oglekļa mazietilpīgu un pret klimata pārmaiņām noturīgu attīstību. Parīzes nolīgums nosaka, ka Latvijai līdz 2030. gadam SEG emisijas no ne-ETS sektora ir jāsamazina par 6% salīdzinot ar 2005. gadu.

Ik gadu Latvijā tiek veikta SEG inventarizācija, kuras ietvaros tiek aprēķinātas SEG emisijas, kas rodas dažādu tautsaimniecības sektoru darbības rezultātā, t.sk., lauksaimniecības zemju apsaimniekošana.

Meliorācijas sistēmu ierīkošana lauksaimniecības zemēs nodrošina augsnes mitruma regulēšanu, kas īpaši aktuāla ir pavasara un rudens sezonās, kad nepieciešama intensīva lauksaimniecības tehnikas izmantošana. Pētījumu rezultāti liecina, ka lauksaimniecības zemju nosusināšana palielina kultūraugu produktivitāti, sekmē skābekļa daudzuma palielināšanos augsnē un organiskās vielas sadalīšanās procesus, samazina CH₄ emisijas, bet palielina CO₂ un N₂O emisijas.

Projekta mērķis ir noteikt un analizēt SEG emisijas no lauksaimniecībā izmantotām teritorijām, kurās ierīkotas meliorācijas sistēmas.

Projekta uzdevumi:

1. veikt dislāpekļa oksīda (N₂O), ogļskābās gāzes (CO₂), metāna (CH₄) un amonjaka (NH₃) emisijas mērījumus lauksaimniecībā izmantotā minerālaugsnē;
2. noteikt un analizēt dislāpekļa oksīda (N₂O), ogļskābās gāzes (CO₂), metāna (CH₄) un amonjaka (NH₃) emisijas cēloņsakarības pētāmajās teritorijās.

Projekta rezultāti kopš 2017. gada ir prezentēti 4 vietēja līmeņa konferencēs un 12 starptautiskās konferencēs. Kopš 2022. gada projekta rezultāti ir publicēti 3 starptautiskos zinātniskos žurnālos:

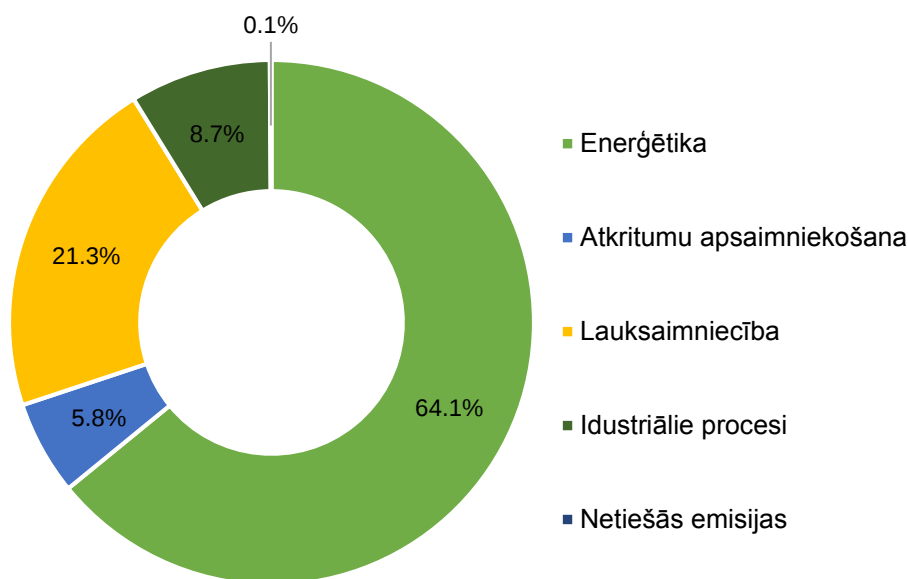
1. Soil tillage and agricultural crops affect greenhouse gas emissions from Cambic Calcisol in a temperate climate / Kristine Valujeva, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Olga Skiste, Sindija Liepa, Ainis Lagzdins, Inga Grinfelde // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*. Vol.72(1) (2022), p. 835-846. <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2097123>
2. Environmental parameters and management as factors affecting greenhouse gas emissions from clay soil / Kristine Valujeva, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Madara Darguza, Kristaps Siltumens, Ainis Lagzdins, Inga Grinfelde // *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B - Plant & Soil Science*. Vol.74(1) (2024), article number 2290828. <https://doi.org/10.1080/09064710.2023.2290828>
3. Impact of crop type and soil characteristics on greenhouse gas emissions in Latvian agricultural systems / Karlis Memgaudis, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Kristine Valujeva // *Atmosphere*. Nr. 15(12) (2024), article number 1404. <https://doi.org/10.3390/atmos15121404>

Projektā veiktie mērījumu rezultāti ir izmantoti 1 zinātniski pētnieciskajā darbā un 2 maģistra darbos:

1. Zālīte A. Augsnēs apstrādes un audzētās kultūras ietekme uz SEG emisijām māla augsnēs: Maģistra darbs. Jelgava, LLU, Vides un būvzinātņu fakultāte, Vides un ūdenssaimniecības katedra. – 2021. – 70 lpp.
2. Memgaudis K. Siltumnīcefekta gāzu emisijas izdalīšanās daudzuma izmaiņas minerālaugsnē un organiskajā augsnē: Zinātniski pētnieciskais darbs. Jelgava, LBTU, Meža un vides zinātņu fakultāte, Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūts. – 2024.
3. Brože R. Kultūraugu ietekme uz augsnēs siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju daudzumu mērenajā klimata joslā: Maģistra darbs. Jelgava, LBTU, Meža un vides zinātņu fakultāte, Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūts. – 2025. – 61 lpp.

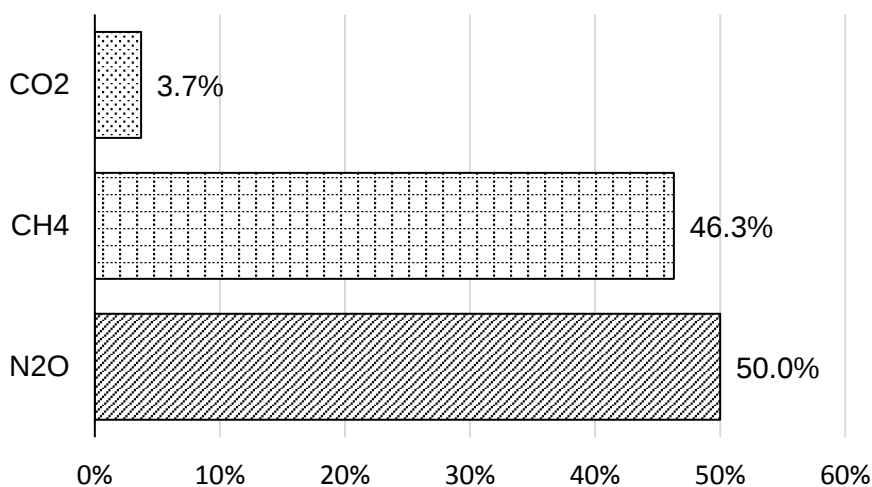
1.1. SEG emisijas Latvijā

Starptautiskā klimata politikas Parīzes nolīgums nosaka katru gadu dalībvalstīm iesniegt inventarizāciju par SEG emisijām un CO₂ piesaisti valstī, izmantojot Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (IPCC) izstrādātās vadlīnijas. Latvijā lauksaimniecības sektors 2023. gadā bija atbildīgs par 21.3% SEG emisiju no kopējā emisiju apjoma valstī (skat. 1. att.).



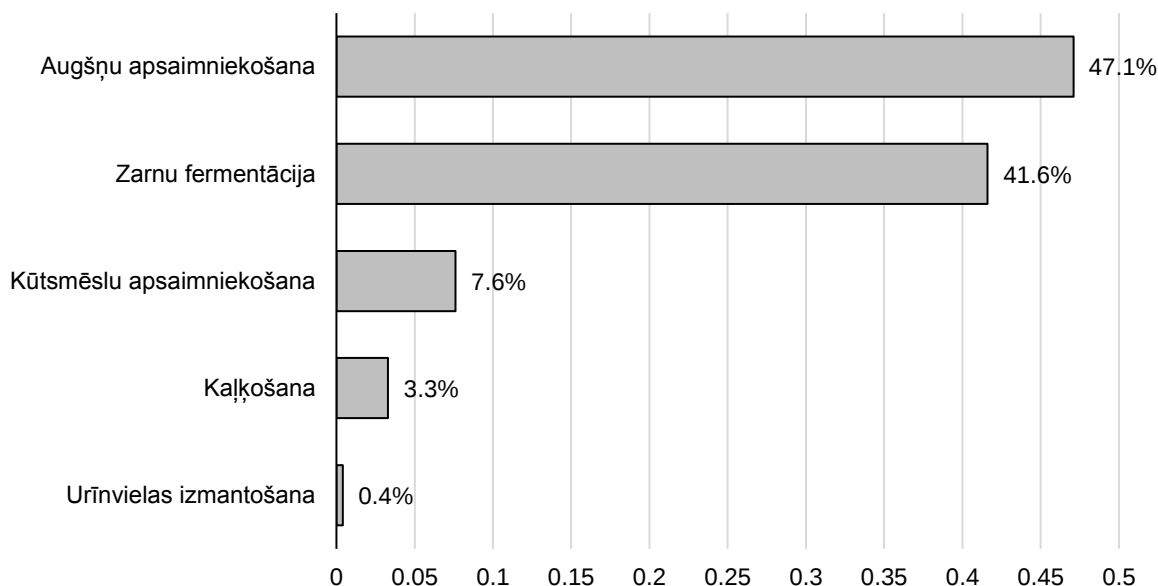
1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2023. gadā (NIR, 2025).

Lauksaimniecības sektors rada metāna (CH₄), slāpekļa (N₂O) un oglekļa dioksīda (CO₂) emisijas, to procentuālais sadalījums ir attēlots 2. att.



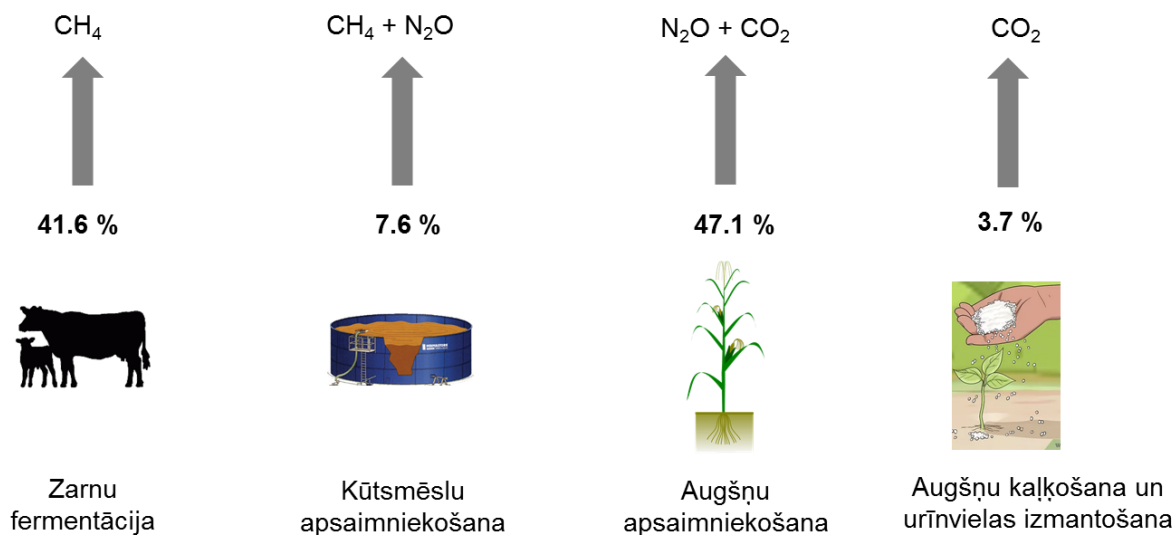
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2023. gadā (NIR, 2025).

SEG emisijas lauksaimniecības sektorā rada lauksaimniecības dzīvnieku zarnu fermentācijas procesi, kūtsmēslu apsaimniekošana, augšņu apsaimniekošana, kaļķošana un urīnvielas izmantošana (skat. 3. att.).



3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2023. gadā (NIR, 2025).

Procentuāli vislielākās emisijas lauksaimniecības sektorā rada augšņu apsaimniekošana (46.3%) un zarnu fermentācijas procesi (42.4%) (skat. 4.att.).



4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2023. gadā (NIR, 2025).

1.2. Kopsavilkums par SEG emisijām no augsnes

1. Augsnes emisiju plūsma ir atkarīga no augsnes ūdens (mitruma), augsnes temperatūras, biogēno elementu pieejamības un pH līmeņa, kā arī no zemes lietošanas veida (Oertel et al., 2016). Palielināts augsnes mitrums var palielināt mikrobu aktivitāti, izraisot lielāku organisko vielu sadalīšanās ātrumu un līdz ar to lielāku CO₂ emisiju. Piemēram, Ray et al. izpētīja, ka CO₂ emisijas palielinājās līdz ar nokrišņiem, izceļot augsnes mitruma mainīgumu telpā un laikā un tā ietekmi uz organiskā oglekļa dinamiku (Ray et al., 2020). Mikrobioloģiskie procesi ir būtiski augsnes elpošanai, jo tie veicina organisko vielu sadalīšanos un augsnes barības vielu mineralizāciju. Kotroczó et al. atzīmēja, ka mijiedarbība starp augsnes mitrumu un mikrobu aktivitāti ir izšķiroša, lai izprastu augsnes elpošanas dinamiku (Kotroczó et al., 2023).
2. CO₂ emisija no augsnes veidojas ļoti mainīgās neviendabīgās augsnēs, un to ietekmē augsnes mitrums, augsnes temperatūra, augsnes nitrātu saturs, sakņu aktivitāte, mikrobioloģiskie procesi, augu atliekas, kā arī mikroklimats, reljefs un katalītiskās īpašības māla koloīdos šķīdumos. Augsnes apstrāde ietekmē augsnes emisijas, piemēram, kaļķošana palielina CO₂ emisijas (Muñoz et al., 2010, Chalco Vera et al., 2020). Tradicionālā augsnes apstrāde, kas uzlabo augsnes aerāciju un saskari ar kultūraugu atliekām, bija saistīta ar palielinātām CO₂ emisijām salīdzinājumā ar bezapstrādes sistēmām (Bilandžija et al., 2016).
3. Augsti gruntsūdens līmeņi, sliktas augsnes drenēšanas īpašības un augsnes sablīvēšanās veicina denitrifikācijas procesu un N₂O veidošanos (Bouwman et al., 2002). N₂O emisija ir saistīta arī ar augsnes ūdens saturu un augsnes temperatūru (Chalco Vera et al., 2020). Smilšainās augsnēs ir novērojamas mazākas N₂O emisijas nekā mālainās augsnēs, jo mālainās augsnēs ir maz makroporu. Tas veicina anaerobo procesu darbību, kas palielina N₂O emisijas. Līdzvērtīgas N₂O emisijas ir novērojamas smilšainās augsnēs pie salīdzinoši liela mitruma (Signor et al., 2013). Zemes lietojumam un zemes izmantošanai ir svarīga loma N₂O emisiju pieaugumā.
4. CH₄ emisijas veidojas anaerobos apstākļos sezonāli vai pastāvīgi appludinātās augsnēs (Muñoz et al., 2010), tomēr tā ir ļoti zema un to ir sarežģīti saistīt ar kādu no augsnes īpašībām (Chalco Vera et al., 2020). Smilšainās augsnēs parasti ir zemākas CH₄ emisijas salīdzinājumā ar māla augsnēm, jo tām ir

lielāks poru izmērs, kas veicina labāku drenāžu un aerāciju. Mālainas augsnes ar mazākām porām mēdz aizturēt ūdeni un radīt labvēlīgākus apstākļus CH_4 ražošanai (Nishimura et al., 2004).

5. Organiskās augsnes var kalpot gan kā oglekļa glabātuve, gan emisiju radītājs, ņemot vērā zemes izmantošanas veidu un apsaimniekošanu (Roßkopf et al., 2015). Nosusinātas organiskās augsnes ir galvenais SEG emisiju avots (Lapveteläinen et al., 2007).
6. Mitruma režīma atjaunošana nosusinātās organiskās augsnēs noved pie samazinātas CO_2 un N_2O emisijas, samazinātiem izšķīdušā organiskā oglekļa zudumiem un palielinātas CH_4 emisijas (Wilson et al., 2016). Pēc lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas un lauku pamešanas, no organiskajām augsnēm gadu desmitiem turpina izdalīties augstas CO_2 un N_2O emisijas (Kløve et al., 2017). Lauksaimniecībā izmantoto organisko augšņu apmežošana ne vienmēr apstādina N_2O emisiju izdalīšanos lielā slāpekļa uzkrājuma dēļ. Oglekļa akumulācija meža biomasā var pārvērst apmežotās platības CO_2 krātuvē (Kløve et al., 2017). Nosusināto organisko augšņu platības, kur atjaunots ūdens režīms, var izmantot paludikultūru audzēšana un biogāzes ražošanai (Martens et al., 2021). Martens et al. (2021) arī salīdzināja niedres (*Phragmites australis*) un vilkvāļītes (*Typha latifolia*) potenciālu biometāna ražošanai un secināja, lai gan no abām kultūrām ir iespējams iegūt vienādu daudzumu biomasas un biometāna, tomēr niedrei ir augstāks globālās sasilšanas potenciāla samazinājums. Pāreja no anaerobiem uz aerobiem apstākļiem drenētās organiskās augsnēs var palielināt nitrifikācijas un denitrifikācijas ātrumu — procesus, kas ir atbildīgi par N_2O ražošanu (Rouch et al., 2023). Augsnes pH ir galvenais N_2O ražošanas kontroles faktors, jo tas regulē slāpekļa mineralizācijas, nitrifikācijas un denitrifikācijas procesus, īpaši anaerobā vidē (Zheng et al., 2020).
7. Lauksaimniecības prakses var samazināt SEG emisijas, mainot augsnes fizikālās, ķīmiskās un mikrobioloģiskās īpašības, jo SEG emisijas no augsnes ir saistītas ar vairākām augsnes īpašībām, piemēram, augsnes pH, ūdens aizpildīto poru daudzuma, augsnes struktūras un kultūraugu veidiem un klimata zonām (Chalco Vera et al., 2020; Shakoor et al., 2021). Saistība starp augsnes apsaimniekošanas praksi un SEG emisijām ir sarežģīta. Piemēram, tādas metodes kā augsnes apstrāde var būtiski ietekmēt augsnes organiskā oglekļa

(SOC) līmeni un līdz ar to arī SEG emisijas (Ma, 2023). Dažādas augsnes apstrādes metodes ietekmē augsnes ūdens noturības spēju un organiskā oglekļa uzglabāšanu, un bezaršanas prakse parasti veicina augstāku SOC līmeni salīdzinājumā ar parasto augsnes apstrādi (Ma, 2023).

8. SEG emisiju samazinošo pasākumu efektivitāti ietekmē augsnes īpašību mainība laikā un telpā, kas apgrūtina emisiju samazinošo pasākumu izmantošanas efektivitātes novērtēšanu. SEG emisiju no augsnes mainību ir sarežģīti novērtēt ar vienkāršām sakarībām starp emisiju un augsnes īpašībām, jo, piemēram, augsts augsnes slāpekļa saturs samazina CO₂ emisijas, bet vienlaikus palielina N₂O emisijas, kompensējot mazinošo efektu (Chalco Vera et al., 2020).
9. Salmu un slāpekļa minerālmēsli kombinācijas ietekme uz N₂O emisijām no augsnes nodrošina ne tikai organiskās vielas palielināšanu augsnē un augsnes auglības uzlabošanu, bet var arī paaugstināt augsnes temperatūru un veicināt augsnes skābekļa patēriņu, radot īslaicīgus labvēlīgus apstākļus denitrifikācijas procesam, kas var izraisīt palielinātu N₂O emisiju. Ir arī izpētīts, ka salmu iestrāde augsnē ar augstu C/N attiecību var stimulēt slāpekļa imobilizāciju augu atlieku sadalīšanās laikā un tādējādi novedot pie zemākas N₂O emisijas, kā arī, ja augsnē ir zems NO₃ saturs, tad salmu iestrāde augsnē samazina N₂O emisiju, bet augsts NO₃ saturs rada pretēju efektu (Tan et al., 2019; Zhang et al., 2022).
10. Augsnes mēslošana rada lielāku ražu, un mēslošana arī palielina biomasas daudzumu virszemē un augsnes slānī, tāpēc tiek palielināts oglekļa daudzums augsnē, kas ir uzskatāms par pozitīvu aspektu, bet mēslošanas līdzekļu lietošana rada arī negatīvu ietekmi, piemēram, minerālmēsli ražošanas procesā tiek izdalītas emisijas, kā arī mēslošanas līdzekļu lietošanas laikā un augsnē dažādu mikrobioloģisko procesu rezultātā rodas emisijas, bet ir jāņem vērā arī, ka to lietošana rada pozitīvu ietekmi (Struck et al., 2020). Nitrātu un citu barības vielu pieejamība ir vēl viens būtisks faktors, kas ietekmē augsnes CO₂ emisijas. Galić et al. savā pētījumā uzsvēr, ka barības vielu pārvaldības prakse, piemēram, mēslošana, var mainīt augsnes oglekļa dinamiku, ietekmējot mikrobu aktivitāti un organisko vielu sadalīšanos (Galić et al., 2019).
11. CO₂, CH₄ un N₂O emisijas no augsnes būtiski palielina putnu mēsli izmantošana, salīdzinot ar cūku un liellopu mēsliem, tāpēc ir ļoti svarīgi plānot kūtsmēsli izmantošanas veidu un normu, lai mazinātu SEG emisijas no augsnes (Shakoor et al., 2021).

12. SEG emisijas no zālājiem ne tik ļoti ietekmē konvencionālā vai vairāku aploku ganīšanas sistēmas, cik kultivēšanas vēsture, dzīvnieku blīvums ganībās, augsnes mitrums un augsnes tilpummasa. Palielinoties ganāmpulkam, CO₂ emisija pieaug, bet CH₄ uzkrāšanas potenciāls ir mazāks zālājos, kuriem ir zināms, ka tie iepriekš ir kultivēti, tāpēc, dzīvnieku skaita ierobežošana ganībās un zālāju nepārveidošana var būt efektīvi SEG emisiju samazināšanā (Ma et al., 2021).
13. Zhao et al. (2021) un Jiang et al. (2021) pētījums rāda, ka salmu pievienošana augsnes paraugiem ietekmē CO₂ un N₂O emisiju no dažādiem augsnes agregātu izmēriem. Salmu pievienošana maina pieejamo augsnes oglekļa un slāpekļa daudzumu un fermentu aktivitāti. Palielināta CO₂ emisija no augsnes parauga, kam pievienoti smalcināti rapša salmi, ir novērojama, ja augsnes agregātu izmērs ir < 25 mm, bet palielināta N₂O emisija ir novērojama, ja augsnes agregātu izmērs ir 1 – 2 mm, kas parāda, ka lauksaimniecības prakses, kas mehāniski ietekmē augsni un veicina tās sablīvēšanos, var teorētiski ietekmēt augsnes oglekļa mineralizāciju un N₂O emisiju. Iqbal et al. (2021) raksta, ka augsnes enzīmu aktivitāte ir cieši saistīta ar CO₂ emisijām un augsnes organiskā oglekļa (SOC) līmeni, norādot uz mikrobu nozīmi šo procesu mijiedarbībai.
14. Alskaf et al. (2021) un Zhao et al. (2022a) pētījums parāda būtiskas atšķirības augsnes fiziskajās īpašībās, ko ietekmē atšķirīga augsnes apstrādes un augu atlieku apsaimniekošana. Pētījumā tika secināts, ka īstermiņā, veicot bezaršanas un minimālo augsnes apstrādi, pastāv klimata pārmaiņu mazināšanas potenciāls. Bezaršanas metode pētījumā samazina CO₂ emisiju un palielina CH₄ piesaisti, kā arī bezaršana neietekmē N₂O emisiju, bet aršana to palielina. Augsnes apstrādei un augu atlieku izmantošanai ir būtiska ietekme uz augsnes fizikālajām īpašībām un SEG emisijām no augsnes. Zhao et al., (2022b) pētījumā tika izpētīts, ka augsnes apstrādes metodes būtiski ietekmē augsnes blīvumu un porainību, kas ir kritiski faktori, kas ietekmē mikrobu aktivitāti un SEG emisijas. Bezapstrādes un minimālās augsnes apstrādes prakse kopā ar efektīvu atlieku apsaimniekošanu var ievērojami samazināt SEG emisijas, vienlaikus uzlabojot augsnes veselību un produktivitāti. Saudzīgas augsnes apstrādes metodes (jeb kura minimāla augsnes apstrāde) ir būtiskas,

lai uzlabotu augsnes kvalitāti un samazinātu eroziju, tādējādi veicinot ilgtspējīgas lauksaimniecības sistēmas (Hu, 2022).

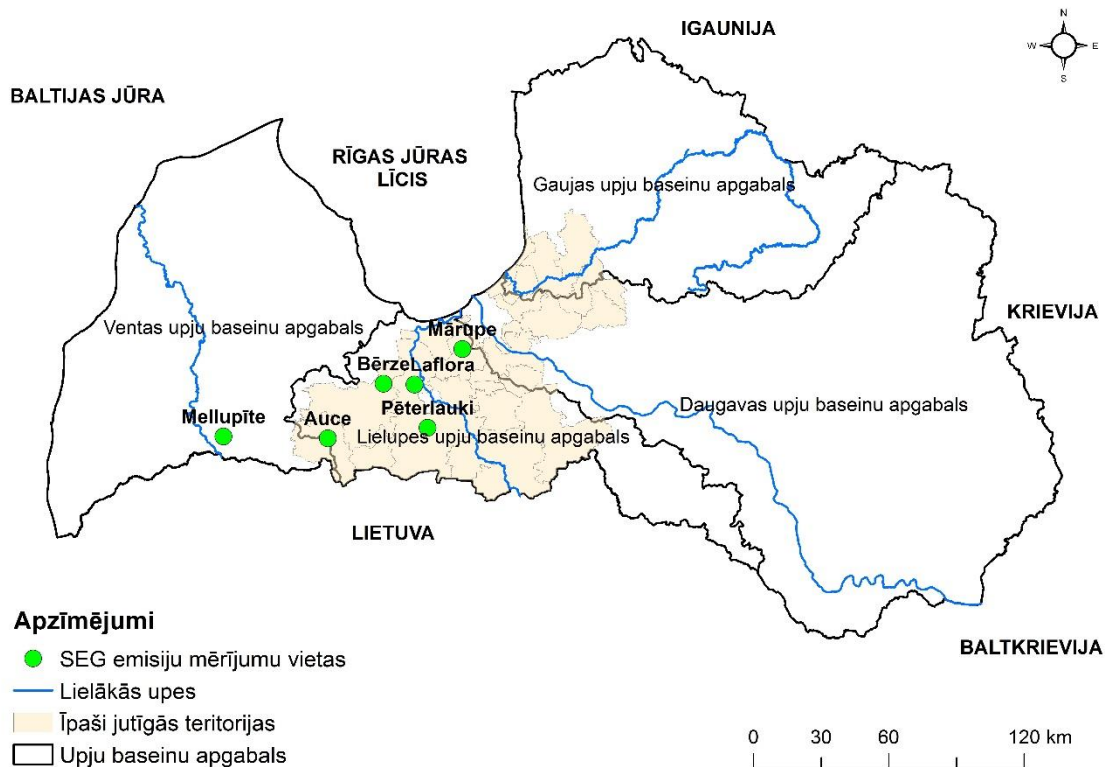
15. Maier et al. (2022) pētījums parāda, ka vasaras kultūraugi - zirņi un kukurūza – pētījuma posmā starp sēšanu un ražas novākšanas piesaistīja CO₂ un N₂O, bet CH₄ emisija bija niecīga. Tomēr ievērojamas N₂O emisijas veidojās sezonas sākumā, kad veģetācija bija neliela, bet N₂O plūsma samazinājās, palielinoties veģetācijai, lai gan augsnes ūdens saturs un temperatūra bija augsta. SEG emisiju plūsmu noteikšanā ir svarīgi iekļaut ne tikai vides un apsaimniekošanas faktorus, bet arī veģetācijas ilgumu. Ilgāki veģetācijas periodi var uzlabot augsnes oglekļa uzglabāšanu un samazināt kopējās SEG emisijas, kas saistītas ar lauksaimniecības praksi (Miao, 2023). Starpkultūru sistēmas var ievērojami samazināt SEG emisijas salīdzinājumā ar monokultūru sistēmām, veicinot ilgākus periodus, kad augsni klāj veģetācija, kā arī, uzlabojot barības vielu, apriti (Pereira et al., 2022).
16. Mēslošanas aizstāšana ar slāpekļa fiksējošo kultūraugu sējumiem un mēslojuma pielāgošana kultūraugu vajadzībām var samazināt N₂O emisijas un mazināt slāpekļa izskalošanās riskus (Feigenwinter et al., 2023). Kaduwal (2023) pētījumā secināts, ka segaugi var nodrošināt zaļmēslojuma pakalpojumus, uzlabojot slāpekļa saturu nākamajām kultūrām un, samazinot nepieciešamību pēc sintētiskā mēslojuma, šī prakse ne tikai uzlabo augsnes auglību, bet arī palīdz samazināt SEG emisijas, samazinot atkarību no slāpekļa mēslošanas līdzekļiem.
17. Nepārtraukti CO₂ un N₂O mērījumi Somijā apstiprina, ka lauksaimniecībā izmantotās nosusinātās kūdras augsnes ir nozīmīgi CO₂ un N₂O avoti. Nosusinātās kūdras augsnes rada lielas CO₂ emisijas, bet 12% no kopējām emisijām veido N₂O. Nepastāvīgākas ziemas un biežāki sasalšanas un atkuššanas gadījumi var radīt lielākas N₂O maksimālās vērtības (Gerin et al., 2023).
18. Kibet et al. savos pētījumos uzsver, ka ir svarīgi kvantitatīvi noteikt siltumnīcefekta gāzu emisijas dažādos zemes izmantošanas veidos, lai aizpildītu esošos datu trūkumus un informētu par reģionālajām oglekļa pārvaldības stratēģijām (Kibet et al., 2022).

2. MATERIĀLI UN METODES

Šīs nodaļas pirmajā apakšnodaļā ir sniegts SEG emisiju mērījumu veikšanas vietu raksturojums un 2025. gadā audzētās kultūras un augsnes mēslošanas devas un laiki. Otrajā apakšnodaļā ir aprakstītas pētījumā izmantotās iekārtas, kā arī sniegts ieskats datu transformācijas un datu analīzes metodēs.

2.1. Pētījuma vietu izvēle SEG emisiju mērījumiem un to raksturojums

2025. gada projekta īstenošanas gaitā N_2O , CH_4 , CO_2 , NH_3 , mērījumi lauka apstākļos tiek veikti trīs lauksaimniecības noteču monitoringa staciju tiešā tuvumā, kur lauksaimnieciskā darbība notiek uz minerālaugsnēm (Bērze, Mellupīte un Auce), kā arī SIA “Sabiedrība Mārupe” (turpmāk tekstā Mārupe) un SIA “Laflora” (turpmāk tekstā Laflora) apsaimniekotajās organiskajās augsnēs un MPS “Pēterlauki” Poķu stacionārā (turpmāk tekstā Pēterlauki). SEG emisiju mērījumu atrašanās vietas norādītas 5.att.



5.att. SEG emisiju mērījumu vietas.

Difūzā ūdeņu piesārņojuma un SEG emisiju novērtēšanai izveidotās monitoringa stacijas Bērze, Mellupīte un Auce atrodas attiecīgi Dobeles, Saldus un Auces novados. Pētījumu vietas Mārupe un Laflora atrodas attiecīgi Mārupes un Jelgavas novados, arī Pēterlauki atrodas Jelgavas novadā. Visas pētījumu vietas, izņemot monitoringa staciju Mellupīte, atrodas īpaši jutīgās teritorijās, kas noteiktas saskaņā ar ES Nitrātu direktīvas kritērijiem (EC, 1991).

Balstoties uz ilggadīgi veikto zemnieku saimniecību aptauju rezultātiem, iespējams secināt, ka Bērzes monitoringa stacijas sateces baseins raksturo intensīvus, savukārt Auces un Mellupītes vidēji intensīvus lauksaimnieciskās ražošanas apstākļus Latvijā. Lafloras mērījumu vietā ir ekstensīvi lauksaimnieciskās ražošanas apstākļi, bet Mārupe raksturo vidēji intensīvus lauksaimnieciskās ražošanas apstākļus uz organiskajām augsnēm.

Zemnieku saimniecību aptauju rezultāti, kuros iekļauta informācija par agronomiskajām darbībām pētījuma periodā, apkopoti 1. tab. Visās pētījuma vietās nosusināšanas sistēmu esamība tika noteikta, izmantojot VSIA „Zemkopības ministrijas nekustamie īpašumi” (ZMNI) meliorācijas digitālā kadastra informāciju par lauksaimniecības zemju nosusināšanas sistēmām, nosusināšanas sistēmu funkcionalitāte tika novērtēta, balstoties uz vizuālajiem novērojumiem dabā un konsultējoties ar lauksaimniecības zemju tiešajiem apsaimniekotājiem.

1. tab. Agronomiskās darbības pētījuma teritorijās.

Agronomiskā darbība	Bērze	Mellupīte	Auce	Mārupe	Laflora
Augsnes apstrāde	NA	NA	NA	NA	NA
Sēja	NA	NA	NA	NA	NA
Kultūraugs	Ziemas rapsis	Ziemas kvieši	Ziemas rapsis	Kukurūza	Krūmmellenes
Ražas novākšana	NA	NA	NA	NA	NA
Augsnes apstrāde	NA	NA	NA	NA	NA
Sēja	NA	NA	NA	NA	NA
Kultūraugs	NA	NA	NA	NA	NA

NA – informācija nav pieejama.

2.1.1. Bērzes monitoringa stacija

Bērzes monitoringa stacija atrodas Latvijas centrālajā daļā, Viduslatvijas zemienes Zemgales līdzenumā. Reljefs šajā teritorijā ir līdzens, augstums virs jūras

līmeņa variē no 17 m līdz 23 m. Lauksaimniecības zeme ir drenēta 1964. gadā, drenu iebūves dziļums 1.1 m, drenu attālums 18 – 32 m. Mazā sateces baseina līmenī drenēti 98% no baseina kopējās platības, drenu lauka līmenī 100%. Bērzes monitoringa stacijas drenu lauka karte, t.sk., ortofoto, drenas un kolektori, kā arī ūdens paraugu ievākšanas un SEG emisiju mērījumu vietas dotas 6. att.

6. att., 7. att., 8. att., 9. att. un 10. att. veidošanā izmantota valsts aģentūras „Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras” (LĢIA) ģeotelpiskā informācija, valsts SIA „Zemkopības ministrijas nekustamie īpašumi” (ZMNI) meliorācijas digitālā kadastra informācija par lauksaimniecības zemju nosusināšanas sistēmām un Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūta lauksaimniecības noteču monitoringa ģeotelpiskās informācijas datubāze.

Sateces baseina augsnes ir veidojušās uz kvartāra morēnas nogulumiem, kurus pārklāj glaciolimniskie smilšmāla, putekļaina smilšmāla un māla nogulumi. 2005. gadā tika veikta padziļināta ģeoloģijas izpēte, veicot urbumus. Sīkāku informāciju par urbuma slāņa dziļumiem un biezumiem skatīt 2. tab.

2. tab. Bērzes monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.

Slāņa dziļums, cm	Smilts S, %	Putekļi P, %	Māls M, %	Slāņa nosaukums	Slāņa filtr.koef.	Slāņa biezums %	Urbuma filtr.koef.
0-25	-	72	28	putekļains smilšmāls	0.74	6.02	0.77
25-75	-	52	48	smags putekļu māls	0.56	12.05	
75-170	-	57	43	smags putekļu māls	0.60	22.89	
170-340	-	86	14	putekļains smilšmāls	0.87	40.96	
340-415	-	87	13	putekļains smilšmāls	0.88	18.07	

Šajā reģionā dominējošās velēnu karbonātaugsnes uz karbonātiskiem cilmiežiem ir dabīgi auglīgas un lauksaimniecības aktivitātēm piemērotas augsnes (Nikodemus et al., 2009). Saskaņā ar starptautiski izmantoto Apvienoto Nāciju Organizācijas (ANO) Pārtikas un lauksaimniecības organizācijas (FAO) augšņu klasifikācijas sistēmu Bērzes monitoringa stacijas apkaimē sastopama *Calcic Cambisol* augšņu grupa. Augsnes reakcija (pH) šajā pētījumu vietā ir 7.5 – 7.9.



6. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Bērzes monitoringa stacijā.

Ūdeņu kvalitātes un SEG emisiju novērtēšanas kontekstā nozīmīga ir informācija par pētījuma periodā pielietotajiem mēslošanas līdzekļu veidiem, iestrādātajiem augu barības elementu daudzumiem un mēslošanas līdzekļu izkliedes laika grafiku. Bērzes monitoringa stacijas drenu laukā iestrādātais slāpekļa daudzums, kas izkliedēts vairākās mēslošanas devās, norādīts 3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums tika izteikts tīrvielā, ņemot vērā izkliedēto minerālmēslojumu un slāpekļa tīrvielas saturu minerālmēslā.

3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Bērzes monitoringa stacijas drenu laukā

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpekļis tīrvielā
	dd.mm.yyyy	kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	NA	NA

Bērzes monitoringa stacija atrodas īpaši jutīgās teritorijās, kas noteiktas saskaņā ar ES Nitrātu direktīvas kritērijiem. Uz šīm teritorijām attiecas paaugstinātas prasības ūdens un augsnes aizsardzībai no lauksaimnieciskās

darbības izraisīta piesārņojuma ar nitrātiem, tai skaitā, maksimāli pieļaujamās minerālmēslu slāpekļa izkliedes normas (kg ha⁻¹) kultūraugiem.

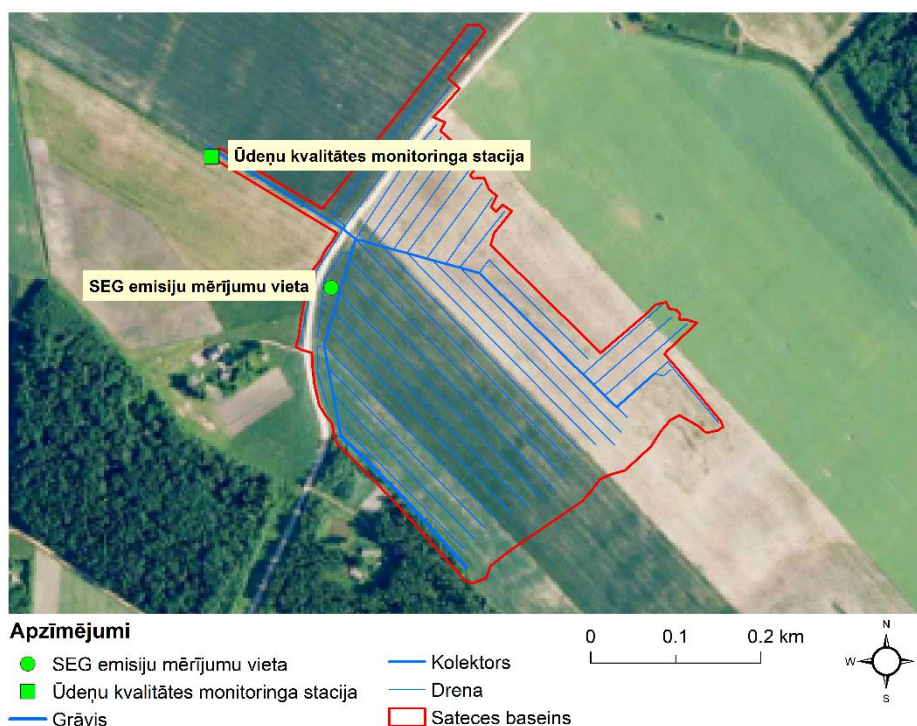
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija

Mellupītes monitoringa stacija atrodas valsts rietumu daļā, Viduslatvijas zemienes Vadakstes līdzenumā. Baseinā dominējošā ir velēnu podzolētā (pēc FAO - Stagnic Luvisol) augsne, kuras pH ir 6.7 – 7.0. Drenu lauka izpētes līmenī granulometriskais sastāvs ir mainīgs dažādos augsnes horizontos, no smilšmāla līdz vieglam putekļu mālam, mazajā sateces baseinā dominējošie ir smilšmāla nogulumi. 2005. gadā tika veikta padziļināta ģeoloģijas izpēte monitoringa stacijas tiešā tuvumā. Sīkāku informāciju par urbuma slāņa dziļumiem un biezumiem skatīt 4. tab.

4. tab. Mellupītes monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.

Slāņa dziļums, cm	Smilts S, %	Putekļi P, %	Māls M, %	Slāņa nosaukums	Slāņa filtr.koef.	Slāņa biezums %	Urbuma filtr.koef.
0-45	59.9	28.4	12.2	smaga māsmilts	12.27	11.54	5.61
45-65	66.9	28.8	4.3	smaga māsmilts	13.67	5.13	
65-110	-	82	18	putekļains smilšmāls	0.83	11.54	
110-190	71.1	27.1	1.7	māsmilts	14.49	20.51	
190-390	-	82	18	putekļains smilšmāls	0.83	51.28	

Drenu lauka ūdeņu kvalitātes monitoringa stacija, SEG emisiju mērījumu vieta un nosusināšanas sistēmas redzamas 7. att.



7. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Mellupītes monitoringa stacijā.

Lauksaimniecisko darbību Mellupītes monitoringa stacijā var raksturot kā vidēji intensīvu, par to liecina ilggadīgie zemnieku saimniecību aptauju rezultāti. Pētījuma periodā iestrādātais slāpekļa daudzums tīrvielā ir apkopots 5. tab.

5. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpeklis tīrvielā
	dd.mm.yyyy	kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	NA	NA

2.1.3. Auces monitoringa stacija

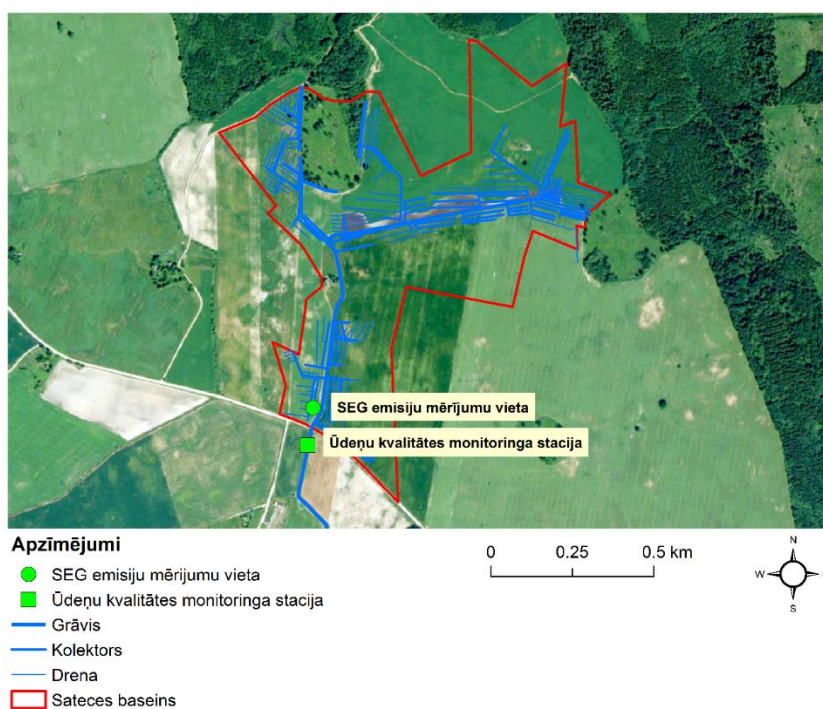
Ūdeņu kvalitātes monitoringa pirmsākumos, sākot no 1995. gada, Auces monitoringa stacijā tika pētīta tuvumā esošās fermas ietekme uz augu barības vielu zudumiem no lauksaimniecībā izmantotajām teritorijām, kurās palielinātos apjomos tika izkliedēts organiskais mēslojums, galvenokārt šķīdzmēslu formā. Sākot no 2014. gada, ūdeņu kvalitātes monitoringa sistēmā tika iekļauts arī telpiski izkliedētā ūdeņu piesārņojuma monitorings lauksaimniecības platībās, kurās tika izmantots gan organiskais, gan minerālais mēslojums. Pēc pasaules augšņu klasifikatora,

pētījuma teritorijā dominējošās ir *Gleyic Cambisol* augsnes. 2005. gadā tika veikta padziļināta ģeoloģijas izpēte monitoringa stacijas tiešā tuvumā. Sīkāku informāciju par urbuma slāņa dziļumiem un biezumiem skatīt 6. tab.

6. tab. Auces monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.

Slāņa dziļums, cm	Smilts S, %	Putekļi P, %	Māls M, %	Slāņa nosaukums	Slāņa filtr.koef.	Slāņa biezums %	Urbuma filtr.koef.
0-30	79.1	20.3	0.6	mālsmilts	16.02	15.00	5.90
30-50	78.5	20.6	0.9	mālsmilts	15.91	10.00	
50-65	83	14.6	2.2	mālsmilts	16.75	7.50	
65-110	-	96	4	putekļi	0.96	22.50	
110-200	-	97	3	putekļi	0.97	45.00	

Ūdeņu kvalitātes monitoringa stacija un SEG emisiju mērījumu vietas norādītas 8. att.



8. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Auces monitoringa stacijā.

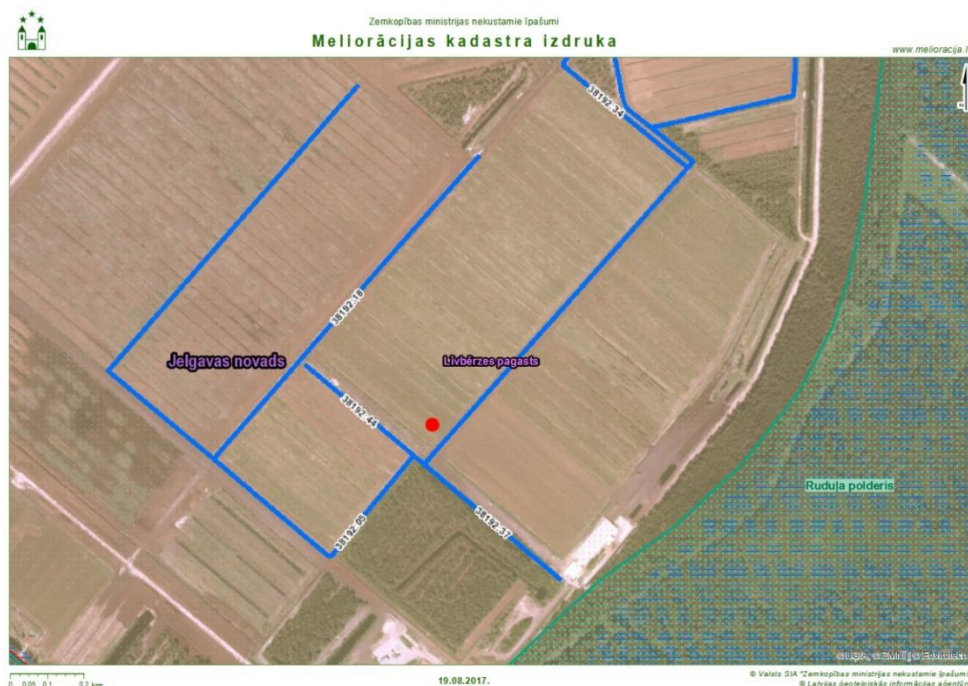
Auces monitoringa stacijas sateces baseina teritorijā iestrādātais slāpekļa daudzums tīrvielā ir apkopots 7. tab.

7. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Auces monitoringa stacijas sateces baseinā

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpekļis tīrvietā
	dd.mm.yyyy	kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	NA	NA

2.1.4. Lafloras pētījumu vieta

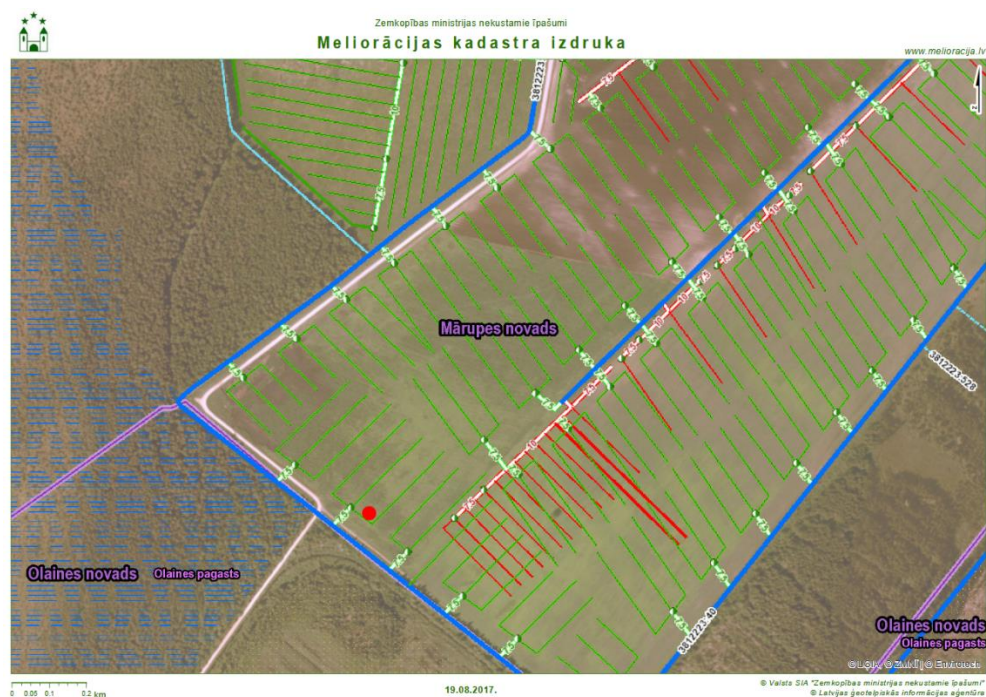
Lafloras pētījumu vieta atrodas Kaigu kūdras purvā, kurā rūpnieciski tiek iegūta un ražota kūdras produkcija. SEG emisiju mērījumu vietā tiek audzētas krūmmellenes, teritorija ir meliorēta, izmantojot plašu grāvju sistēmu, regulāri tiek veikti nokaltušo zaru un zāles plaušana. Nav pieejama informācija par mēslojuma izmantošanu šajā pētījuma vietā. Lafloras pētījumu vieta un tai raksturīgie melioratīvie pasākumi norādīti 9. att.



9. att. SEG emisiju mērījumu vieta Lafloras pētījumu vietā.

2.1.5. Mārupes pētījumu vieta

Mārupes pētījumu vietā no 2018. gada ir audzēta kukurūza, izņemot 2023. gadu, kad ir bijuši rudzi un 2024. gadu, kad ir bijusi atmata. Nav pieejama informācija par izmantotajiem augu aizsardzības līdzekļiem un mēslojuma veidu. Mārupes pētījuma vieta attēlota 10. att.



10. att. SEG emisiju mērijumu vieta Mārupes pētījumu vietā.

2.1.6. Pēterlauku pētījumu vieta

2025. gadā SEG emisiju mērijumi tika turpināti arī Pēterlauku Poļu stacionāra izmēģinājuma lauciņos, kur lauksaimnieciskā darbība notiek uz minerālaugsnēm. SEG emisiju mērijumu atrašanās vieta norādīta 11. att. un stacionāra augu seka ir aprakstīta 11. tab.

SEG emisiju mērijumi tika veikti ziemas rapša, pupu un ziemas kviešu izmēģinājumu lauciņos, kur lauciņu augsne tiek apstrādāta ar aršanas un diskošanas metodēm.



11. att. SEG emisiju mērījumu vieta Pēterlauku pētījumu vietā.

Pēterlauku izmēģinājuma lauciņos izmantotās agronomiskās darbības ir aprakstītas 8.tab., 9.tab., 10.tab.

8.tab. Agronomiskās darbības vasaras rapša lauciņos

Ziemas rapsis, 2024/2025		
Priekšaugš	Vasaras kvieši	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Artajā variantā
	Aršana 29.08.2024. Aruma šļūkšana - 17.09.2024. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 07.04.2025.	Aršana 29.08.2024. Aruma šļūkšana - 17.09.2024. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 07.04.2025.
Pamatmēslojums	NPK 10-13-25 (250 kg ha ⁻¹)	
Sēkla	INVIGOR 305 PS	
Izsējas norma	60 dīgtsp.s.m ²	
Sējas laiks	09.05.2025. Lobītajā variantā atkārtoti pārsēja 18.06.2025.	
Papildmēslojums	Meg AN 33.5% (200 kg ha ⁻¹) 18.06.2025.	
Smidzinājumi	Glyphomax 480 (3.00 L ha ⁻¹) 11.09.2024. Targa Super (1.25 L ha ⁻¹) 04.06.2025.	
Ražas novākšana	22.10.2025.	

9.tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu lauciņos

Vasaras kvieši, 2024/2025	
Priekšaugš	Pupas, vasaras kvieši
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas

Vasaras kvieši, 2024/2025		
	Artajā variantā	Artajā variantā
	Aršana 29.08.2024. Aruma šļūkšana - 17.09.2024. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 24.09.2024.	Aršana 29.08.2024. Aruma šļūkšana - 17.09.2024. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 24.09.2024.
Pamatmēslojums	NPK 10-13-25 300 kg ha ⁻¹ (01.10.2024.)	
Sēkla	Zeppelin	
Izsējas norma	550 dīgtsp.s.m ²	
Sējas laiks	26.09.2024.	
Papildmēslojums	Amonija nitrāts N34.4% (220 kg ha ⁻¹) 26.03.2025. Amonija sulfāts N21-S24 (250 kg ha ⁻¹) 13.05.2025. Meg AN 33.5% (200 kg ha ⁻¹) 18.06.2025.	
Smidzinājumi	Glyphomax 480 (3 L ha ⁻¹) 11.09.2024 Calibre (30 g ha ⁻¹) + Dash (0.5 L ha ⁻¹) + Medax Max (0.53 kg ha ⁻¹) + MCPA (0.7 L ha ⁻¹) + Curbatur (0.4 L ha ⁻¹) + Priaxor (0.4 L ha ⁻¹) 28.04.2025. Quelex (0.05 kg ha ⁻¹) + Glutenum (0.2 L ha ⁻¹) + Zelts graudiem (2 L ha ⁻¹) 30.05.2025.	
Ražas novākšana	15.08.2025.	

10.tab. Agronomiskās darbības vasaras miežu lauciņos

Pupas, 2024/2025		
Priekšaugš	Ziemas rapsis	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Artajā variantā
	Aršana 29.08.2024. Aruma šļūkšana - 17.09.2024. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 07.04.2025.	Aršana 29.08.2024. Aruma šļūkšana - 17.09.2024. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 07.04.2025.
Pamatmēslojums	NPK 10-13-25 250 kg ha ⁻¹ (11.04.2025.)	
Sēkla	Pilote	
Izsējas norma	450 dīgtsp.s.m ²	
Sējas laiks	16.04.2025.	
Papildmēslojums	Meg AN 33.5% (200 kg ha ⁻¹) 18.06.2025. Amonija sulfāts N21-S24 (250 kg ha ⁻¹) 08.07.2025.	
Smidzinājumi	Glyphomax 480 (3 L ha ⁻¹) 11.09.2024 MCPA (1.3 L ha ⁻¹) + Biatlon (0.05 kg ha ⁻¹) + Glutenum (100 ml ha ⁻¹) + Zelts graudiem (1 L ha ⁻¹) 03.06.2025.	
Ražas novākšana	15.08.2025.	

11. tab. Izmēģinājumu shēma 2009 - 2026. g.

Gads	1. sleja Diskots	2. sleja Arts	3. sleja Arts	4. sleja Diskots
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. rapsis	V. rapsis	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	V. rapsis	V. rapsis
2013	V. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2014	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2015	V. rapsis	V. rapsis	V. mieži	V. mieži
2016	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas

Gads	1. sleja Diskots	2. sleja Arts	3. sleja Arts	4. sleja Diskots
2017	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2018	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	V. mieži	V. mieži
2020	Z. rapsis	Z. rapsis	Pupas	Pupas
2021	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2022	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2023	V.rapsis	Z. rapsis	V. mieži	V. mieži
2024	V. kvieši	V. kvieši	Pupas	Pupas
2025	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2026	Zirņi	Zirņi	Z. rapsis	Z. rapsis
	17.	18.	19.	20.
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	V. rapsis	V. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. mieži	V. mieži	V. mieži	V. mieži
2012	V. rapsis	V. rapsis	Z. mieži	Z. mieži
2013	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2014	Pupas	Pupas	V. kvieši	V. kvieši
2015	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2016	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2017	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2018	Pupas	Pupas	V. mieži	V. mieži
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2020	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2021	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2022	Pupas	Pupas	V. mieži	V. mieži
2023	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2024	Z. rapsis	Z. rapsis	V. kvieši	V. kvieši
2025	V. mieži	V. mieži	V.rapsis	V.rapsis
2026	Zirņi	Zirņi	V. mieži	V. mieži
	21.	22.	23.	24.

2.2. Mērījumu veikšana ar Picarro

Iekārta Picarro G2508 ļauj mērījumus veikt lauka apstākļos, ņemot gaisa paraugu tieši no kameras, ar vienas sekundes intervālu starp mērījumiem, kas dod 400 mērījumu punktu vienai kamerai. Katrā pētījuma vietā tika veikti mērījumi četros atkārtojumos.

2.2.1. Iekārtas un aprīkojums

Lauksaimniecības augšņu emitēto gāzu mērījumi tiek veikti izmantojot mobilo spektrofotometru Picarro G2508 (skat. 12. att.), kas ļauj vienlaikus veikt piecu gāzu mērījumus N_2O , CH_4 , CO_2 , NH_3 , un H_2O ar vienas sekundes vidējo intervālu. Sīkāk par iekārtas tehniskajiem parametriem un tās izmantošanas iespējām ir aprakstīts Fleck et al., (2013) pētījumā. Gāzu mērījumus veic izmantojot necaurspīdīgas kameras, kuru pamatnes diametrs ir 23 cm un kameras tilpums 3 litri (skat. 13. att.). Pamatne ir veidota no metāla, un tās apakšējā mala ir noasināta, lai to būtu vieglāk ievietot augsnē. Uz pamatnes novieto necaurspīdīgu kupolu. Lai nodrošinātu blīvu saslēgumu starp pamatni un kupolu, starp tiem ir rūpnieciski uzstādīta blīvgumija. Kameras savienojums ar iekārtu Picarro G2508 izveidots, izmantojot rūpnieciski ražotus nerūsējošā tērauda savienojumus, kas savienots ar 9 metrus garu teflona caurulīti, kuras iekšējais diametrs ir 1/16 collas un ārējais diametrs 1/8 collas, savukārt savienojums ar kameru veidots, izmantojot ātro savienojumu, kas izolēts ar gumijas blīvi.



12. att. Picarro G2508 (autors: K.Bīlande).



13. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).

Pirms augsnes gāzu emisiju mērījumiem veikti augsnes mitruma mērījumi, izmantojot mitruma mērītāju gruntīm Lutron PMS-714 Soil Moisture Meter, kas veic augsnes mitruma mērījumus augsnes virsējā slānī (skat. 14. att.). Augsnes mitruma dati tiek saglabāti datu nolasīšanas iekārtā un ierakstīti datu lapās. Augsnes temperatūras mērījumi arī tika veikti augsnes virsējā slānī, izmantojot Digital temperature meter Testo 922.

Gaisa temperatūras un gaisa spiediena mērījumus kamerā veic, izmantojot barometriskā spiediena mērītājus Diver DI 500, Eijkelkamp (skat. 15. att.), kur mērītājs ir novietots kamerā tieši pirms kupola nostiprināšanas.



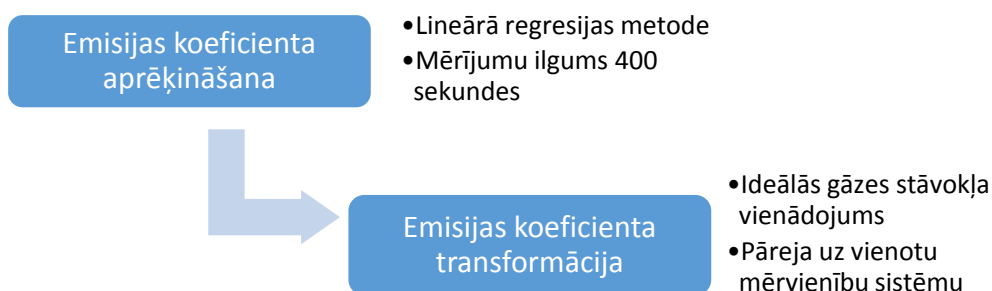
14. att. Augsnes mitruma mērītājs un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).



15. att. Diver barometriskā spiediena mērītājs, datu nolasīšanas iekārta un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).

2.2.2. Datu analīzes metodes

Lai iekārtas Picarro G2508 koncentrācijas mērījumus transformētu siltumnīcas efekta gāzu emisijās no hektāra, aprēķinām ir izmantots vairāku pakāpju algoritms (skat. 16. att.).



16. att. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematisks attēlojums.

2.2.2.1. Emisiju koeficienta aprēķins

Siltumnīcas efekta gāzu emisiju raksturo koncentrācijas izmaiņas ātrums un virziens izolētā kamerā. Emisiju koeficienta aprēķina pamatā ir lineārā regresija (skat. 1. formulu), izmantojot mazāko kvadrātu metodi, kur emisiju apjomu raksturo regresijas koeficients (skat. 2. formulu), savukārt brīvais loceklis (skat. 3. formulu) raksturo mērījumu sākuma koncentrāciju. Precizitāti raksturo determinācijas koeficients R^2 (skat. 4. formulu). Lineārās regresijas aprēķinam tika izmantotas 400 sekundes.

$$y = mx + b, \text{ kur} \quad (1)$$

y – koncentrācija ppm/s;
x – laiks sekundēs;
m – regresijas koeficients;
b – brīvais loceklis.

$$m = \frac{n \sum(xy) - \sum x \sum y}{n \sum(x^2) - (\sum x)^2}, \text{ kur} \quad (2)$$

m – regresijas koeficients;
y – koncentrācija ppm/s;
x – laiks sekundēs;
n – mērījumu skaits.

$$b = \frac{\sum y - m \sum x}{n}, \text{ kur} \quad (3)$$

b – brīvais loceklis;
y – koncentrācija;
x – laiks sekundēs;
m – regresijas koeficients;
n – mērījumu skaits.

$$R^2 = \left(\frac{n \sum(xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum(x^2) - (\sum x)^2] [n \sum(y^2) - (\sum y)^2]}} \right)^2, \text{ kur} \quad (4)$$

R^2 – determinācijas koeficients

y – koncentrācija
x – laiks sekundēs
n – mērījumu skaits

2.2.2.2. Emisijas koeficienta transformācijas

Emisiju koeficienta pārrēķinam uz koncentrāciju diennaktī no hektāra ir izmantots ideālās gāzes stāvokļa vienādojums (skatīt 5. formulu).

$$F = p \cdot \frac{V}{A} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta T} \cdot \frac{273}{T + 273}, \text{ kur} \quad (5)$$

F – emisijas apjoms no augsnes (g/ha/dnn);
p – gāzes blīvums mg/m³;

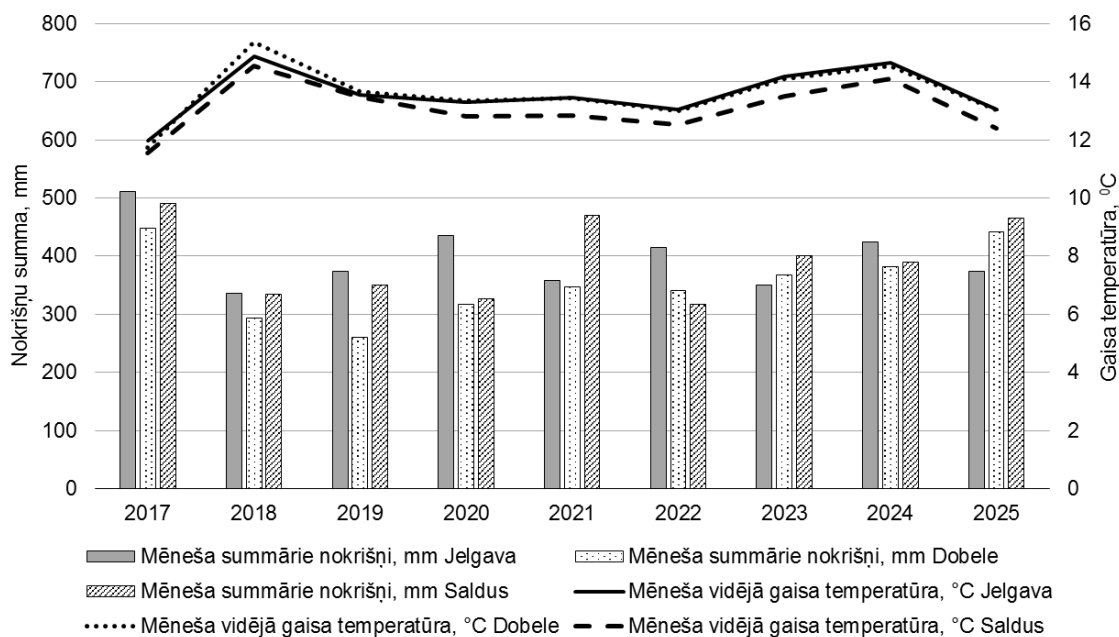
V – kameras tilpums m³;
A – kameras laukums m²;
 $\Delta c/\Delta T$ – vidējā koncentrācijas izmaiņa laikā ppm/s;
T – kameras temperatūra °C.

Veicot transformācijas, ir ļoti būtiski saglabāt vienotu mērvienību sistēmu. Picarro G2508 mēra gāzu molārās koncentrācijas, tādēļ jāveic pāreja no molārās koncentrācijas uz masas koncentrāciju.

2.2.3. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

SEG emisiju mērījumi tiek veikti veģetācijas periodā no aprīļa līdz oktobrim. Vidējā gaisa temperatūra un summārie nokrišņi meteoroloģiskajām stacijām Jelgava, Dobeles un Saldus pētījuma periodā no 2017. gada līdz 2025. gadam apkopoti 17. att.

Vidējās gaisa temperatūras visaugstākās ir novērotas 2018. un 2024. gados (14.9 un 14.4 °C), bet viszemākās 2017. un 2020. gados (11.8 un 13.1 °C). Nokrišņu apjoms vislielākais ir novērots 2017. un 2025. gados (1451 un 1280 mm), bet viszemākais 2018. un 2019. gados (964 un 985 mm).



17. att. Mēneša vidējās gaisa temperatūras un mēneša nokrišņu summa mērījumu veikšanas vietu tuvākajās LVĢMC novērojumu stacijās veģetācijas periodos no 2017. līdz 2025. gadam (LVĢMC, 2025).

3. REZULTĀTI

Pētījuma rezultāti ir sastrukturēti trīs apakšnodaļās, kur pirmajā apakšnodaļā analizēti SEG un amonjaka mērījumu rezultāti Auces, Bērzes, Mellupītes, Lafloras un Mārupes pētījumu vietās 2025. gadā, kā arī sniegts pētījuma perioda no 2017. līdz 2025. gadam gāzu emisiju salīdzinājums katrai pētījumu vietai. Otrajā apakšnodaļā ir analizēta organiskās vielas satura ietekme uz gāzu emisijām, kur Auces, Bērzes un Mellupītes pētījumu vietas raksturo minerālaugsni, savukārt Lafloras un Mārupes pētījumu vietas – organisko augsni. Trešajā apakšnodaļā ir sniegta Pēterlauku Poķu stacionārā veikto mērījumu rezultāti, kur analizēta augsnes apstrādes un kultūras ietekme uz gāzu emisijām no augsnes.

Auces, Bērzes, Mellupītes, Lafloras un Mārupes Mērījumu vietās 2025. gadā ir veiktas 8 mērījumu kampaņas, bet Pēterlaukos 6. Katrā mērījumu vietā tika veikti N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 mērījumi 3 atkārtojumos, un paralēli tika veikti augsnes mitruma un augsnes temperatūras mērījumi. Kopā visās pētījumu vietās ir veikti 255 mērījumi, kuros noteiktas N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 koncentrācijas, no kurām aprēķinātas emisijas gramos vai kilogramos no hektāra diennaktī.

SEG emisiju no augsnēm vērtības neatbilst normālam sadalījumam, tāpēc sakarību identificēšanai ir izmantotas neparametriskās datu analīzes metodes, piemēram, Kruskal-Wallis tests, Mann Whitney U tests un Kendala korelācijas koeficients (Chen, Popovich, 2002; Coffman et al., 2008).

3.1. SEG un amonjaka emisiju no augsnes rezultāti Auces, Bērzes, Mellupītes, Lafloras un Mārupes pētījumu vietās

Lai noteiktu, vai emisiju novērojumi būtiski atšķiras starp novērojumu vietām un gadiem, ir izmantots neparametriskais Kruskal-Wallis tests, savukārt pāru salīdzinājumiem ir pielietots Dunn post hoc teksts ($p < 0.05$).

Datu apstrādē ir izmantoti 116 2025. gadā veikto mērījumu rezultāti no Auces, Mellupītes, Lafloras, Mārupes un Bērzes mērījumu vietām. Četri mērījumi netika iekļauti datu apstrādē, jo tie būtiski atšķīrās no pārējiem veiktajiem mērījumu atkārtojumiem tajā pašā dienā un mērījumu vietā, un atšķirību iemesls nav nosakāms, tāpēc visticamāk, ka šis mērījums ir uzskatāms par kļūdainu. Aprakstošās statistikas rādītāji, kas attēloti 12.tab., parāda 2025. gadā veiktos

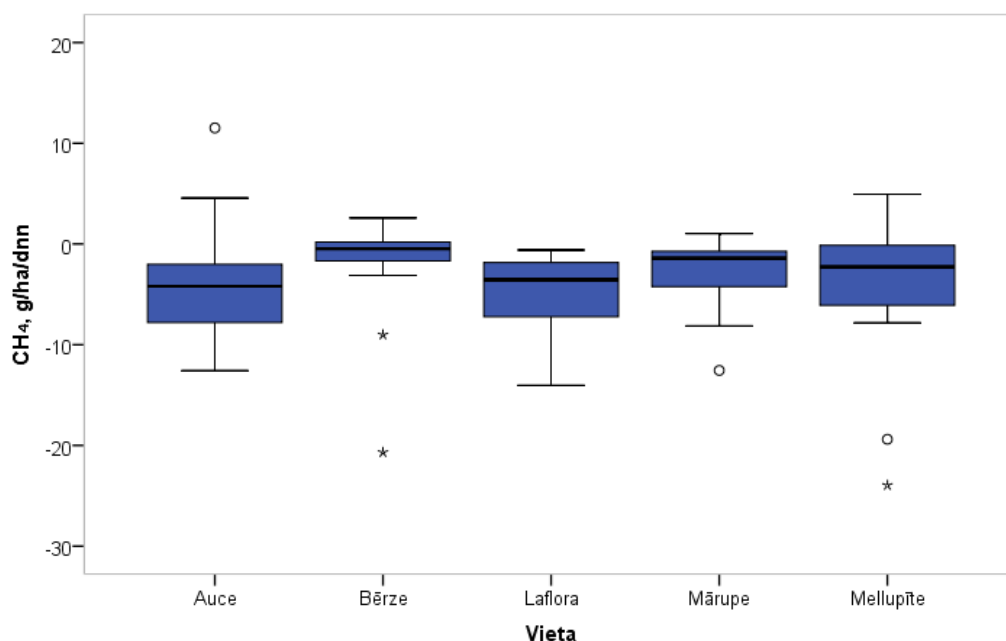
validētos mērījumus Auces, Bēzres, Mellupītes, Lafloras un Mārupes mērījumu vietās. Vislielākā emisijas no augsnes svārstību amplitūda 2024. gadā tika novērota N₂O no -19.39 līdz 638.47 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹ un CO₂ no 0.76 līdz 371.14 kg CO₂ ha⁻¹ dnn⁻¹.

12.tab. N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji 2025. gadā.

Variables		CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
N	Valid	116	116	116	116
	Missing	0	0	0	0
Mean		-3.56	27.96	116.70	4.04
Std. Error of Mean		0.46	7.68	6.85	3.42
Median		-2.23	2.28	107.84	-0.02
Std. Deviation		5.01	82.74	73.76	36.81
Variance		25.06	6845.98	5439.86	1354.62
Minimum		-23.96	-19.39	0.76	-2.05
Maximum		11.52	638.47	371.14	395.48
Percentiles	25	-6,15	-0.37	62.86	-0.21
	50	-2,28	2.28	107.84	0,02
	75	-0,51	9.37	146.69	0.77

3.1.1. Metāna emisiju no augsnes mērījumu rezultāti

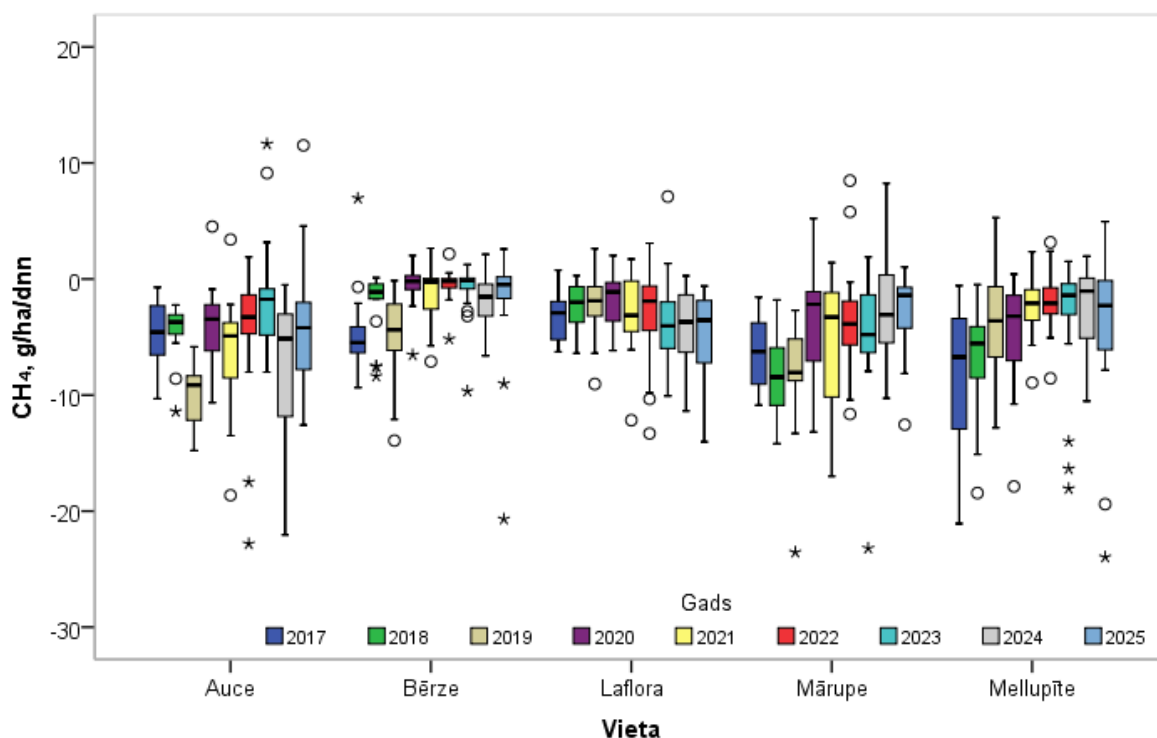
Vislielākā CH₄ emisiju no augsnes izkliede ir novērojama Auces, Lafloras un Mellupītes mērījumu vietās, bet vidēji vislielākā CH₄ asimilācija augsnē ir fiksēta Lafloras mērījumu vietā (-5.11 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹), kas nozīmē, ka Lafloras mērījuma vietā 2025. gada veģetācijas periodā dominējoši ir aerobi apstākļi, kas veicina CH₄ piesaisti no gaisa (18.att.). Bēzres mērījumu vietā ir novērota vidēji vismazākā CH₄ asimilācija (-1.65 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹), kas ir pat divas un trīs reizes mazāka nekā pārējās monitoringa vietās, kas nozīmē, ka Bēzres mērījuma vietā skābekļa saturs augsnē ir mazāks, salīdzinot ar pārējām vietām. CH₄ vidējā vērtība 2025. gadā statistiski būtiski atšķiras starp viszemāko Bēzres un visaugstāko Lafloras novēroto vidējo vērtību (p=0.001).



18.att. CH₄ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2025. gadā.

Salīdzinot CH₄ emisiju no augsnes pa gadiem visās mērījumu veikšanas vietās, varam secināt, ka CH₄ emisija no augsnes visstabilākā ir Lafloras mērījumu vietā, savukārt Mārupē un Mellupītē ir vērojama tendence, ka CH₄ asimilācija no augsnes samazinās un pēdējos gados ir novērojams, ka emisijas izkliede palielinās (19. att.). Laflorai ir raksturīgs ekstensīvs saimniekošanas veids, kur ilggadīgs zemes lietojuma veids, krūmmelleņu audzēšana, ir nodrošinājis stabilus mikrobioloģiskos apstākļus augsnē, un arī 2025. gada mērījumu rezultātos ir vērojama stabila CH₄ asimilācija augsnē. Auces un Bērzes mērījumu vietās CH₄ asimilācija ir ļoti mainīga pa gadiem. Visās mērījumu vietās 2025. gadā ir vērojama līdzīga izkliede, kāda tā tikusi novērota 2024.gadā.

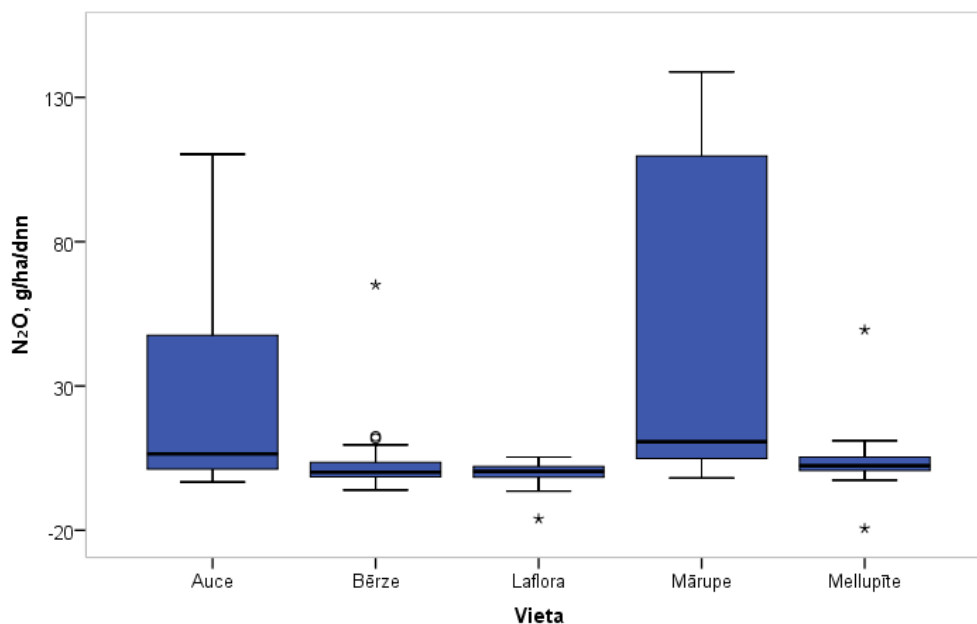
CH₄ emisijas no augsnes statistiski nozīmīgas atšķirības nav starp Mārupi un Auci, un Mellupīti un Lafloru, starp pārējām mērījumu vietām atšķirības ir būtiskas ($p < 0.05$). CH₄ emisijai no augsnes ir novērojamas vislielākās atšķirības starp gadiem: 2019. un 2020., 2021., 2022., 2023., 2024., 2025., starp 2017. un 2020., 2021., 2022., 2023., 2024., 2025. un starp 2018. un 2020., 2022., 2023 ($p < 0.05$), kas nozīmē, ka kopš mērījumu sākšanas, CH₄ asimilācijai augsnē ir tendence samazināties mērījumu vietās, izņemot Lafloras mērījumu vietu, kur CH₄ asimilācija augsnē palielinās.



19. att. CH₄ emisiju no augsnes novērojumi pētījumu vietās 2017.-2025. gadam.

3.1.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti

Izvērtējot N₂O emisiju no augsnēm vērtību izkliedi mērījumu vietās, var secināt, ka Auces un Mārupes mērījuma vietās emisijas no augsnēm ir ar visizteiktāko svārstību amplitūdu (skat. 20.att.). Vidējā N₂O emisijas no augsnes vērtība 2025. gadā visaugstākā ir bijusi Mārupē (71.56 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹), bet viszemākā Laflorā (-0.43 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹), kas parāda to, ka ekstensīvi saimniekošanas apstākļi var mazināt N₂O emisiju no organiskās augsnes un pat radīt organisko augsni par N₂O emisiju absorbētāju pie noteiktiem apstākļiem.

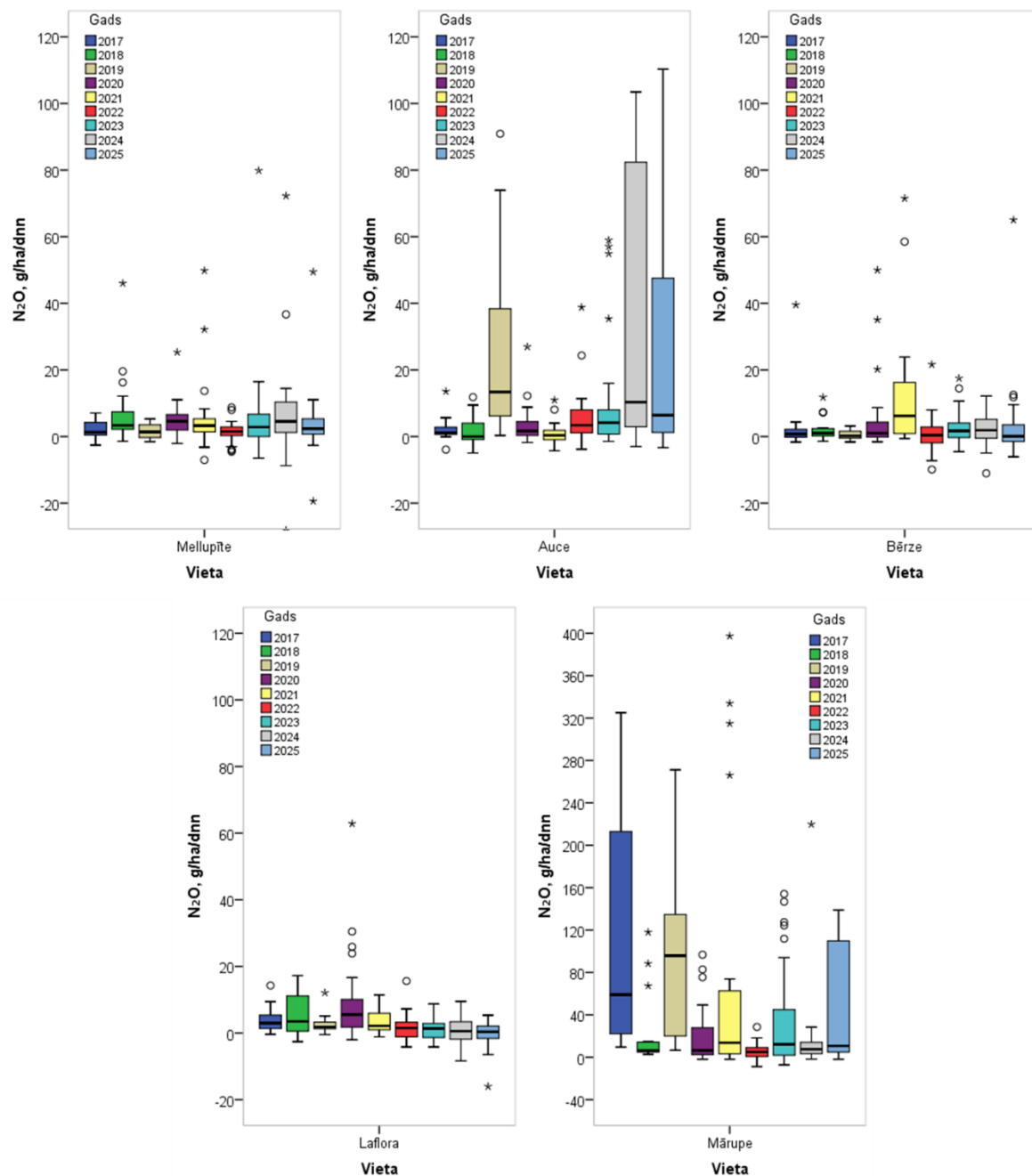


20.att. N₂O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2025. gadā.

N₂O emisija no augsnes parāda ļoti nevienmērīgus emisiju apjomus pa gadiem, analizējot novērotās maksimālās N₂O vērtības (21. att.). Par nosacīti stabiliem mērījumu rezultātiem var nosaukt mērījumus Laflorā, kur emisija no augsnes ir nosacīti ar vismazāko svārstību amplitūdu visu gadu griezumā, ko izskaidro ekstensīvi saimniekošanas apstākļi un ilggadīgais krūmmelleņu stādījums, kas ir radījis ļoti stabilus augsnes apstākļus organiskajā augsnē. Aucē un Mārupē 2025. gadā ir vērojama izteikta N₂O emisijas svārstība ar ļoti plašu amplitūdu, salīdzinot ar pārējām mērījumu vietām, bet pārējās mērījumu vietās 2025. gadā ir bijis emisiju samazinājums, salīdzinot ar iepriekšējo 2024. gadu. Katrā mērījumu vietā ir kāds gads, kur ir novērotas ekstrēmas vērtības, piemēram, Aucē tas ir 2024. gads, Bērzē 2021. gads, Mellupītē 2023., 2024. un 2025. gads, Laflorā 2020. gads, bet Mārupē 2019., 2021., 2024. un 2025. gads.

Statistiski nozīmīgas atšķirības N₂O emisijai no augsnēm ir novērota starp Mārupes un pārējām mērījumu vietām ($p < 0.05$), un starp Bērzi un Mellupīti, Auci ($p = 0.004$ un $p = 0.001$), un starp Auci un Lafloru ($p = 0.003$). Atšķirība starp Mārupi un pārējām mērījumu vietām norāda uz ļoti būtiskām atšķirībām starp Mārupes un pārējo vietu N₂O emisijām no augsnēm, kas ir skaidrojams ar to, ka Mārupes mērījumu veikšanas vietā notiek intensīva augsnes apstrāde un lauksaimnieciskā ražošana uz organiskajām augsnēm. Salīdzinot pa gadiem, nozīmīgas atšķirības ir starp N₂O emisijas no augsnes vidējo vērtību 2022. gadā, kad ir novērota viszemākā

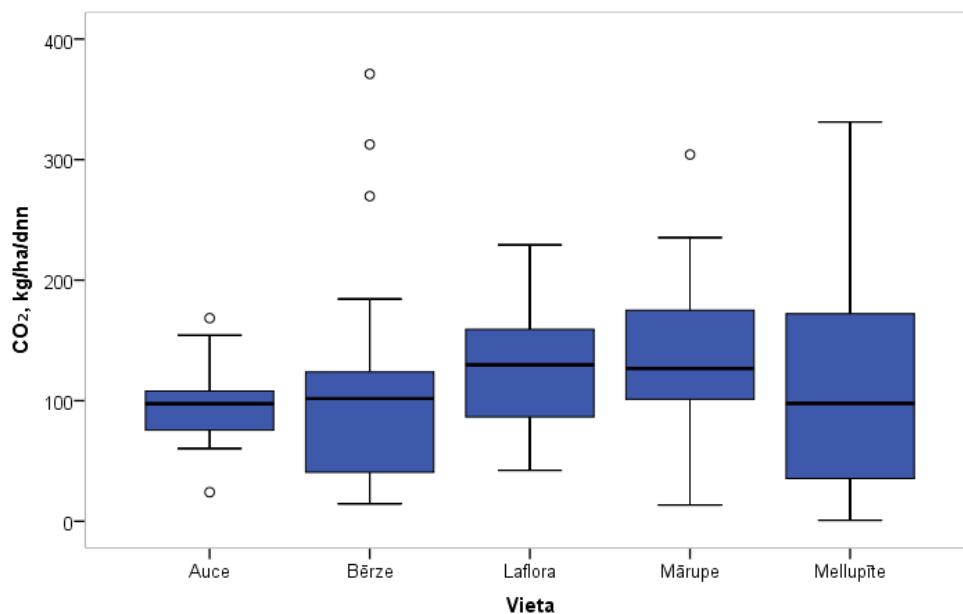
vidējā N_2O emisijas vērtība ($2.91 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), un vidējām vērtībām 2019., 2020., 2021. un 2024. gadā ($p=0.009$, $p=0.003$, $p=0.034$, $p=0.029$). N_2O emisijas vidējā vērtība 2025. gadā ir $27.96 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, bet pārējos gados tā svārstās no 2.91 līdz $30.02 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$.



21. att. N_2O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2025. gadam.

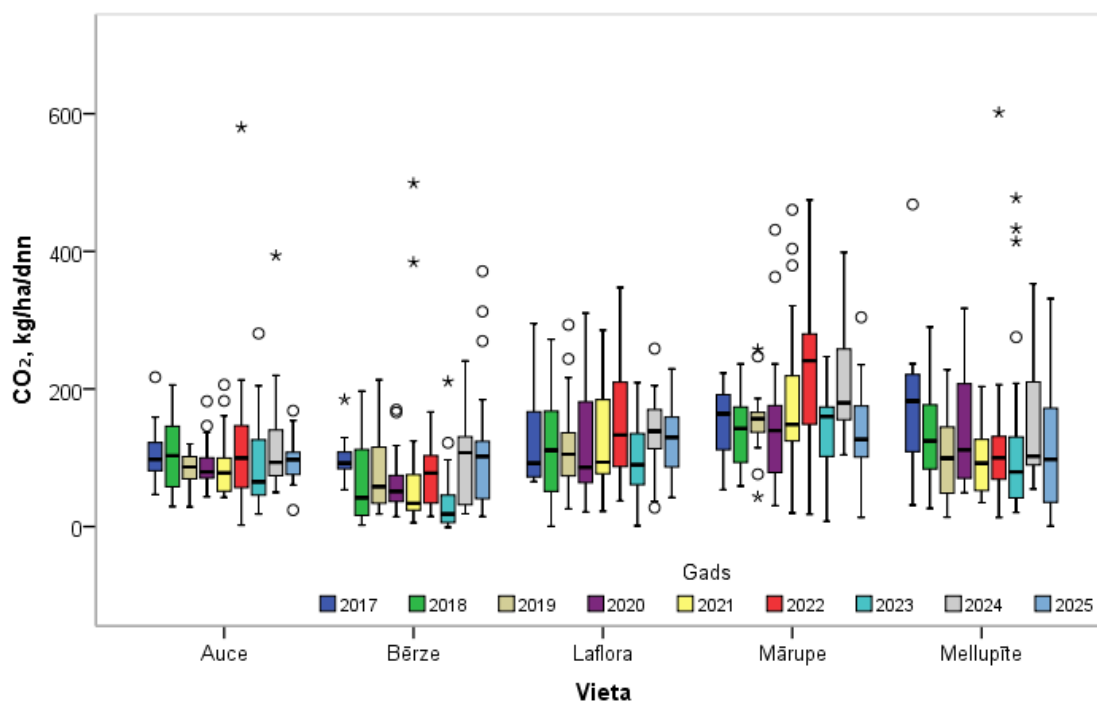
3.1.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti

Mārupes, Lafloras un Mellupītes mērījumu veikšanas vietās ir vērojamas relatīvi visaugstākās CO₂ emisijas no augsnēm (134.08, 125.59 un 115.82 kg CO₂ ha⁻¹ dnn⁻¹) (22. att.), kas ir saistāma ar organisko augsni un ar to saistīto mitruma režīmu Mārupē un Laflorā un ar ģeoloģiskajiem apstākļiem Mellupītes mērījumu vietā. Vismazākās CO₂ emisijas vērtības 2025. gadā ir novērotas Auces un Bērzes mērījumu vietās (97.35 u 109.75 kg CO₂ ha⁻¹ dnn⁻¹).



22. att. CO₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2025. gadā.

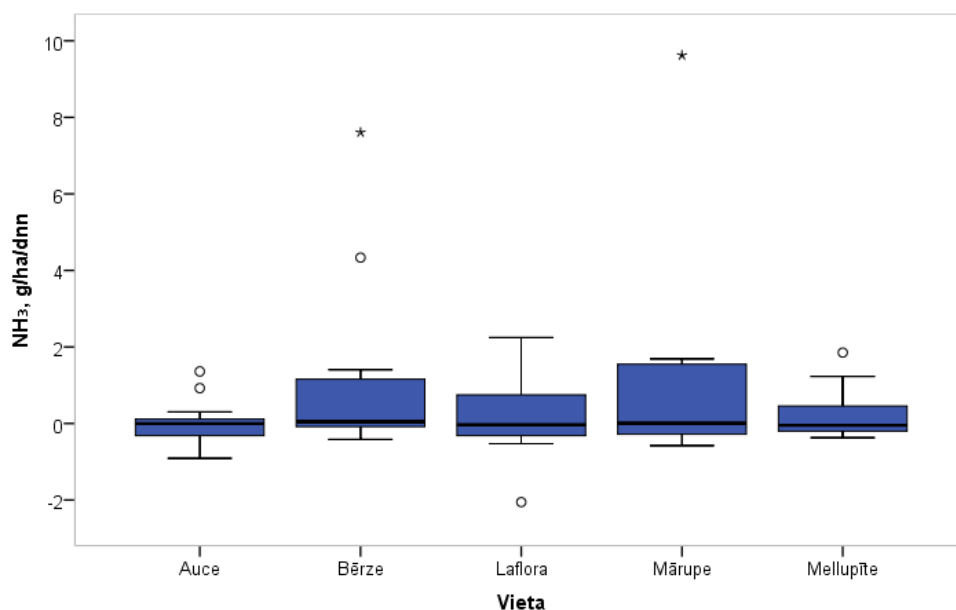
CO₂ emisija no augsnēm 2025. gadā visās mērījuma vietās, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, ir zemāka, vai saglabājas līdzīgā līmenī, kas nozīmē, ka veģetācijas periodā mikroorganismu aktivitāte ir bijusi līdzīga, salīdzinot ar iepriekšējo gadu (23.att.). CO₂ emisijas no augsnēm statistiski nozīmīgas atšķirības ir starp Bērzi un pārējām mērījumu vietām, un starp Mārupi un Auci, Mellupīti un Lafloru, un starp Auci un Lafloru ($p < 0.05$). 2025. gadā CO₂ emisijas ir par 4.7 % lielākas nekā vidēji 2018.-2021. gadā, bet mazākas nekā 2017., 2022. un 2024. gadā. Lielākais samazinājums pret iepriekšējiem gadiem ir salīdzinot ar 2024. gadu (-17 %), bet lielākais pieaugums, salīdzinot ar 2023. gadu (+22 %).



23.att. CO₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2025. gadam.

3.1.4. Amonjaka mērījumu rezultāti

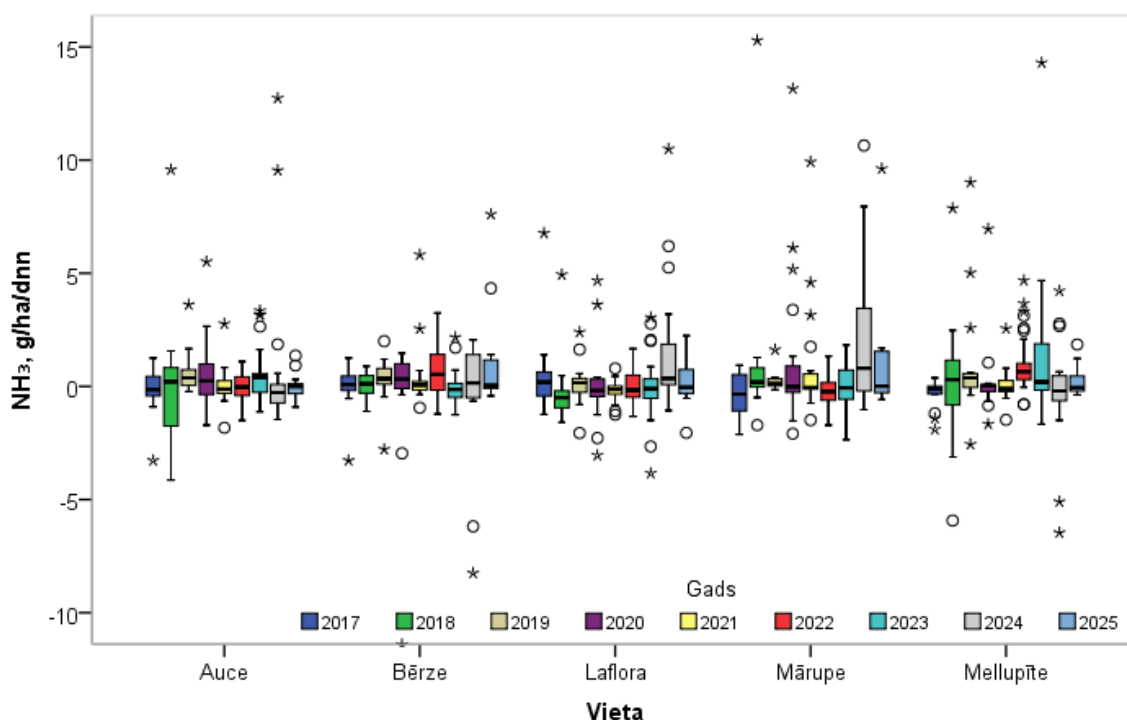
NH₃ emisiju no augsnēm mērījumu rezultāti uzrāda nosacīti zemu NH₃ emisiju no augsnēm apjomu Bērzē, Aucē, Mellupītē, Mellupītē un Laflorā (24.att.). Visaugstākā vidējā vērtība 2025. gadā ir novērota Mārupē ($19.25 \text{ g NH}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$).



24.att. NH₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2025. gadā.

Analizējot NH_3 emisiju no augsnēm gadu griezumā, ir jāmin, ka visos gados visās mērījuma veikšanas vietās ir vērojamas ekstrēmas maksimālas vērtības, kas raksturo NH_3 emisiju no augsnēm nevienmērību (skat.25.att.). Izteiktas negatīvās vērtības liecina par augu spēju uzņemt NH_3 . Visās mērījumu vietās, izņemot Auci un Mellupīti, 2025. gadā ir novērojams NH_3 emisijas no augsnes palielinājums.

NH_3 emisijas no augsnēm statistiski nozīmīgas atšķirības ir starp Lafloru un Bērzi ($p=0.022$). NH_3 emisijai no augsnēm statistiski nozīmīgas atšķirības starp gadiem nav novērojamas.



25. att. NH_3 emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2025. gadam.

3.2. Augsnes organiskā saturs, augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme

Augsnes organiskās vielas saturs ir viens no nozīmīgākajiem SEG emisiju no augsnēm ietekmējošajiem faktoriem. Šajā apakšnodaļā ir analizētas gāzu savstarpējās sakarības, kā arī augsnes mitruma, augsnes temperatūras un nokrišņu daudzuma ietekme uz SEG emisijām no augsnēm, izmantojot Kendala korelācijas analīzi. Gāzu savstarpējā sakarība, un sakarība starp gāzēm un augsnes mitrumu, augsnes temperatūru, piecu dienu nokrišņu summu visās mērījumu vietās visās

kamerās ir parādīta 13. tab. Korelācijas analīze rāda, ka, palielinoties augsnes temperatūrai un augsnes mitrumam, palielināsies CO₂ un NH₃ emisijas no augsnes, kā arī, ja palielināsies CO₂ emisija no augsnes, tad CH₄ no augsnes samazināsies.

13. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām 2025. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	Nokrišņu 5 dienu summa, mm	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1.000	0.418**	0.121	-0.086	-0.111	0.303**	0.338**
Augsnes mitrums, %	0.418**	1.000	0.098	0.024	-0.090	0.302**	0.295**
Nokrišņu 5 dienu summa, mm	0.121	0.098	1.000	0.103	0.085	0.097	-0.002
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.086	0.024	0.103	1.000	0.039	0.076	-0.141*
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.111	-0.090	0.085	0.039	1.000	-0.225**	-0.051
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.303**	0.302**	0.097	0.076	-0.225**	1.000	0.118
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.338**	0.295**	-0.002	-0.141*	-0.051	0.118	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Analizējot atsevišķi organisko augšņu un minerālaugšņu emisijas 2025. gadā, ir redzams, ka minerālaugsnēs augsnes mitrums parāda korelācijas ar visām gāzēm: pozitīvu ar CO₂ un NH₃, bet negatīvu ar CH₄ un N₂O norādot uz augsnes mitruma būtisko ietekmi uz emisiju izdalīšanos no augsnes (14. tab.). Negatīva korelācija starp CH₄ un CO₂ emisijām norāda, ka apstākļos, kuros dominē metanogēnie procesi, samazinās oglekļa dioksīda emisijas. Tas atspoguļo anaerobas vides veidošanos un oglekļa plūsmas pārorientēšanos no aerobas elpošanas uz metanogēno sadalīšanos. Korelācijas analīze apstiprina, ka augsnes mitrums un temperatūra ir galvenie faktori, kas nosaka SEG emisiju intensitāti lauksaimniecības augsnēs, savukārt emisiju virziens un apjoms atkarīgs no dominējošajiem aerobo vai anaerobo procesu apstākļiem.

14. tab. Kendala korelācijas koeficienti minerālaugšnes kamerām 2025. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	Nokrišņu 5 dienu summa, mm	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1.000	0.615**	0.025	-0.147	-0.1725*	0.218**	0.386**
Augsnes mitrums, %	0.615**	1.000	-0.102	-0.250**	-0.204*	0.302**	0.435**
Nokrišņu 5 dienu summa, mm	0.025	-0.102	1.000	0.107	0.066	0.045	0.021
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.147	-0.250**	0.107	1.000	-0.028	0.099	-0.213*
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.172**	-0.204*	0.066	-0.028	1.000	-0.336**	-0.128
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.218**	0.302**	0.045	0.099	-0.336**	1.000	0.105
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.386**	0.435**	0.021	-0.213*	-0.128	0.105	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Organiskajās augsnēs 2025. gadā augsnes temperatūrai ir pozitīva korelācija ar CO₂ un NH₃ emisijām, kas norāda, ka siltāki apstākļi stimulē šo gāzu izdalīšanos, iespējams, paātrinot organiskās vielas sadalīšanos organiskajās augsnēs (15. tab.). Augsnes mitrums ir pozitīvi saistīts gan ar N₂O emisijām, gan ar CO₂ emisijām, norādot, ka mitrākos apstākļos palielinās šo gāzu emisijas. Savukārt, starp nokrišņu daudzumu un emisijām nav statistiski būtiskas saistības.

15. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām 2025. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	Nokrišņu 5 dienu summa, mm	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1.000	0.188	0.260*	0.016	0.035	0.399**	0.304**
Augsnes mitrums, %	0.188	1.000	0.364**	0.365**	0.181	0.313**	0.167
Nokrišņu 5 dienu summa, mm	0.260*	0.364**	1.000	0.137	0.183	0.156	-0.020
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.016	0.365**	0.137	1.000	0.173	0.034	-0.062
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.035	0.181	0.183	0.173	1.000	-0.028	0.015
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.399**	0.313**	0.156	0.034	-0.028	1.000	0.203*
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.304**	0.167	-0.020	-0.062	0.015	0.203	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Apskatot visu pētījuma periodu no 2017. līdz 2025. gadam, augsnes mitrums ir pozitīvi saistīts ar CH₄, N₂O un CO₂ emisijām, kas norāda, ka augsnes mitrums ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē emisiju plūsmu no augsnes (16. tab.). Augsnes temperatūrai ir pozitīva korelācija ar CO₂ emisijām, kas var būt saistīta ar mikroorganismu aktivitātes pieaugumu siltākā augsnē, bet negatīva korelācija ar N₂O. CO₂ un N₂O emisijas ir arī pozitīvi saistītas ar nokrišņu daudzumu, kas norāda, ka lietus apstākļi var veicināt šo emisiju izdalīšanos no augsnes. Būtiska ir arī negatīva korelācija starp CH₄ un CO₂ un N₂O emisijām, kas liecina, ka apstākļi, kas veicina metāna emisiju, var kavēt CO₂ un N₂O izdalīšanos, un otrādi. SEG emisiju no augsnes dinamiku lielā mērā nosaka mijiedarbība starp augsnes mitrumu, temperatūru un nokrišņu daudzumu.

16. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām laika posmam no 2017. līdz 2025. gadam.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	Nokrišņu 5 dienu summa, mm	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1.000	-0.025	0.018	-0.044*	-0.009	0.142**	0.110**
Augsnes mitrums, %	-0.025	1.000	0.157**	0.076**	0.131**	0.052*	-0.003
Nokrišņu 5 dienu summa, mm	0.018	0.157**	1.000	0.069**	0.028	0.155**	-0.084**
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.044*	0.076*	0.069**	1.000	-0.053**	0.104*	-0.070**
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.009	0.131**	0.028	-0.053**	1.000	-0.286**	-0.049*
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.142**	0.052*	0.155**	0.104**	-0.286**	1.000	0.009
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.110**	-0.003	-0.084**	-0.070**	-0.049*	0.009	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Lai noteiktu, vai emisiju novērojumi būtiski atšķiras starp organiskajām augsnēm un minerālaugsnēm, ir izmantots neparamateriskais Mann-Whitney U tests (p<0.05).

Starp minerālaugšņu un organisko augšņu paraugkopām ir statistiski nozīmīga atšķirība visu gāzu emisijām no augsnes (p<0.05), analizējot visus gadus kopā (skat. 17. tab.).

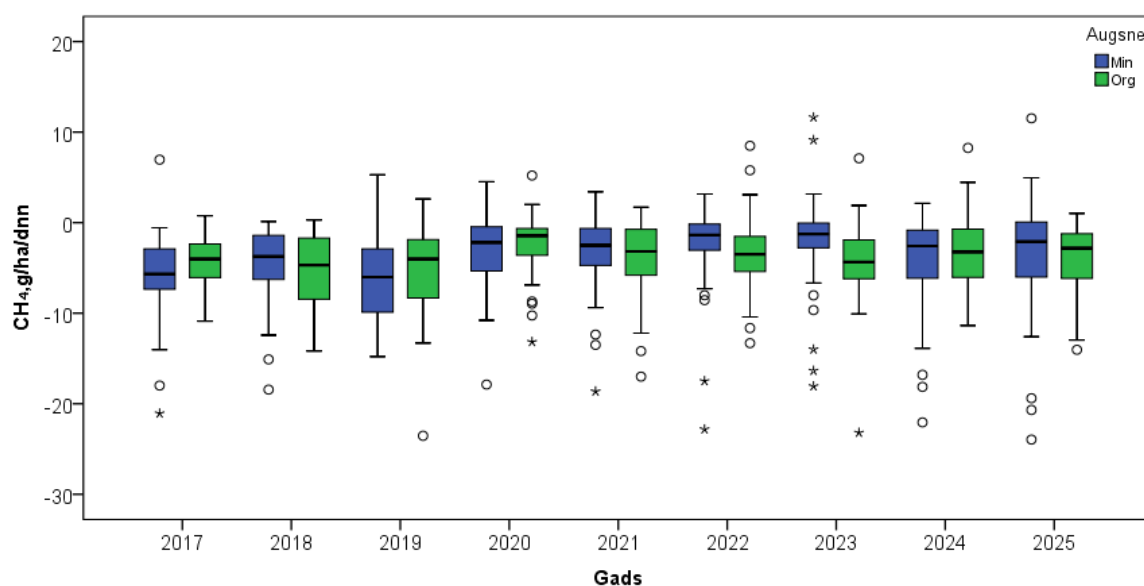
17. tab. SEG un NH₃ emisiju no organiskajām un minerālaugsnēm vidējās
vērtības un mediānas no 2017. līdz 2025. gadam

Gads	Augsne	Rādītājs	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
2017	Min	Vidējais	2.54	-5.87	124.25	-0.17
		Mediāna	1.07	-5.67	105.34	-0.10
	Org	Vidējais	48.40	-4.44	134.79	1.49
		Mediāna	5.87	-4.01	130.74	0.15
2018	Min	Vidējais	4.00	-4.50	100.69	0.14
		Mediāna	2.17	-3.73	98.87	0.12
	Org	Vidējais	13.20	-5.64	128.65	1.44
		Mediāna	5.59	-4.68	129.86	-0.05
2019	Min	Vidējais	9.82	-6.38	86.77	0.67
		Mediāna	1.67	-6.01	80.35	0.36
	Org	Vidējais	60.33	-5.09	137.81	11.02
		Mediāna	8.96	-4.02	137.28	0.14
2020	Min	Vidējais	8.67	-1.97	97.29	0.83
		Mediāna	2.43	-1.37	76.43	0.08
	Org	Vidējais	15.49	-2.28	134.77	2.69
		Mediāna	6.29	-1.44	116.36	-0.07
2021	Min	Vidējais	6.52	-3.14	85.29	0.15
		Mediāna	2.34	-2.51	59.15	-0.06
	Org	Vidējais	44.96	-4.06	153.83	0.28
		Mediāna	3.96	-3.17	133.86	-0.08
2022	Min	Vidējais	2.52	-1.97	98.30	0.55
		Mediāna	1.52	-1.37	93.17	0.42
	Org	Vidējais	3.61	-3.57	188.77	-0.13
		Mediāna	1.90	-3.50	201.92	-0.23
2023	Min	Vidējais	9.88	-1.80	78.25	1.35
		Mediāna	2.62	-1.26	47.53	0.10
	Org	Vidējais	18.66	-4.29	120.10	-0.10
		Mediāna	2.47	-4.35	121.31	-0.09
2024	Min	Vidējais	30.39	-4.09	121.59	1.05
		Mediāna	4.37	-2.59	102.58	-0.21
	Org	Vidējais	20.11	-3.28	169.22	4.57
		Mediāna	3.42	-3.23	163.14	0.59
2025	Min	Vidējais	23.30	-3.25	107.82	0.33
		Mediāna	2.32	-2.09	97.73	-0.02
	Org	Vidējais	34.80	-4.02	129.74	9.49

Gads	Augsne	Rādītājs	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
		Mediāna	2.28	-2.82	129.67	-0.03

Analizējot organiskajās un minerālaugsnēs novērotās metāna emisijas no 2017. līdz 2025. gadam, ir novērojamas izteiktas svārstības un periodiska mainība starp abiem augsnes tipiem (26.att.). Analizējot CH₄ mediānas vērtības organiskajās un minerālaugsnēs, redzams, ka 2017. un 2019. gadā lielāka piesaiste notikusi minerālaugsnēs (zemākas mediānas vērtības), savukārt pārējos gados organiskajās augsnēs. Šādas pārmaiņas liecina par ciklisku metāna piesaistes raksturu, kad secīgos gados mainās augsnes tips, kurā novērojama intensīvāka CH₄ piesaiste. Šī periodiskā mainība, visticamāk, ir saistīta ar temperatūras un nokrišņu kombināciju, kas ietekmē augsnes aerāciju un mikroorganismu aktivitāti.

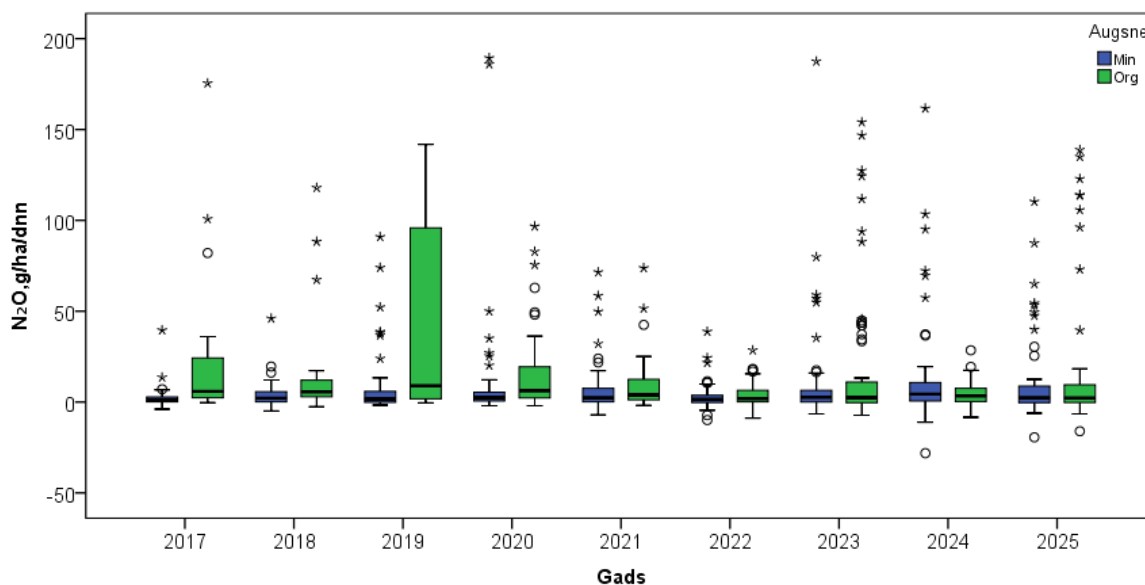
Gados ar mērenu mitrumu un stabilu temperatūras režīmu (piemēram, 2021.–2023.) organiskajās augsnēs tiek nodrošināti labvēlīgi apstākļi metāna oksidācijai, jo saglabājas pietiekama augsnes aerācija un mikrobiālā aktivitāte. Savukārt 2018. gadā, kad vidējā gaisa temperatūra ir bijusi visaugstākā un zems nokrišņu daudzums, organiskās augsnes tomēr saglabāja lielāku CH₄ piesaistes potenciālu nekā minerālaugsnes, iespējams, pateicoties augstākam mitruma līmenim augsnes profila dziļākajos slāņos. Šis izņēmums norāda, ka organiskajās augsnēs piesaistes intensitāti var ietekmēt ne tikai virszemes klimatiskie apstākļi, bet arī iekšējais mitruma režīms un substrāta īpašības.



26.att. CH₄ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2025. gadam.

Salīdzinot 2025. gada N_2O emisijas ar iepriekšējiem gadiem, redzams, ka minerālaugsnēs ir sasniegta otra visaugstākā vidējā N_2O emisijas vērtība ($23.30 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$) visā novērošanas periodā, tikai 2024. gadā vidējā N_2O emisijas vērtība ir bijusi vēl augstāka ($30.39 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$). Tas ir būtisks pieaugums, salīdzinot ar citiem gadiem, un liecina par ievērojami intensīvāku emisiju pēdējos divos gados. Organiskajās augsnēs 2025. gada vidējā N_2O emisijas vērtība ir $34.80 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kas ir trešais augstākais N_2O emisijas rādītājs visā novērojumu laikā.

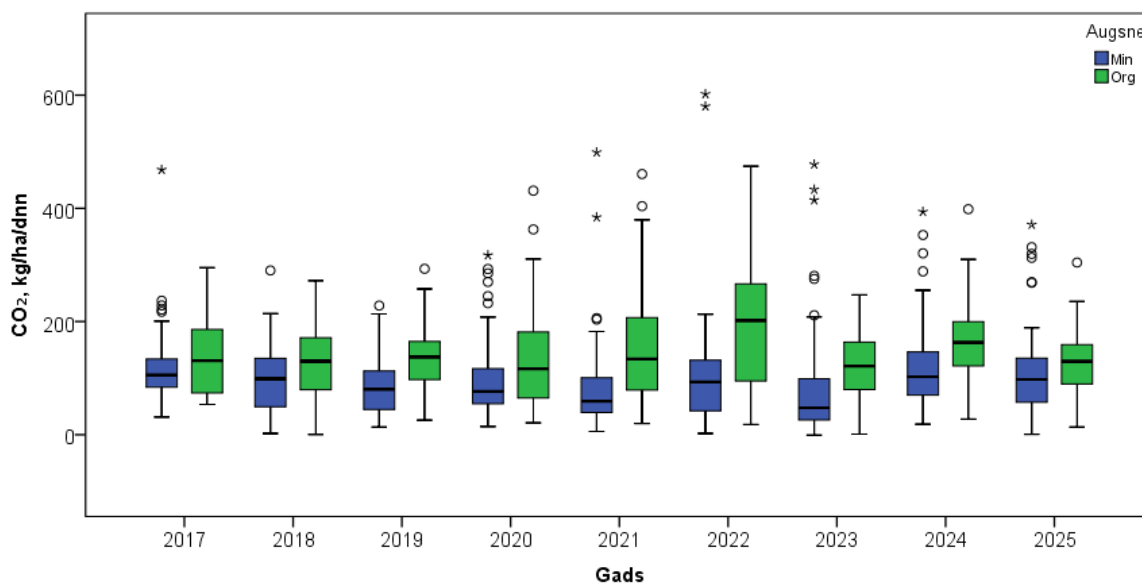
Mediānas vērtības gan minerālaugsnēs, gan organiskajās augsnēs 2025. gadā ir zemākas nekā iepriekšējā gadā, kas norāda uz N_2O emisiju samazināšanos abos augsnes tipos. Salīdzinājumā ar 2024. gadu emisiju intensitāte samazinājusies gandrīz divas reizes, un joprojām saglabājas būtiski zemākas nekā 2019. gadā, kad tika reģistrētas izteikti augstas N_2O emisijas, īpaši organiskajās augsnēs. Šī mainība skaidrojama ar meteoroloģisko apstākļu atšķirībām, jo 2025. gadā vidējā gaisa temperatūra bija zemāka (13.7°C) un nokrišņu daudzums lielāks (1280 mm), kas samazināja mikrobioloģisko aktivitāti un denitrifikācijas procesu intensitāti, līdz ar to ierobežojot N_2O emisiju veidošanos.



27.att. N_2O emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2025. gadam.

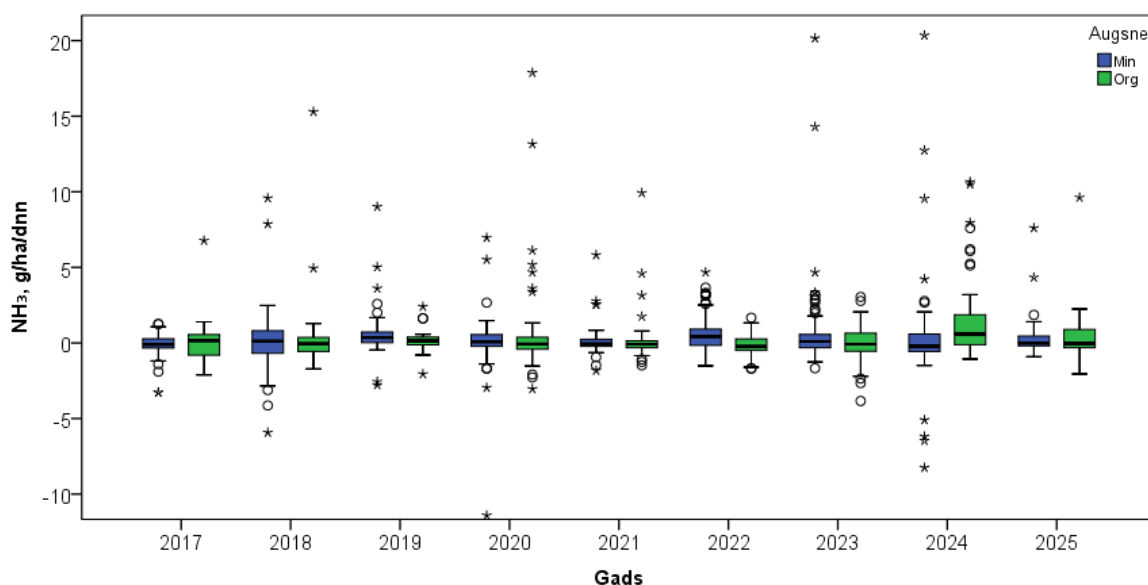
CO_2 emisiju no augsnes vērtības minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs, vērtējot gadu griezumā, ir ar līdzīgu izkliedes amplitūdu, bet visos gados

organiskajās augsnes ir novērojamas augstākas CO₂ emisijas no augsnes mediānas vērtības. Īpaši jāpiemin, ka, neraugoties uz indikācijām, ka organiskajās augsnēs ir palielinātas CO₂ emisijas, arī minerālaugsnēs tiek novērotas maksimālās vērtības (28.att.). Salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem, 2025. gadā organiskajās augsnēs varam novērot CO₂ emisijas no augsnēm samazinājumu, salīdzinot ar 2024. gadu, kas var būt skaidrojams ar vēsākiem un mitrākiem apstākļiem 2025. gada veģetācijas periodā.



28.att. CO₂ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2025. gadam.

NH₃ emisijai no augsnes ir mainīgs raksturs, ir vērojama ļoti liela izkliede visos gados, ar izteikti zemām vērtībām un augstām vērtībām abiem augsnes veidiem. Salīdzinot NH₃ emisijas no augsnēm pa gadiem, 2025. gadā gan minerālaugsnēs, gan organiskajās augsnēs novērojama gan emisija, gan piesaiste, tomēr mediānas vērtība abiem augsnes veidiem ir negatīva, kas norāda, ka kopumā pārsvarā notikusi NH₃ piesaiste. Tas nozīmē, ka, lai arī atsevišķos periodos emisijas ir pieaugušas (maksimālās vērtības), 2025. gada veģetācijas periodā gan minerālaugsne, gan organiskajā augsne galvenokārt ir absorbējusi NH₃. Amonjaka emisiju ekstrēmās vērtības ir saistītas ar minerālmēsli un kūtsmēsli izmantošanu un augsnes mitrumu un temperatūru (29.att.).



29.att. NH_3 emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2025. gadam.

3.3. Augsnes apstrādes un kultūraugu ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Šajā apakšnodaļā analizēti Pēterlauku Poķu stacionāra mērijumu vietā iegūtie rezultāti, lai noteiktu augsnes apstrādes veidu (aršana un diskošana) ietekmi uz N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju no augsnes apjomu. Lai noteiktu, vai emisiju novērojumi būtiski atšķiras starp gadiem un kultūrām ir izmantots Kruskal-Wallis tests ($p < 0.05$), bet, lai noteikti atšķirības starp augsnes apstrādes veidiem, datu apstrādē ir izmantots Mann Whitney U tests ($p < 0.05$).

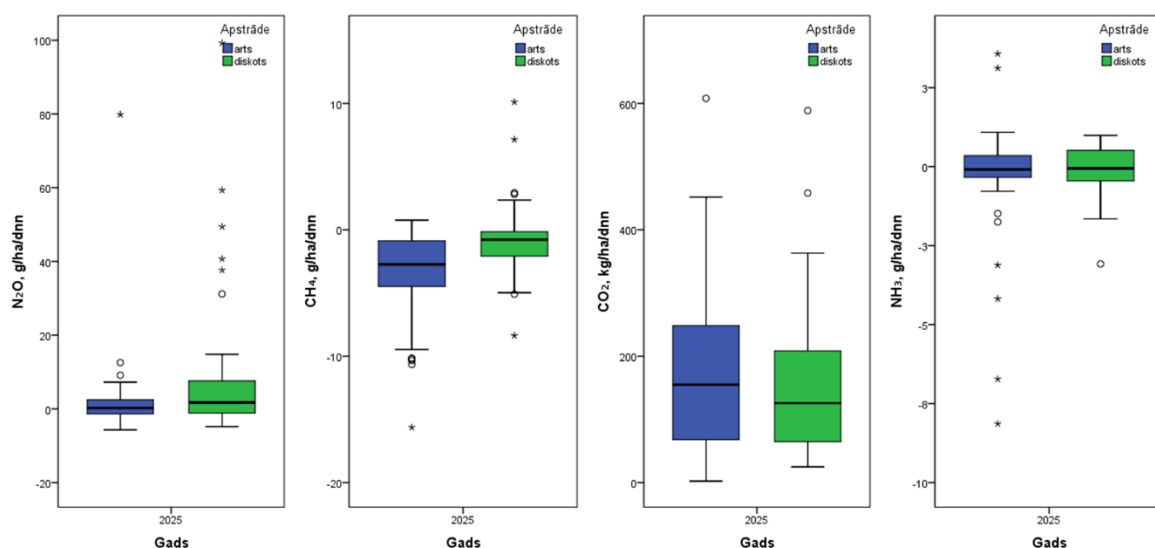
Datu apstrādē 2025. gadam ir izmantoti 72 mērijumu rezultāti no artajiem lauciņiem un 62 mērijumu rezultāti no diskotajiem lauciņiem. Mērijumi veikti Pēterlauku Poķu stacionāra izmēģinājumā. Aprakstošās statistikas rādītāji 2025. gadā veiktajiem mērijumiem ir attēloti zemāk (18. tab.).

18. tab. N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju no augsnes statistiskie rādītāji Poķu stacionārā 2025. gadā.

Variables		CH_4 , g/ha/dnn		N_2O , g/ha/dnn		CO_2 , kg/ha/dnn		NH_3 , g/ha/dnn	
		Arts	Diskots	Arts	Diskots	Arts	Diskots	Arts	Diskots
N	Valid	72	62	72	62	72	62	72	62
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0

Variables		CH ₄ , g/ha/dnn		N ₂ O, g/ha/dnn		CO ₂ , kg/ha/dnn		NH ₃ , g/ha/dnn	
		Arts	Diskots	Arts	Diskots	Arts	Diskots	Arts	Diskots
Mean		-3.46	-0.97	1.90	6.89	169.97	152.67	-0.23	-0.07
Std. Error of Mean		0.39	0.34	1.16	2.20	14.62	13.98	0.18	0.09
Median		-2.73	-0.78	0.25	1.71	154.83	125.68	-0.09	-0.06
Std. Deviation		3.33	2.71	9.82	17.36	124.02	110.11	1.57	0.74
Variance		11.09	7.33	96.44	301.29	15380.28	12123.20	2.46	0.55
Minimum		-15.63	-8.37	-5.7	-4.79	2.28	24.87	-8.14	-3.08
Maximum		0.76	10.12	79.86	99.25	608.05	588.66	3.57	0.99
Perce ntiles	25	-4.49	-2.11	-1.42	-1.21	66.59	63.72	-0.34	-0.46
	50	-2.73	-0.78	0.25	1.71	154.83	125.68	-0.09	-0.06
	75	-0.84	-0.15	2.57	7.70	248.89	208.67	0.35	0.52

Vidēji vislielākā CH₄ piesaiste 2025. gada veģetācijas periodā ir bijusi artajos laucīņos (-3.46 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹), kas apstiprina Peterson et al. (2019) secināto, ka labi aerētās augsnēs baktērijas izmanto metānu kā enerģijas avotu (Peterson et.al., 2019). Metāna piesaistei 2025. gadā ir arī statistiski būtiska atšķirība starp augsnes apstrādes veidiem (p<0.05). Pārējām gāzēm nav būtisku atšķirību starp augsnes apstrādes veidiem 2025. gadā (30.att.).

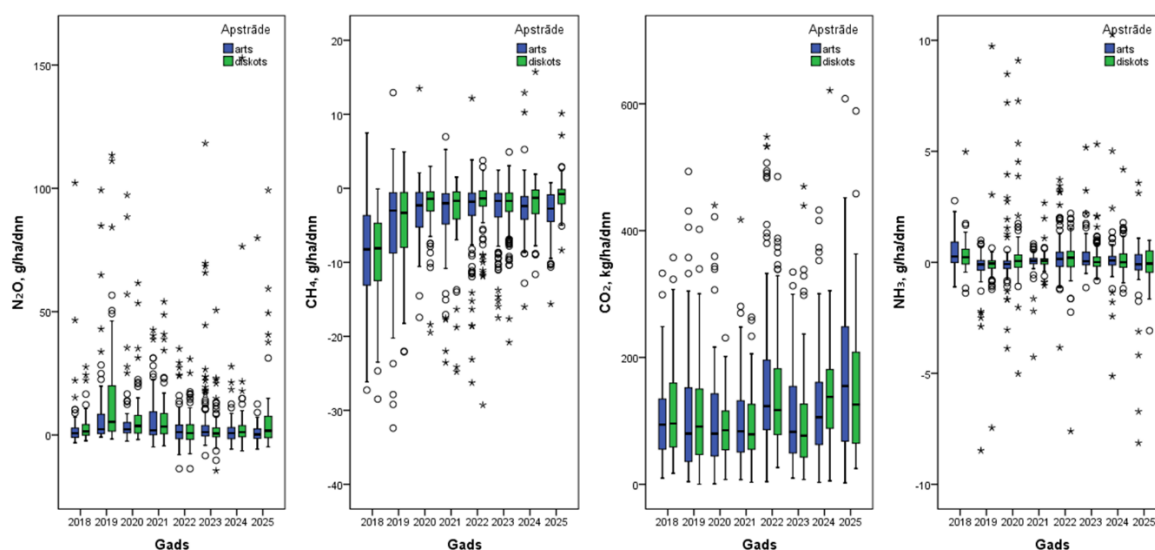


30.att. CH₄, N₂O, CO₂ un NH₃ emisiju no augsnes novērojumi Poļu stacionārā 2025. gadā pēc augsnes apstrādes veida.

Analizējot visus datus laika posmam no 2018. līdz 2025. gadam, augsnes apstrādes veidiem būtiski atšķiras CH₄ emisija (p<0.05) (31.att.). Apskatot gan gada, gan augsnes apstrādes kompleksu ietekmi, 2018. gada diskoto un arto lauku CH₄ piesaiste būtiski atšķiras no gandrīz visiem diskotajiem un artajiem laukiem visos gados, izņemot savā starpā un 2019. gada diskoto lauku emisijām (p<0.05).

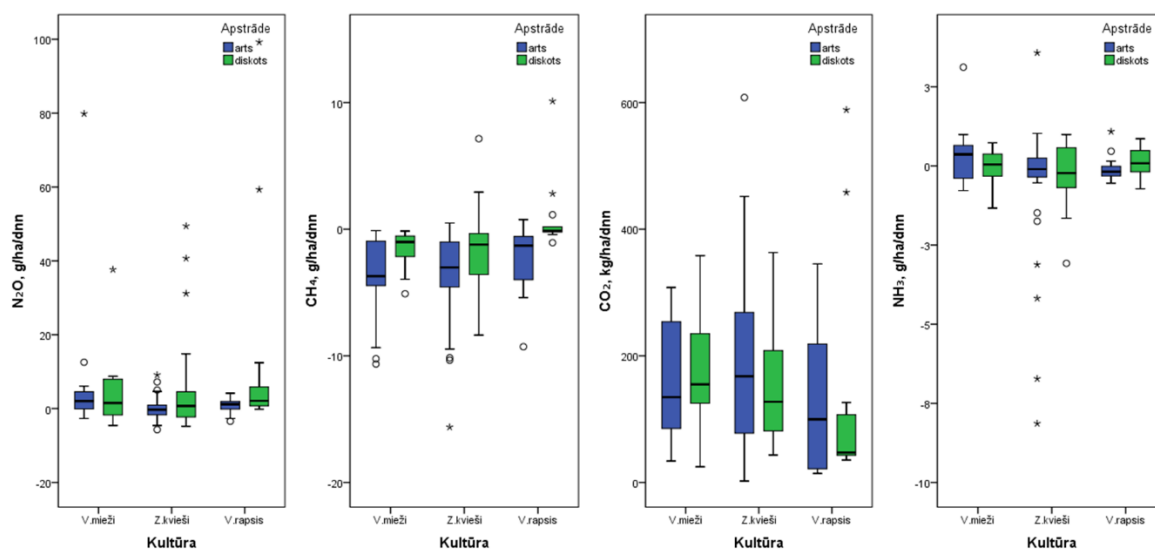
2025. gada un 2024. gada arto, 2023. gada un 2022. gada diskoto lauku N_2O emisija būtiski atšķiras no 2019., 2020., 2021. diskoto lauku un 2019., 2020., 2021. arto lauku emisijām ($p < 0.05$). 2020. un 2023. gada diskoto lauku CO_2 emisija būtiski atšķiras no 2022. un 2025. arto lauku un 2022., 2024., 2024. diskoto lauku emisijām ($p < 0.05$).

NH_3 emisija no 2019. gada diskotajiem laukiem un 2020. gada artajiem laukiem būtiski atšķiras no 2018. un 2022. gadu artajiem un diskotajiem laukiem un 2023. gada artajiem laukiem ($p < 0.05$).



31.att. CH_4 , N_2O , CO_2 un NH_3 emisiju no augsnes salīdzinājums 2018.- 2025. gadam.

2025. gadā CO_2 emisija no augsnes laukos, kur audzēts vasaras rapsis, ir statistiski būtiski zemāka nekā laukos, kur audzēti vasaras mieži un ziemas kvieši (166.66 un $177.47 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$) ($p = 0.025$ un $p = 0.006$). CH_4 emisijai no augsnes 2025. gadā nozīmīgākas atšķirības ir starp vasaras rapsi un pārējām kultūrām, kas nozīmē, ka vasaras rapsis 2025. gada veģetācijas periodā vidēji ir piesaistījis par aptuveni 60% mazāk CH_4 nekā vasaras mieži un ziemas kvieši ($p < 0.005$). N_2O un NH_3 emisijām no augsnes 2025. gadā nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp audzētajām kultūrām (32.att.).



32.att. CH₄, N₂O, CO₂ un NH₃ emisiju no augsnes salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida un kultūras 2025. gadā.

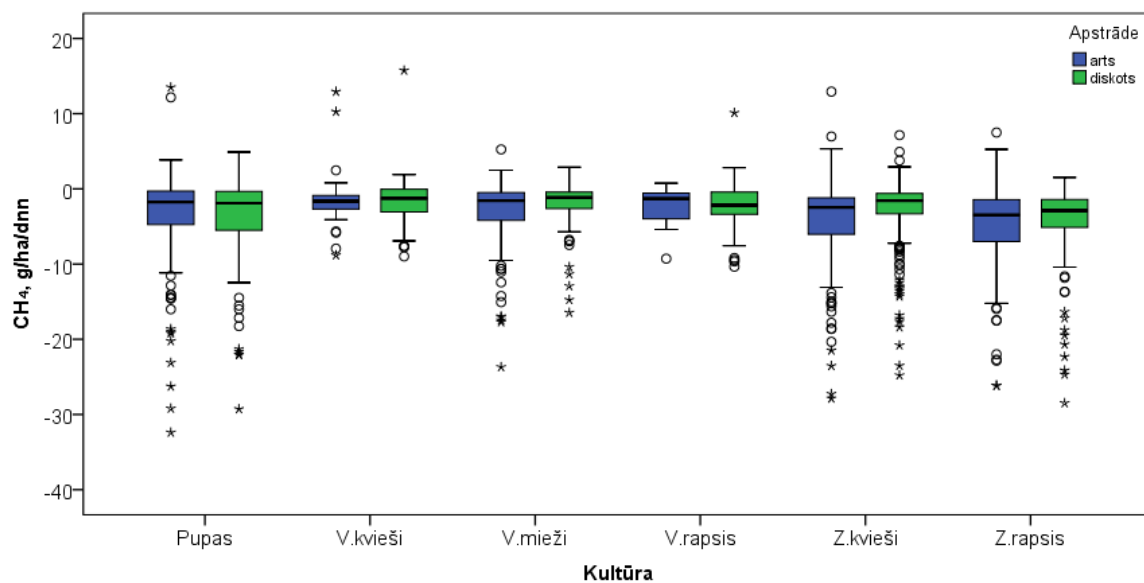
Vislielākā CH₄ piesaiste 2025. gadā ir vasaras miežu un ziemas kviešu artajos laukos ($-3.86 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ un $-3.78 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), bet vasaras rapša diskotajā laukā vidēji ir veidojusies CH₄ emisija ($0.82 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$) (19. tab.). Vislielākā N₂O emisija no augsnes 2025. gada veģetācijas periodā ir bijusi vasaras rapša diskotajā laukā un vasaras miežu artajā laukā (13.89 un $6.56 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), kas ir skaidrojams ar lielāku mitruma daudzuma diskotajā laukā un mēslošanas apjomu, kas vasaras rapsim ir bijuši 92 kg N tīrvielā uz hektāru un vasaras miežiem 145 kg N tīrvielā uz hektāru. Visaugstākā CO₂ emisija no augsnes ir novērota ziemas kviešu artajā laukā un vasaras miežu diskotajā laukā (196.39 un $171.19 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), bet viszemākās – vasaras rapša artajā un diskotajā laukā (124.39 un $124.99 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$).

19. tab. Kultūraugu N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju no augsnes vidējās vērtības Poļu stacionārā 2025. gadā.

Kultūra	Apstrāde	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
V.mieži	Arts	-3.86	6.56	162.13	0.32
	Diskots	-1.53	3.83	171.19	0.001
Z.kvieši	Arts	-3.78	0.10	196.39	-0.58
	Diskots	-1.47	5.45	154.76	-0.19
V.rapsis	Arts	-2.43	0.83	124.99	-0.10
	Diskots	0.82	13.89	124.39	0.11

CH₄ emisijai 2025. gadā no vasaras rapšu laukiem ir būtiska atšķirība starp augsnes apstrādes veidiem ($p=0.004$), bet pārējām gāzēm un kultūrām nav novērojamas būtiskas atšķirības starp augsnes apstrādes veidiem 2025. gadā (33.att.).

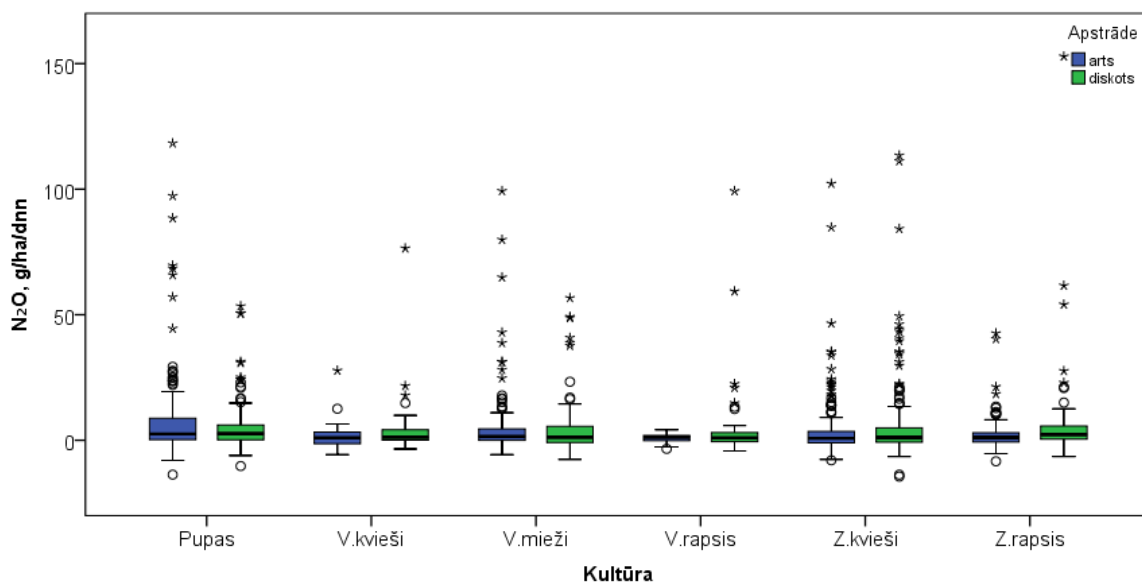
Savukārt apskatot visu mērījumu periodu no 2018. gada, ziemas kviešu laukiem ir būtiska atšķirība starp augsnes apstrādes veidiem CH₄ emisijai ($p=0.002$), kas nozīmē, ka ziemas kviešu artais lauks vidēji piesaista 1.5 reizes vairāk CH₄ nekā diskotais lauks. Diskoto vasaras kultūru laukiem ir statistiski būtiskas atšķirības savā starpā, kas parāda vasaras kultūru atšķirīgo ietekmi uz augsnes mikrobioloģisko aktivitāti un izdalīto emisiju apjomu ($p<0.05$). Pārējām kultūrām nav novērojamas būtiskas atšķirības starp augsnes apstrādes veidiem, kas parāda, katras audzētās kultūras atšķirīgo ietekmi uz augsnes mikrobioloģiskajiem procesiem.



33.att. CH₄ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2025. gadam.

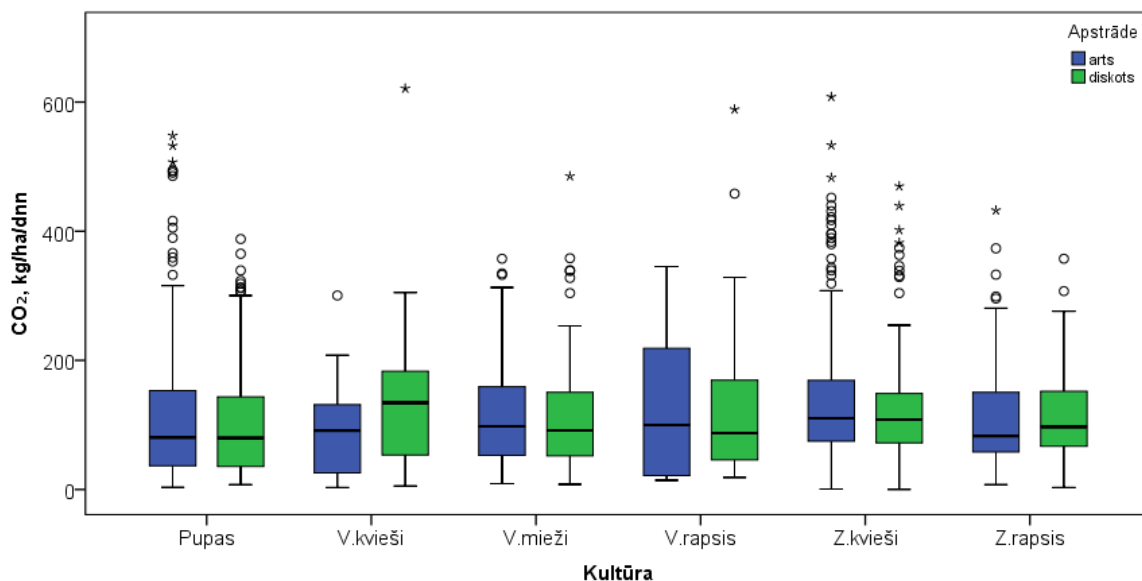
N₂O emisija no augsnes ar vislielāko izkliedi ir pupu, ziemas kviešu un vasaras miežu artajos laukos (34.att.). Statistiski nozīmīga atšķirība visā mērījumu periodā ir starp ziemas rapšu artajiem un diskotajiem laukiem ($p=0.015$). Starp pupu N₂O emisiju no augsnes un vasaras rapša, un pupu un ziemas kviešu N₂O emisiju no augsnes arī ir būtiska atšķirība ($p=0.012$, $p<0.05$) (34.att.). Pupām ir novērotas visaugstākās N₂O emisijas, kas ir aptuveni 1.5 reizes lielākas nekā vasaras miežu,

ziemas kviešu, ziemas rapša un vasaras rapša, un vairāk nekā 2 reizes lielākas nekā vasaras kviešu.



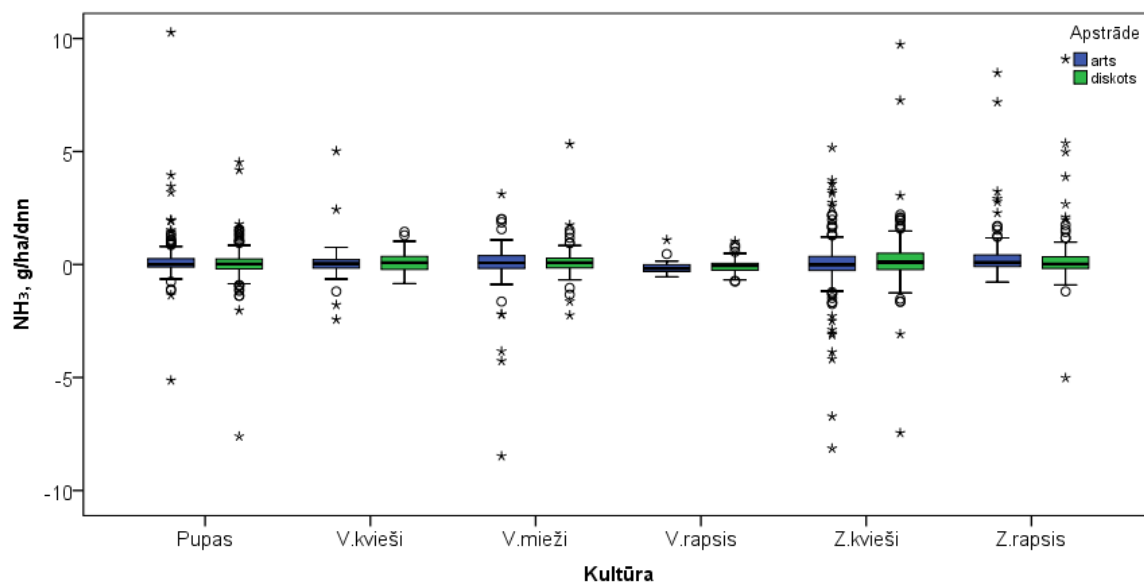
34.att. N₂O emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2025. gadam.

Vērtējot CO₂ emisiju no augsnes visā mērījumu laikā no 2018. līdz 2025. gadam (35.att.), ir vērojamas statistiski nozīmīgas atšķirības starp ziemas kviešu un pupu, ziemas kviešu un vasaras miežu N₂O emisijām no augsnes (p < 0.05, p = 0.019). Visaugstākā CO₂ emisija novērojama ziemas kviešu laukos, kur emisiju līmenis pārsniedz pārējās pētītās kultūras robežās no 10% (salīdzinājumā ar vasaras rapsi) līdz 16% (salīdzinājumā ar pupām).



35.att. CO₂ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2025. gadam.

NH₃ emisijai no augsnes visā pētījuma periodā no 2018. līdz 2025. gadam statistiski būtiskas atšķirības ir starp vasaras rapsi un ziemas rapsi, vasaras miežiem un ziemas kviešiem (p=0.001, p=0.027, p=0.031). Salīdzinot kultūru grupas, ziemas kultūrām konstatētas vidēji augstākas NH₃ emisijas nekā vasaras kultūrām. Maksimālās emisijas vērojamas ziemas rapsim, bet minimālās pupām, vasaras miežiem un vasaras rapsim. NH₃ emisijai visā pētījuma laikā ir novērojamas gan ekstrēmas vērtības, gan piesaiste.



36.att. NH₃ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2025. gadam.

SECINĀJUMI

1. Deviņu gadu ilgā pētījuma rezultāti par siltumnīcefekta gāzu (CH_4 , N_2O , CO_2) un amonjaka (NH_3) emisijām no dažādām lauksaimniecības augsnēm Latvijā liecina, ka emisiju intensitāti būtiski ietekmē augsnes fizikāli ķīmiskās īpašības, organiskās vielas saturs, mitruma režīms un veiktie agrotehniskie pasākumi. Rezultāti apliecina, ka gan telpiskās, gan starpgadu svārstības ir nozīmīgas, un emisiju dinamika atspoguļo sarežģītu mikrobioloģisko un klimata faktoru mijiedarbību.
2. Augsnes veids ir viens no nozīmīgākajiem faktoriem SEG emisiju noteikšanā. Organiskajās augsnēs (Laflora, Mārupe) konstatētas ievērojami augstākas CO_2 un N_2O emisijas, kas skaidrojamas ar intensīvākiem organiskās vielas sadalīšanās procesiem un augstāku mitruma līmeni, savukārt minerālaugsnēs (Auce, Bērze, Mellupīte) emisiju intensitāte ir zemāka. Tajā pašā laikā CH_4 asimilācijas spēja samazinās lielākajā daļā vietu, izņemot Lafloru, kur ilgstošs ekstensīvs zemes izmantošanas režīms nodrošinājis stabilu mikrobioloģisko vidi un CH_4 piesaisti no atmosfēras.
3. N_2O emisiju analīze norāda, ka lielākā svārstību amplitūda un augstākās emisijas novērotas Mārupes un Auces mērījumu vietās, kur raksturīga intensīva lauksaimnieciskā darbība un bieža augsnes mehāniskā apstrāde. Savukārt Lafloras mērījumu vietā, kur dominē ilggadīgi krūmmelleņu stādījumi, novērota pat negatīva N_2O bilance, kas apliecina iespējamu denitrifikācijas procesu līdz N_2 gāzei. Statistiski nozīmīgas atšķirības konstatētas starp viszemāko vidējo N_2O vērtību un 2019., 2020., 2021., 2024. un 2025. gados novērotajām vidējām vērtībām, kas norāda uz meteoroloģisko apstākļu un mitruma svārstību būtisko ietekmi uz emisiju apjomu.
4. CO_2 emisiju līmenis visaugstākais bija Mārupes un Lafloras pētījumu vietās, kur organiskā augsne un tās aerācijas režīms veicina aktīvāku mikroorganismu elpošanu un organisko savienojumu mineralizāciju. Vidēji CO_2 emisijas 2025. gadā bija par 4.7% augstākas nekā 2018.–2021. gadā, bet par 17% zemākas nekā 2024. gadā, kas saistāms ar salīdzinoši vēsāku un mitrāku veģetācijas periodu.

5. NH_3 emisijas saglabājās nosacīti zemas, tomēr to dinamika atšķiras starp gadiem un vietām. Lielākais emisiju pieaugums 2025. gadā ir novērots Mārupē. Negatīvās NH_3 vērtības dažās vietās (piemēram, Mellupītē) liecina par augu spēju uzņemt amonjaku no atmosfēras vai par efektīvu slāpekļa izmantošanu augsnē.
6. Augsnes apstrādes un kultūraugu salīdzinājums Pēterlauku Poķu stacionārā rāda, ka diskotajos laukos N_2O emisijas bija vairāk nekā 3 reizes augstākas nekā artajos, savukārt CH_4 asimilācija artajos laukos bija apmēram 3.5 reizes lielāka, kas norāda uz būtisku mehāniskās iedarbības lomu gāzu apmaiņas procesos.
7. Korelācijas analīze apstiprina, ka augsnes temperatūra un mitrums ir galvenie SEG emisiju regulējošie faktori. Augsnes mitruma līmenim palielinoties, N_2O , CH_4 un CO_2 emisijas palielināsies, bet, paaugstinoties augsnes temperatūrai, palielināsies CO_2 , NH_3 , bet samazināsies N_2O .
8. Pētījuma rezultāti uzsver nepieciešamību pēc reģionāli pielāgotā, un datiem balstītu lauksaimniecības prakšu ieviešanu, jo SEG un NH_3 emisiju līmenis būtiski mainās atkarībā no augsnes tipa, mitruma, organiskās vielas satura un klimatiskajiem apstākļiem konkrētajā teritorijā. Šo faktoru mijiedarbība nosaka emisiju intensitāti, tāpēc efektīvu emisiju samazināšanas stratēģiju izstrādei ir jāņem vērā gan vides īpatnības, gan izmantotie agrotehniskie pasākumi. Pētījums sniedz būtiskus empīriskus pierādījumus tam, ka pielāgoti agrotehniskie pasākumi, piemēram, augsnes apstrādes intensitātes samazināšana un kultūraugu izvēle, var ievērojami samazināt SEG emisijas un uzlabot augsnes īpašības.
9. Šie rezultāti vienlaikus uzsver ilgtermiņa monitoringa un datu vākšanas nozīmi, lai izprastu agrotehnisko pasākumu, augsnes īpašību un meteoroloģisko faktoru kompleksās ietekmes uz emisiju dinamiku, un palīdzētu nošķirt meteoroloģisko svārstību efektu no stabilām, sistemātiskām tendencēm.

LITERATŪRAS AVOTI

- Alskaf, K., Mooney, S. J., Sparkes, D. L., Wilson, P., and Sjögersten, S. (2021). Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil Tillage Res.* 206, 104803. doi:10.1016/J.STILL.2020.104803.
- Bilandžija, D., Zgorelec, Ž., & Kisić, I. (2016). Influence of tillage practices and crop type on soil CO₂ emissions. *Sustainability*, 8(1), 90. <https://doi.org/10.3390/su8010090>.
- Bouwman, A. F., Boumans L. J. M., Batjes N. H. (2002). Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global Biogeochemical cycles* 16/4, p. 6-1 – 6-13.
- Chalco Vera, J., Curti, R. N., and Acreche, M. M. (2020). Integrating critical values of soil drivers for mitigating GHGs: An assessment in a sugarcane cropping system. *Sci. Total Environ.* 704, 135420. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135420>
- Chen, Peter Y., Popovich, Paula M., (2002). *Correlation: Parametric and Nonparametric Measures* 1st (first) edition by Chen, Peter Y.; Popovich, Paula M., Thousand Oaks (Calif.): Sage, 2002.
- Coffman, D.L., Maydeu-Olivares, A., Arnau, J., (2008). Asymptotic distribution free interval estimation: For an intraclass correlation coefficient with applications to longitudinal data *Methodology*, 4 (1), pp. 4-9.
- Feigenwinter, I., Hörtnagl, L., Buchmann, Nina. (2023). N₂O and CH₄ fluxes from intensively managed grassland: The importance of biological and environmental drivers vs. management, *Science of The Total Environmt*, 166389, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166389>
- Fleck, D., Y. He, C. Alexander, G. Jacobson, Cunningham, K., (2013). Simultaneous soil flux measurements of five gases - N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, and H₂O - with the Picarro G2508. *Picarro Appl. Note* AN034.
- Galić, M., Bilandžija, D., Perčin, A., Šestak, I., Mešić, M., Blažinkov, M., ... & Zgorelec, Ž. (2019). Effects of agricultural practices on carbon emission and soil health. *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0271>
- Gerin S., Vekuri H., Liimatainen M., Tuovinen J., Kekkonen J., Kulmala L., Laurila T., Linkosalmi M., Liski J., Joki-Tokola E., Lohila A., Two contrasting years of continuous N₂O and CO₂ fluxes on a shallow-peated drained agricultural boreal peatland, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 341, 2023, 109630, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109630>
- Hu, Y. (2022). Effect of conservation tillage on soil and water quality. *Academic Journal of Science and Technology*, 3(3), 124-126. <https://doi.org/10.54097/ajst.v3i3.2834>
- Iqbal, A., Khan, A., Green, S., Ali, I., He, L., Zeeshan, M., ... & Wei, S. (2021). Long-term straw mulching in a no-till field improves soil functionality and rice yield by increasing soil enzymatic activity and chemical properties in paddy soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184(6), 622-634. <https://doi.org/10.1002/jpln.202100089>
- Jiang, M., Yang, N., Zhao, J., Shaaban, M., and Hu, R. (2021). Crop straw incorporation mediates the impacts of soil aggregate size on greenhouse gas emissions. *Geoderma* 401, 115342. doi:10.1016/J.GEODERMA.2021.115342.

- Kaduwal, S. (2023). Residue management and nutrient dynamics in conservation agriculture: a review. *Agronomy Journal of Nepal*, 7, 139-148. <https://doi.org/10.3126/ajn.v7i1.62169>
- Kibet, E., Musafiri, C., Kiboi, M., Macharia, J., Ng'etich, O., Kosgei, D., ... & Ngetich, F. (2022). Soil greenhouse gas emissions from different land utilization types in western kenya. *Frontiers in Soil Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.956634>
- Kotroczo, Z., Makádi, M., Kocsis, T., Béni, Á., Várbíró, G., & Fekete, I. (2023). Long-term changes in organic matter content and soil moisture determine the degree of root and soil respiration. *Plants*, 12(2), 251. <https://doi.org/10.3390/plants12020251>
- Lapveteläinen, T., Regina, K., Perälä, P. (2007). Peat based emissions in Finland's national greenhouse gas inventory. *Boreal Environ. Res.* 12, 225–236.
- LR, (1995). Likums Par Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām, pieņemts LR Saeimā 1995.gada 23.februārī. Pieejams: <http://m.likumi.lv/doc.php?id=34198>
- LVĢMC, (2025). Klimata portāls. Atlanti. Laika apstākļu raksturojums. Pieejams: <https://klimats.meteo.lv/>
- Ma, C. (2023). Analysis of the effects of different tillage methods on soil water holding characteristics and organic carbon storage in farmland. *Nass Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 28-33. <https://doi.org/10.36956/njas.v5i1.786>
- Ma, Z., Shrestha, B. M., Bork, E. W., Chang, S. X., Carlyle, C. N., Döbert, T. F., et al. (2021). Soil greenhouse gas emissions and grazing management in northern temperate grasslands. *Sci. Total Environ.* 796, 148975. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2021.148975
- Maier, R., Hörtnagl, L., Buchmann, N., Greenhouse gas fluxes (CO₂, N₂O and CH₄) of pea and maize during two cropping seasons: Drivers, budgets, and emission factors for nitrous oxide, *Science of The Total Environment*, Volume 849, 2022, 157541, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157541>
- Martens, M., Karlsson, N. P. E., Ehde, P. M., Mattsson, M., and Weisner, S. E. B. (2021). The greenhouse gas emission effects of rewetting drained peatlands and growing wetland plants for biogas fuel production. *J. Environ. Manage.* 277, 111391. doi:10.1016/J.JENVMAN.2020.111391.
- Miao, Q. (2023). Maximizing grains while minimizing yield-scaled greenhouse gas emissions for wheat production in china. *Agronomy*, 13(11), 2676. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112676>
- Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., Zagal, E., (2010). Greenhouse gas (CO₂ and N₂O) emissions from soils: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(3):485-497.
- Nikodemus O., Kārklīš A., Kļaviņš M., Melecis V., (2009). Augsnes ilgspējīga izmantošana un aizsardzība. Rīga: Latvijas Universitāte.
- NIR (2025) Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol 1990 – 2023. Pieejams: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2025>
- Nishimura, S., Sawamoto, T., Akiyama, H., Sudo, S., & Yagi, K. (2004). Methane and nitrous oxide emissions from a paddy field with japanese conventional water management and fertilizer application. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(2). <https://doi.org/10.1029/2003gb002207>

- Oertel, C., Matschullat J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde* 76 327–352.
- Pereira, B., Filho, A., Scala, N., & Figueiredo, E. (2022). Greenhouse gas emissions and carbon footprint of collard greens, spinach and chicory production systems in southeast of Brazil. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1015307>
- Peterson, B. L., Hanna, L., & Steiner, J. L., (2019). Reduced soil disturbance: Positive effects on greenhouse gas efflux and soil N losses in winter wheat systems of the southern plains. *Soil and Tillage Research*, 191, 317-326.
- Ray, R., Griffin, R., Fares, A., Elhassan, A., Awal, R., Woldesenbet, S., ... & Risch, E. (2020). Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62267-6>
- Roßkopf, N., Fell, H., Zeitz, J. (2015). Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena* 133 (2015) 157–170.
- Rouch, L., Follain, S., Pimet, E., Bizouard, F., Cognard, E., Mathieu, O., ... & Blouin, M. (2023). Ancient and modern wheat varieties: a trade-off between soil CO₂ emissions and grain yield?. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 2(3), 238-250. <https://doi.org/10.1002/sae2.12048>
- Shakoor, A., Shakoor, S., Rehman, A., Ashraf, F., Abdullah, M., Shahzad, S. M., et al. (2021). Effect of animal manure, crop type, climate zone, and soil attributes on greenhouse gas emissions from agricultural soils—A global meta-analysis. *J. Clean. Prod.* 278, 124019. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2020.124019.
- Signor, D., Cerri, C. E. P., (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 322-338.
- Struck, I. J. A., Taube, F., Hoffmann, M., Kluß, C., Herrmann, A., Loges, R., et al. (2020). Full greenhouse gas balance of silage maize cultivation following grassland: Are no-tillage practices favourable under highly productive soil conditions? *Soil Tillage Res.* 200, 104615. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104615.
- Tan, Y., Wu, D., Bol, R., Wu, W., and Meng, F. (2019). Conservation farming practices in winter wheat–summer maize cropping reduce GHG emissions and maintain high yields. *Agric. Ecosyst. Environ.* 272, 266–275. doi:https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.001.
- UN, (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, 1998, 21 pp. Pieejams: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarso, D., Page, S.E., Renou-Wilson, F., Rieley, J.O., Sirin, A., Strack, M. and Tuittila, E.- S. (2016). Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat*, Volume 17, Article 04, p. 1-28.
- Zhang, Z., Yu, Z., Zhang, Y., & Yu, S. (2022). Impacts of fertilization optimization on soil nitrogen cycling and wheat nitrogen utilization under water-saving irrigation. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878424>
- Zhao, H., Qin, J., Gao, T., Zhang, M., Sun, H., Zhu, S., ... & Ning, T. (2022a). Immediate and long-term effects of tillage practices with crop residue on soil water and organic carbon storage changes under a wheat-maize cropping

- system. *Soil and Tillage Research*, 218, 105309.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105309>
- Zhao, H., Tian, X., Jiang, Y., Zhao, Y., & Cheng, B. (2021). Effect of combining straw-derived materials and wood ash on alkaline soil carbon content and the microbial community. *European Journal of Soil Science*, 72(4), 1863-1878.
<https://doi.org/10.1111/ejss.13081>
- Zhao, H., Wu, L., Zhu, S., Sun, H., Xu, C., Fu, J., ... & Ning, T. (2022b). Sensitivities of physical and chemical attributes of soil quality to different tillage management. *Agronomy*, 12(5), 1153.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12051153>
- Zheng, Q., Ding, J., Li, Q., Xu, C., Lin, W., Zhuang, S., ... & Kou, X. (2020). N₂O fluxes and related processes of denitrification in acidified soil..
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-136928/v1>



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR DARBA UZDEVUMA IZPILDI

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā

DARBA UZDEVUMS: Meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmas pilnveidošana un funkcionalitātes paplašināšana Latvijas teritorijā – 2.2. turpināt drenu kolektoru (ar diametru 10–20 cm) līnijveida objektu topoloģisko savienošanu, izmantojot meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmā esošos līnijveida objektus un 2021., 2022. un 2023. gadā aprobēto valsts nozīmes ūdensnoteku un grāvju tīkla un drenu kolektoru (ar diametru, kas lielāks par 20 cm) līnijveida objektu topoloģiskās savienošanas metodiku

IZPILDĪTĀJI: Ainis Lagzdiņš

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

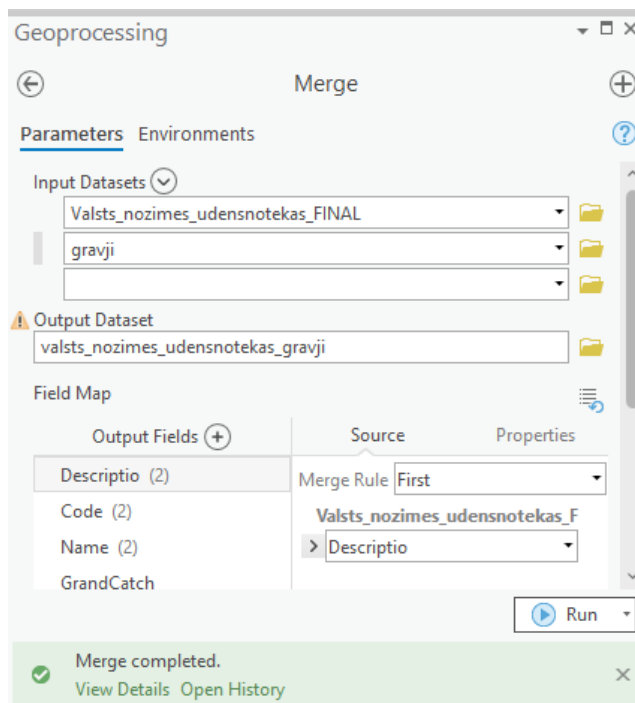
1. METODIKA LĪNIJVEIDA OBJEKTU TOPOLOĢISKAI SAVIENOŠANAI

Atskaitē raksturotas un paskaidrotas darbības, kuras ir nepieciešams veikt ArcGIS Pro programmatūrā, lai topoloģiski savienotu divus vektora datu formāta līnijveida objektu slāņus.

Izveido jaunu ArcGIS Pro projektu – *Project*, kas satur jaunu karti – *Map*.

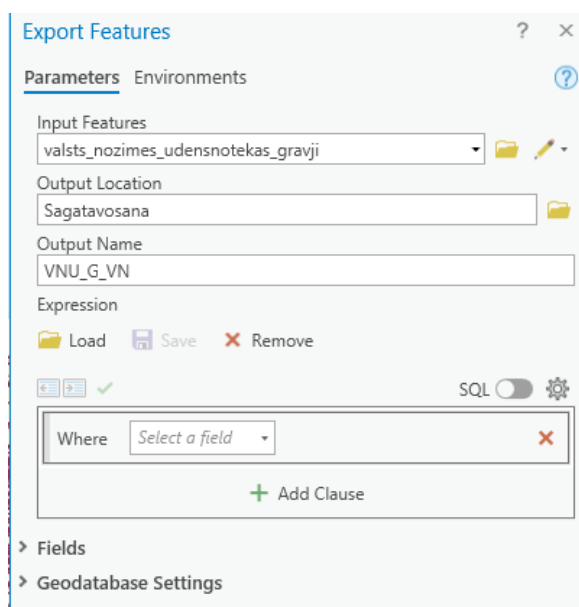
Jaunizveidotajā kartē atver paneli *Catalog*, sameklē līnijveida objektu slāņus vektora datu formātā, kurus nepieciešams topoloģiski savienot, un pievieno tos kartei. Atskaitē izmantots piemērs, kurā topoloģiski tiek savienoti meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmā ietvertie līnijveida objekti, t.sk., valsts nozīmes ūdensnotekas (slānis *Valsts nozīmes ūdensnotekas FINAL*), grāvji (slānis *Grāvji*) un kolektori, kuru diametrs ir virs 20 cm (slānis *BigDrainCollectors* un *kolektori_diametrs_virs_20*).

Lai izveidotu apvienotu slāni (slānis *Valsts nozīmes ūdensnotekas grāvji*), cilnī *Analysis* atver paneli *Tools*, kas nodrošina iespēju meklēt un atvērt nepieciešamo *Geoprocessing* rīku – *Merge* (1. att.).



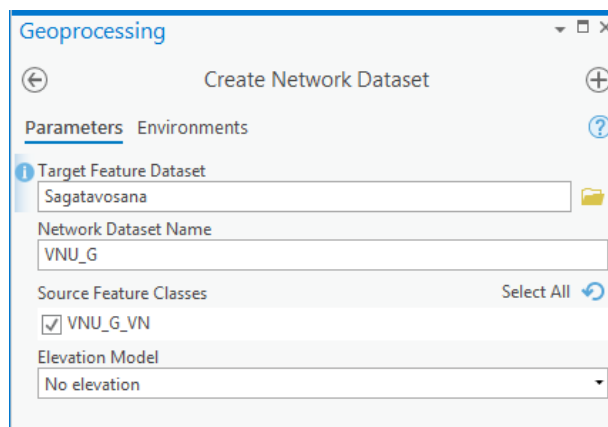
1. att. *Geoprocessing* rīka *Merge* pielietojums jauna slāņa *Valsts nozīmes ūdensnotekas grāvji* izveidei.

Lai noteiktu slānī *Valsts nozīmes ūdensnotekas grāvji* esošās topoloģiskās kļūdas, slāni sagatavo darbam, eksportējot slānī esošos objektus uz jaunizveidotu objektu datu kopu (*Create feature dataset*). Dotajā piemērā failu ģeodatatubāzē *valsts_nozimes_udensnotekas_gravji.gdb* ir izveidota objektu datu kopa *Sagatavosana*, kurā iekļaujas saistītu objektu klašu kolekcija ar kopīgu koordinātu sistēmu. Šajā objektu datu kopā tiek izveidota objektu klase *VNU_G_VN*, kas satur informāciju par valsts nozīmes ūdensnotekām un grāvjiem (2. att.)



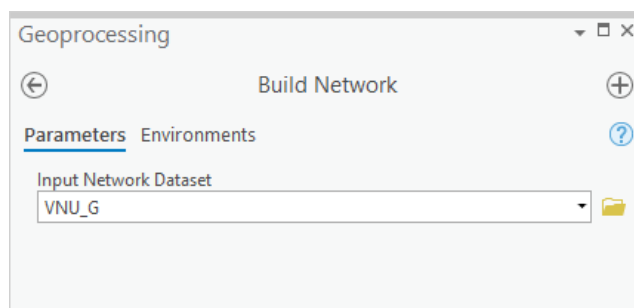
2. att. Darba slāņa eksportēšana uz jaunu objektu datu kopu un jaunas objektu klases izveide.

Nākamajā solī objektu datu kopā *Sagatavosana* ir jāizveido tīkla datu kopa, izmantojot *Geoprocessing* rīku *Create Network Dataset (Network Analyst)*, lai sagatavotu datu kopu tīkla analīzei. Ar šo rīku izveidotā tīkla datu kopa ir konfigurēta ar pamata noklusējuma iestatījumiem (3. att.)



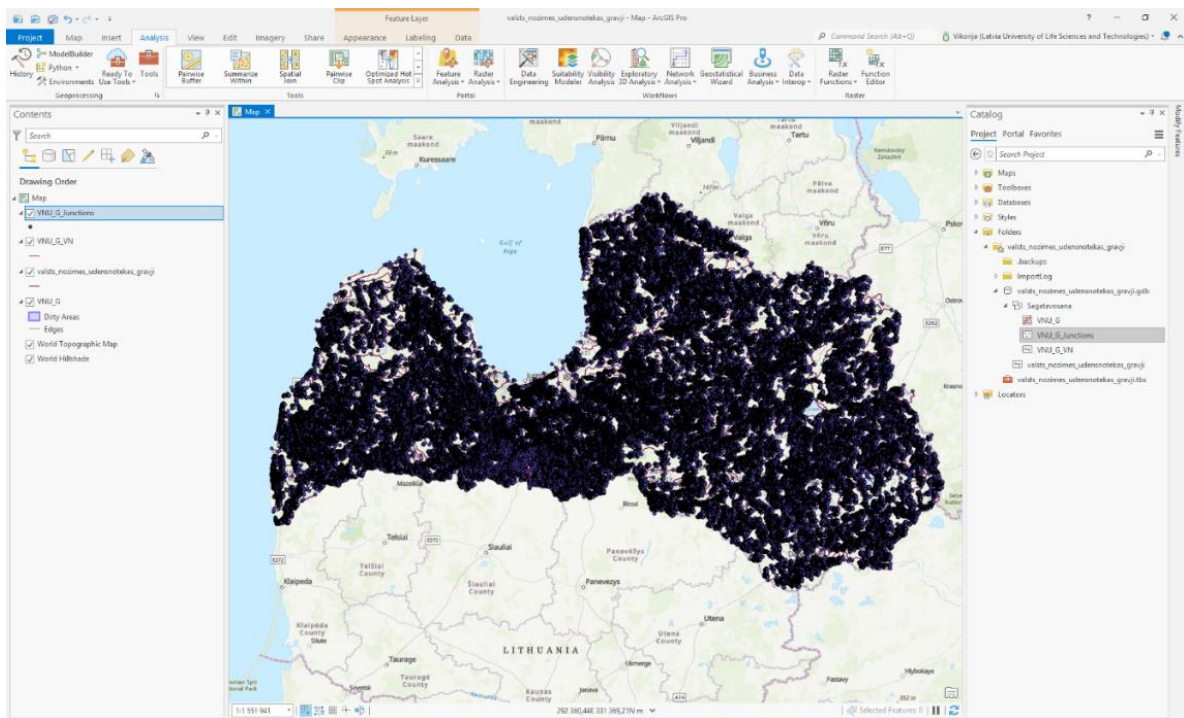
3. att. *Geoprocessing* rīka *Create Network Dataset* pielietojums tīkla datu kopas *VNU_G* izveidei.

Kad tīkla datu kopa ir izveidota un konfigurēta, tās izveidi pabeidz ar *Geoprocessing* rīku *Build Network*, kas rekonstruē tīkla datu kopas tīkla savienojamību un atribūtu informāciju. Rediģējot objektus, rīks izveido tīkla savienojumus tikai tajos apgabalos, kas tiek rediģēti, tādējādi paātrinot datu apstrādes procesu. Pēc rīka pielietošanas tiek saņemti brīdinājumi, ja notikusi kļūdu konstatācija, kas var traucēt tīkla darbību (4. att.).



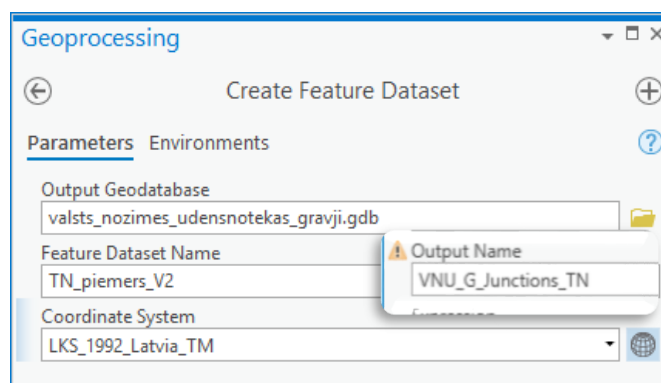
4. att. *Geoprocessing* rīka *Build Network* pielietojums tīkla datu klasei *VNU_G*.

Iegūtos savienojuma punktus *VNU_G_Junctions* var pievienot izveidotajam ArcGIS Pro projektam (5. att.).



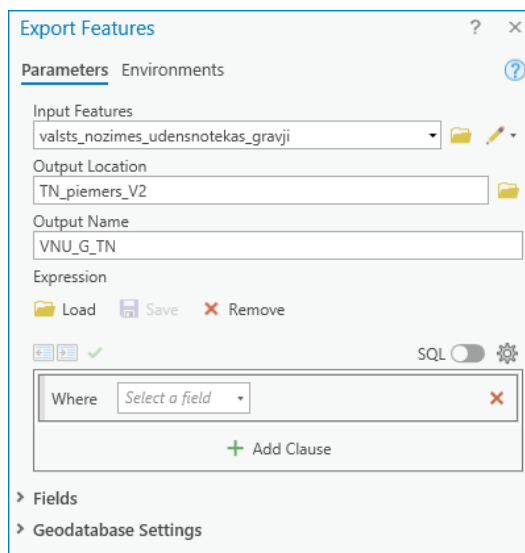
5. att. Savienojuma punktu pievienošana un attēlošana projektā.

Turpmāko darbību veikšanai nepieciešama jaunas objektu datu kopas izveide, izmantojot *Geoprocessing* rīku *Create Feature Dataset* (6. att.). Jaunizveidotā objektu datu kopa *TN_piemers_V2* tiks izmantota datu analīzei ar *Geoprocessing* rīku *Create Trace Network*.



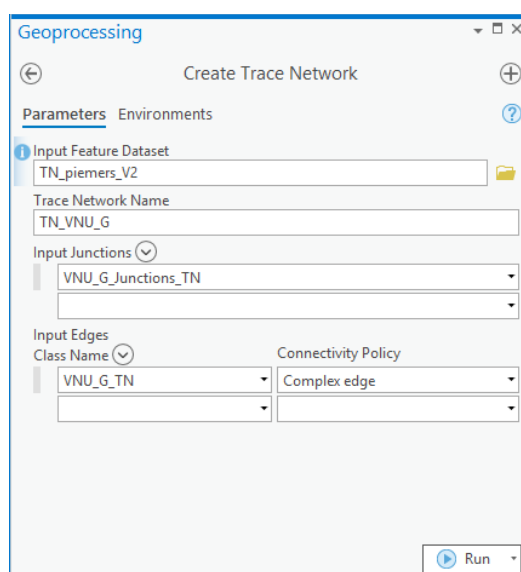
6. att. Jaunas objektu datu kopas *TN_piemers_V2* izveide.

Objektu klases *VNU_G_Junctions* un *VNU_G_VN* pirms tālāko darbību veikšanas tiek eksportētas uz jaunizveidoto objektu datu kopu *TN_piemers_V2* (7. att.).



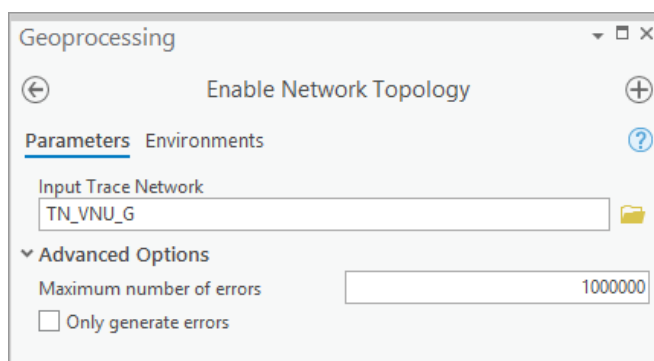
7. att. Objektu klases *VNU_G_Junctions* un *VNU_G_VN* eksportēšana uz jaunizveidoto objektu datu kopu *TN_piemers_V2*.

Geoprocessing rīks *Create Trace Network (Trace Network)* izveido izsekošanas tīklu. Izsekošanas tīkla datu kopa tiek izveidota, pamatojoties uz savienojumu punktu un līniju klasēm, kas norādītas izsekošanas tīklā. Izsekošanas tīkls nodrošina iespēju vizualizēt, pārvaldīt un strādāt ar vienkāršiem savienojamības modeļiem. Izsekošanas tīkls attēlo savienojamības attiecības starp objektu klašu objektiem datu kopā. Objektu klasēm jāatrodas tajā pašā objektu datu kopā, kurā atrodas izsekošanas tīkls (8. att.).



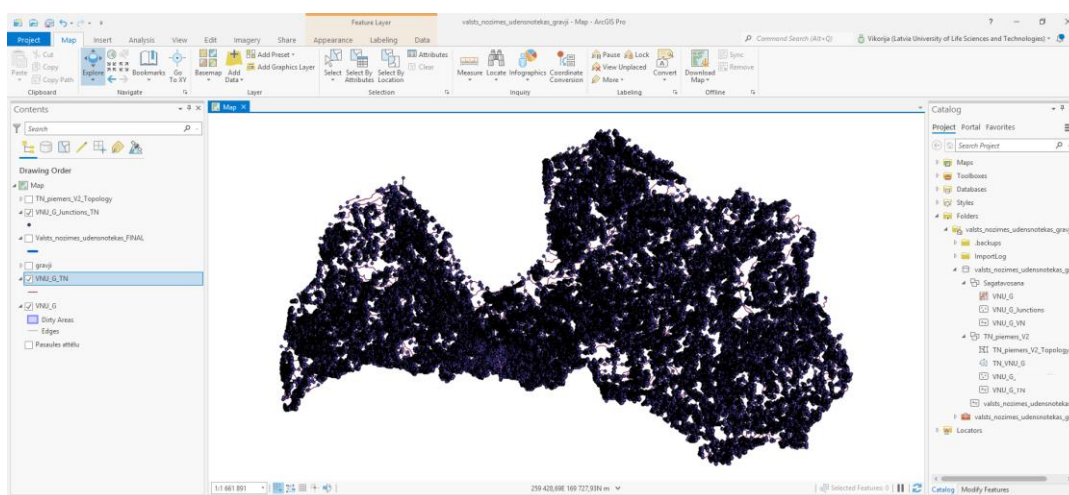
8. att. Izsekošanas tīkla *TN_VNU_G* izveidošana.

Izveidotais tīkls ir jāiespējo ar *Geoprocessing* rīku *Enable Network Topology* (9. att.).



9. att. Izsekošanas tīkla atspējošana.

Darbā nākamie soļi ietver izsekošanas tīkla pievienošanu projektam un savienojumu kļūdu identificēšanu (10. att.).



10. att. Izsekošanas tīkla pievienošana projektam.

Lai varētu labot ūdensobjektu savienojumu kļūdas, objektu datu kopai veido jaunu topoloģiju *New Topology*, izmantojot *Create Topology wizard* (11. att.). Vispirms jānorāda objektu klase, kurai tiks nodefinēti topoloģijas noteikumi, kuri nedrīkst tikt pārkāpti. Topoloģijas izveides pirmajā solī norāda topoloģijas nosaukumu, xy datu tolerances un atzīmē iesaistīto objektu klasi.

Define
Add Rules
► Summary

Topology Name:

XY Cluster Tolerance: Meter

Number of XY Ranks:

▼ Feature Classes

Name	XY Rank
VNU_G_TN	1

▼ Rules

Feature Class 1	Subtype 1	Rule	Feature Class 2	Subtype 2
VNU_G_TN		Must Not Overlap (Line)		
VNU_G_TN		Must Not Have Dangles (Line)		
VNU_G_TN		Must Not Have Pseudo-Nodes (Line)		

Page 3/3

Previous Next Finish Cancel

11. att. Topoloģijas izveides pirmais solis un nedefinētie topoloģijas noteikumi.

Nākamajā solī tiek pievienoti topoloģijas noteikumi, kuri nedrīkst tikt pārkāpti attiecībā uz valsts nozīmes ūdensnoteku un grāvju savienojamību (11. att.). Lielākajai daļai topoloģijas pārkāpumu ir iespējami kļūdu labojumi. Identificētajām topoloģijas kļūdām, pēc šajā solī nedefinētajiem noteikumiem, var piekļūt, izmantojot rīku *Fix Topology Error Tool*, vai arī kļūdu labošanai būs izmantojams *Error Inspector*. Dotajā piemērā tiek izmantoti sekojoši noteikumi:

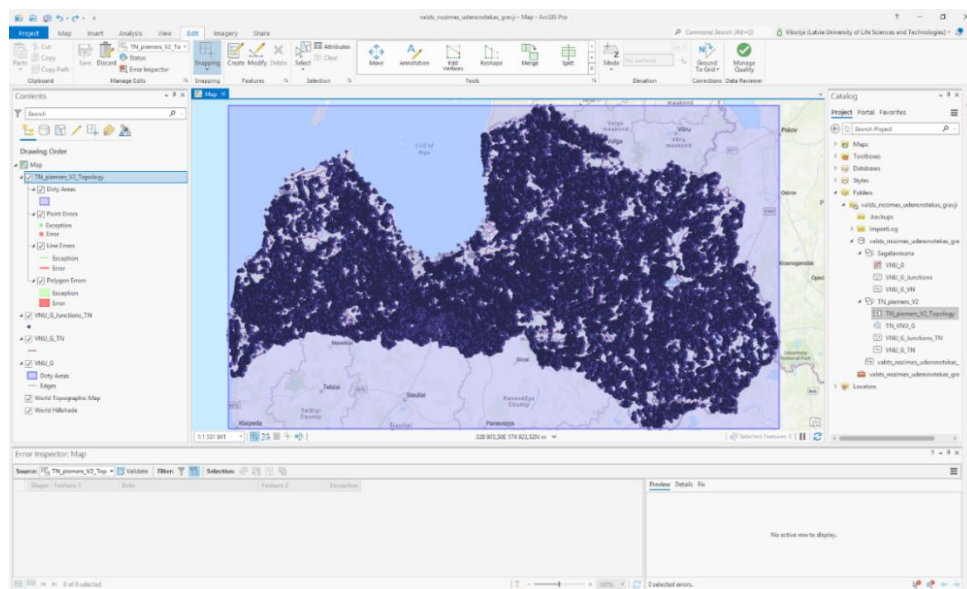
- *Must Not Overlap* – noteikumu nepieciešams definēt, lai līnijas objektu klasē nepārklājas;
- *Must Not Have Dangles* – noteikumu definē, lai līnijas objektu klasē saskartos. Līnijas beigu punktu, kas nav savienots ar citu līniju nav savienots ar citu līniju, sauc par *Dangle*;
- *Must Not Have Pseudo Nodes* – nepieciešams, lai līnija neveido pseidomezglu, t.i., lai tā nesavienojas pati ar sevi.

Topoloģiju jeb dažādu ģeotelpisko objektu savstarpējo attiecību noteikšana ir svarīga, paredzot dažādas iespējamās konflikta situācijas. Topoloģijas lietošanai vienmēr galvenā nozīme ir bijusi datu kvalitātes uzlabošanai, lai atainotā situācija dabā iespējami atbilstu patiesībai. Attiecībā uz līnijas veida objektiem, trīs svarīgākie topoloģijas likumi ir iekļauti 1. tabulā.

1.tab. Uz līnijveida objektiem attiecināmie topoloģijas likumi

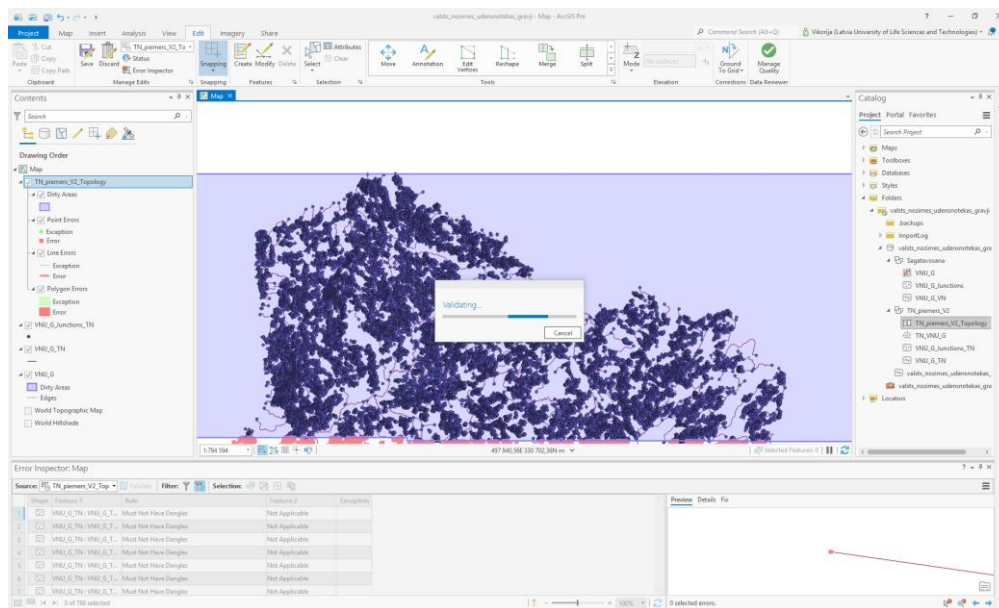
Topoloģijas likums	Topoloģijas likuma skaidrojums
Nedrīkst būt pārklājošas līnijas	Nedrīkst būt pārklājošas līnijas, kā arī krustojumu vietā tām jābūt atdalītām
Nedrīkst būt nesavienotas līnijas	Nedrīkst būt nesavienotas līnijas
Nedrīkst būt pseidomezglu	Nedrīkst būt pseidomezglu, kā arī nesavienojas pati ar sevi

Lai varētu uzsākt kļūdu labošanas procesu, projektam pievieno topoloģijas slāni un ielādē *Error Inspector* (12. att.).



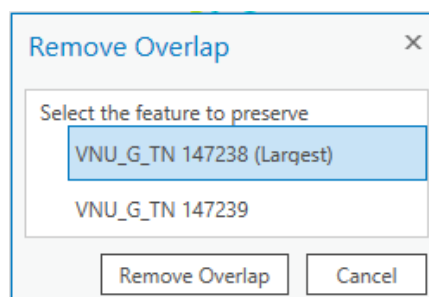
12. att. Topoloģijas slāņa pievienošana projektam.

Error Inspector logā atfiltrē kļūdas pēc definētajiem noteikumiem. Piemēram, 13. attēlā redzamas kļūdas, kuras atrastas pēc definētā likuma *Must Not Dangles* jeb nedrīkst būt nesavienotas līnijas.



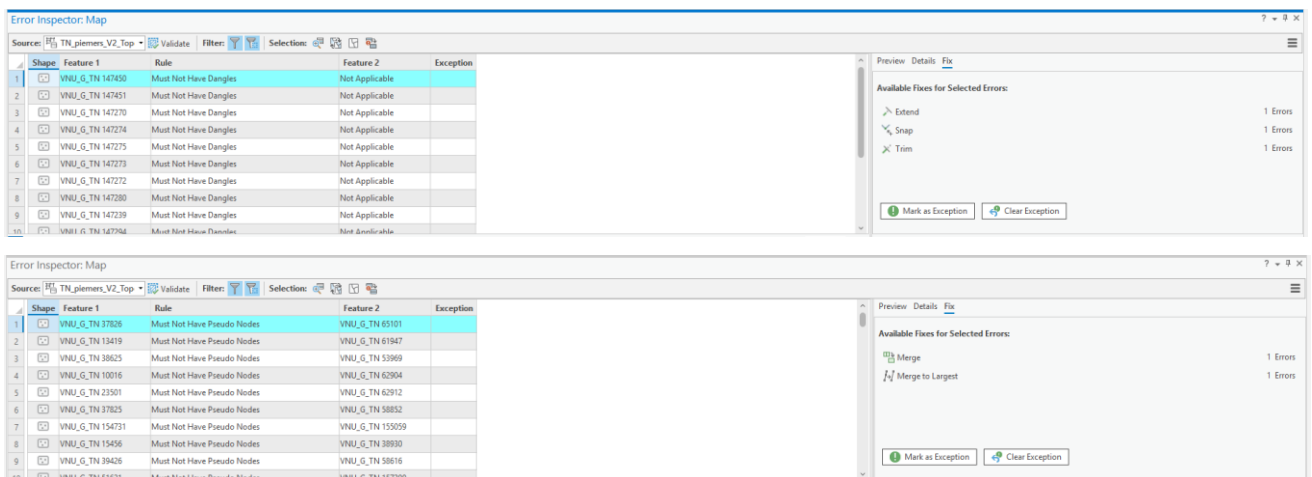
13. att. Topoloģijas kļūdu identificēšana un labošana.

Error Inspector izvēlne piedāvā identificētās kļūdas novērst ar *Remove Overlap* (14. att.).



14. att. *Remove Overlap* izmantošana kļūdas *Must not Overlap* labošanā.

Pēc kļūdu labošanas un validācijas rīka izmantošanas, var secināt, ka kļūda vairs objektu klasē nepastāv. Darba turpinājumā uzsāk nākamo grupas kļūdu labošanu (15. att.).

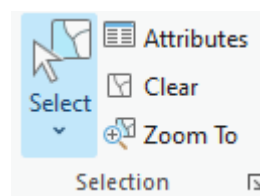


15. att. Pārējo kļūdu grupu identifikācija un piedāvātie kļūdu novēršanas risinājumi.



16. att. Ar sarkanu apzīmēta kļūda, kuru nevar novērst ar *merge* funkciju

Gadījumā, ja *merge to largest* funkcija nedarbojas, lai atrisinātu problēmu nepieciešams, ir jāatvēr *attribute table* un ar *select* jāizvēlas līnija, kuru pievienot pie lielākā izmēra kolektora, redzams 17. att.



17. att. Rīkjoslā atrodamā *select* funkcija

Iezīmējot abas līnijas, jānovērtē kura visprecīzāk uzvilkta un jāpārkopē dati uz paliekošo slāni. Paliekošo līniju izvēlas – ja savienota ar drenu sistēmu, ja otras līnijas datu rindā nav ierakstu (skat. 18. att.). Kad informācija pārkopēta, nevajadzīgo līniju izdzēš no atribūtu tabulas.

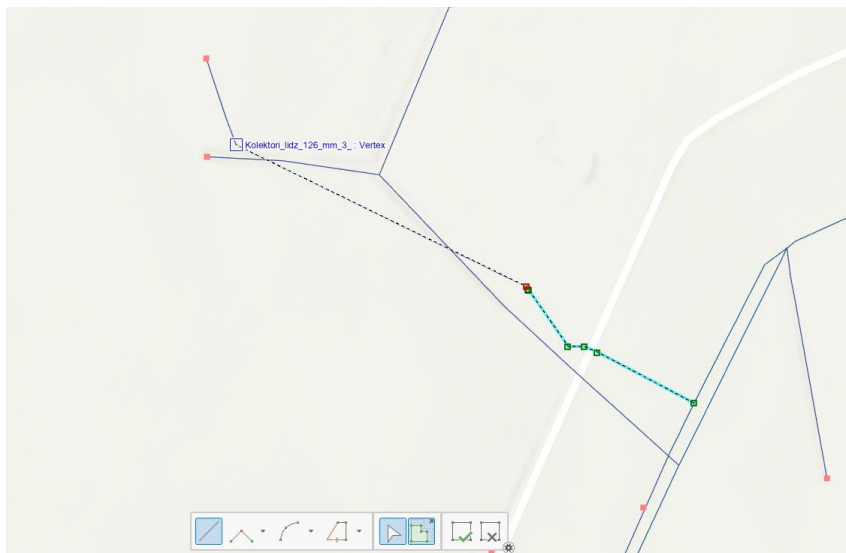
Field: Add Calculate Selection: Select By Attributes Zoom To Switch Clear Delete Copy Highlighted: Unselect Reset Zoom To Switch Clear Delete Copy											
OBJECTID *	Shape *	Code	Name	Kods	Numb	Diameter	Diameter_K	ObjCode_K	SysCode_K	Code_K	Flow direction
1	73072	Polyline	412345263		1	38	0	0			
2	154467	Polyline	<Null>		<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
Click to add new row.											

18. att. Atribūtu tabulas dati izvēlētajām līnijām.

Gadījumā, ja vienai līnijai nav iespējams veikt *merge* funkciju, tad izvēlās *edit vertices* rīku un manuāli pārvelk līniju vai pielabo izbīdītos punktus (skat. 19. un 20. att.).



19. att. Ar dzeltenu atzīmēta kļūda, kuru nevar novērst ar *merge* funkciju.



20. att. Iezīmēts līnijas posms kurā jāveic korekcijas.

2. REZULTĀTU PIEMĒRI PĒC TOPOLOĢISKĀS SAVIENOŠANAS

Šajā nodaļā ir sniegti vizuāli piemēri ģeotelpiskās datu bāzes elementiem un konsolidētam skatam pēc topoloģiskās savienošanas darbu pabeigšanas. Šajā pētījuma posmā topoloģiskā savienošana veikta noteiktai meliorācijas sistēmu elementu līnijveida objektu grupai. Līdzšinējos pētījuma posmos sagatavotajam līnijveida objektu slānim, kas ietvēra valsts nozīmes ūdensnotekas, grāvjus, liela izmēra drenu kolektorus un drenu kolektorus ar diametru līdz 15,5 cm, tika pievienoti drenu kolektoriem ar diametru no 15,0 cm līdz 12,6 cm, kas kopskaitā ir 36 857 vienības (27. att.).

Drenu kolektori ar diametru līdz 12,6 cm ir uzskatāmi par novadkolektoriem, kuriem var tieši pievienot mazāka diametra kolektorus un drenas. Šāda diametra drenu kolektoru izmanto visai bieži, jo tie ir universāli - tiem var pievienot drenāžu un izmantot kā novadkolektoru. Drenu kolektori ar diametru līdz 12,6 cm var būt drenu sistēmu noslēdzošais posms, kas novada ūdeni atvērtā gultnē vai būt pārejas posms kolektoru diametru maiņai. Visā Latvijas teritorijā ir veikta topoloģiskā savienošana drenu kolektoriem ar diametru līdz 12,6 cm un iekļauta ģeotelpiskajā datu bāzē.

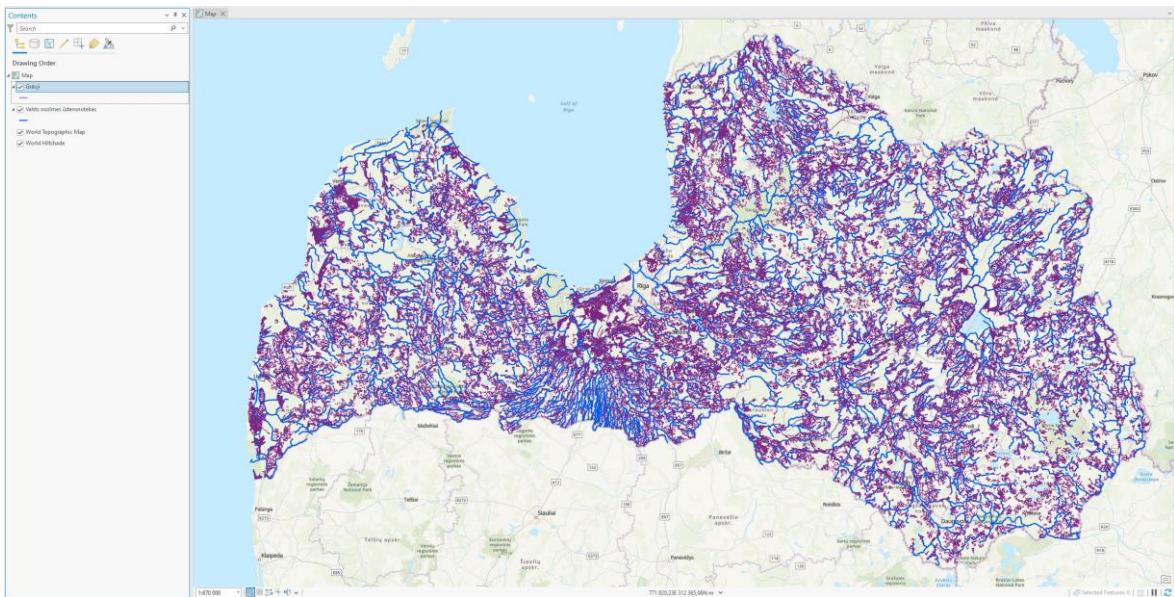
Veidojot ģeotelpiskās informācijas sistēmu, topoloģiskās savienošanas veikšana tika sadalīta posmos, saskaņā ar meliorācijas sistēmu elementu savstarpējo pakārtotību. Sākuma posmā tika savienotas valsts nozīmes ūdensnotekas un iekļautas vienotā datu bāzē un verificētas (21. att.). Nākamajā posmā valsts nozīmes ūdensnotekām tika pievienotas grāvju sistēmas, iekļaujot visu grāvju (kontūrgrāvju, susinātājgrāvju, ceļa grāvju, novadgrāvju) topoloģisko savienošanu un verifikāciju (22. att.). Gadījumos, ja grāvis nav hidrauliski savienots ar nākamā līmeņa ūdensnoteku, tas tika atzīmēts kā izņēmums. Turpinājumā valsts nozīmes ūdensnotekām un grāvjiem tika pievienoti liela izmēra drenu kolektori, kuru diametrs ir robežās no 150,0 cm līdz 30,0 cm (23. att.). Sekojošajos soļos iepriekš izveidotajā meliorācijas sistēmu elementu līnijveida objektu datu bāzei tika pakāpeniski pievienoti drenu kolektori ar diametru līdz 15,5 cm (24. att. un 25. att.). Noslēdzošajā posmā datu bāzei tika pievienoti drenu kolektori ar diametru no 15,0 cm līdz 12,6 cm (26. att.).

Valsts nozīmes ūdensnoteka ir dabiska vai regulēta ūdenstece (upe, strauts), kā arī speciāli rakta gultne, kas uztver un novada ūdens noteci no vairākām meliorācijas sistēmām, citām teritorijām vai virszemes ūdensobjektiem. Visā Latvijas teritorijā ir veikta topoloģiskā valsts nozīmes ūdensnoteku līnijveida objektu savienošana un iekļaušana ģeotelpiskajā datu bāzē (21. att.).

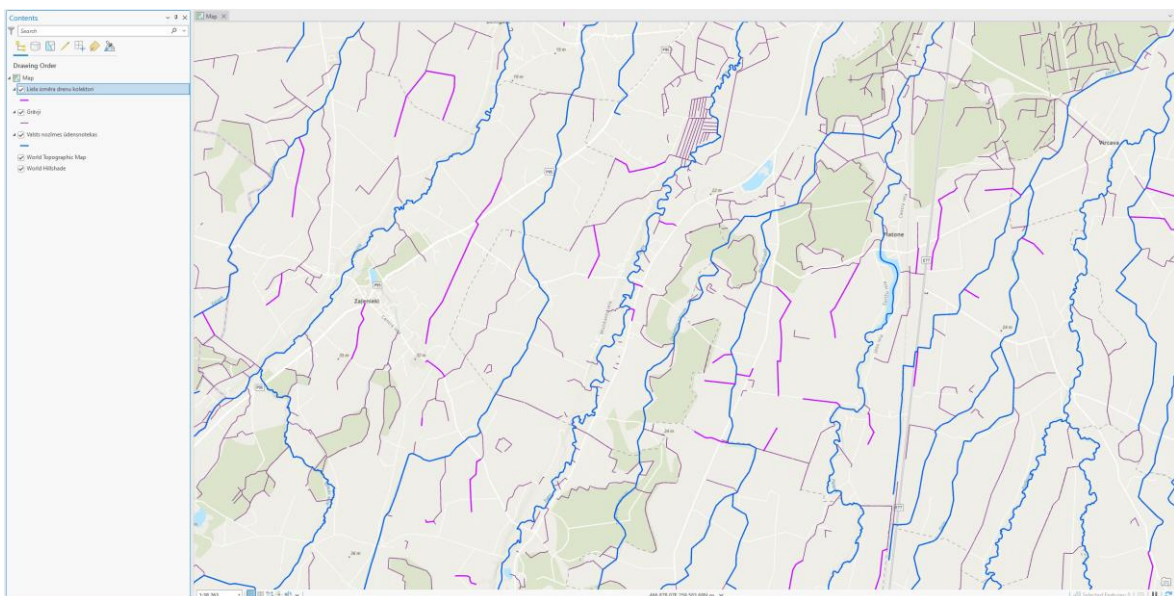


21. att. Topoloģiski savienoto valsts nozīmes ūdensnoteku līnijveida objektu piemērs.

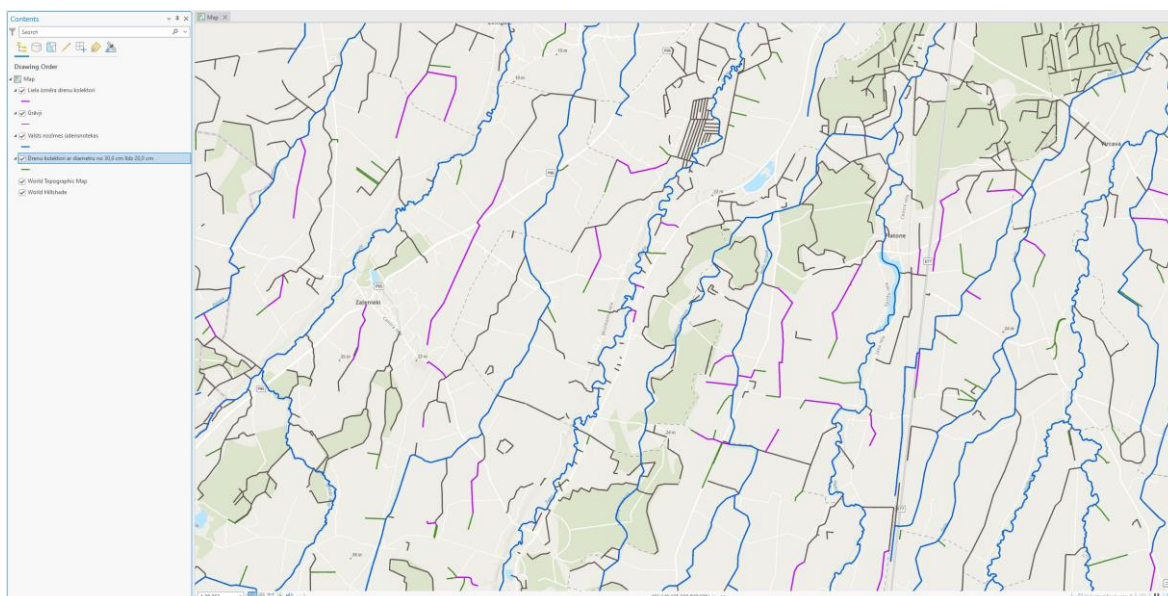
Grāvju sistēma sastāv no kontūrgrāvjiem, susinātājgrāvjiem, ceļa grāvjiem un novadgrāvjiem. Kontūrgrāvji veido norobežojošo tīklu, kuru galvenais uzdevums ir platību norobežošana no uzplūstošas virszemes noteces. Susinātājgrāvji veic lauksaimniecības zemju susināšanu, galvenokārt pļavās un ganībās. Ceļa grāvji nodrošina ceļa klātnes susināšanu un virsūdeņu novadīšanu no ceļa virsmas. Novadgrāvji ir nosusināšanas sistēmas būve, kas uztver ūdens pieteici no viena tipa nosusināšanas sistēmas regulējošā un norobežojošā tīkla un novada to līdz ūdensnoteka, ūdenstilpei vai jūrai. Novadgrāvis sākas ar drenu sistēmas izteku, divu susinātājgrāvju, kontūrgrāvju vai ceļa grāvju sateces vietu. Visā Latvijas teritorijā ir veikta topoloģiskā savienošana valsts nozīmes ūdensnoteku un grāvju tīklam un iekļauta ģeotelpiskajā datu bāzē (22. att.).



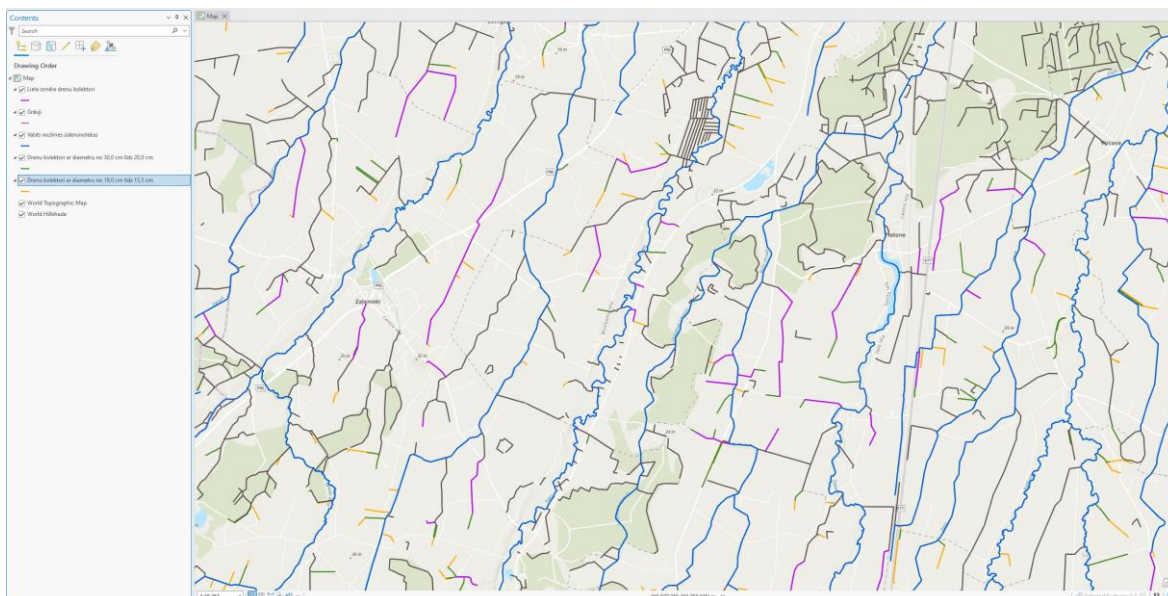
22. att. Topoloģiski savienoto valsts nozīmes ūdensnoteku un grāvju līnijveida objektu piemērs.



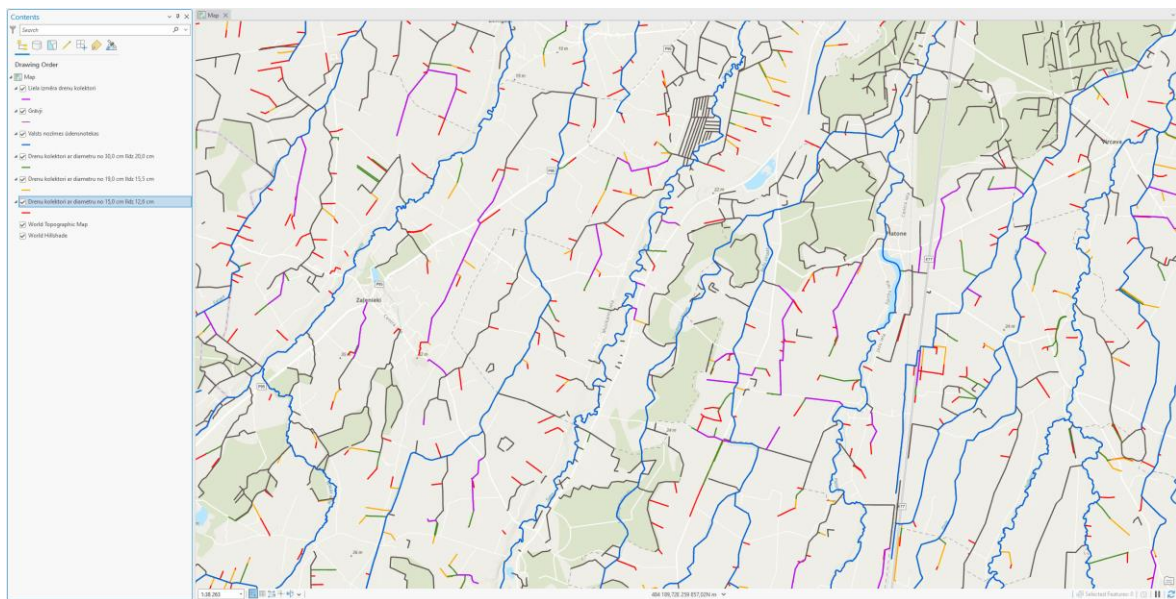
23. att. Topoloģiski savienoto valsts nozīmes ūdensnoteku, grāvju un liela izmēra drenu kolektoru līnijveida objektu piemērs.



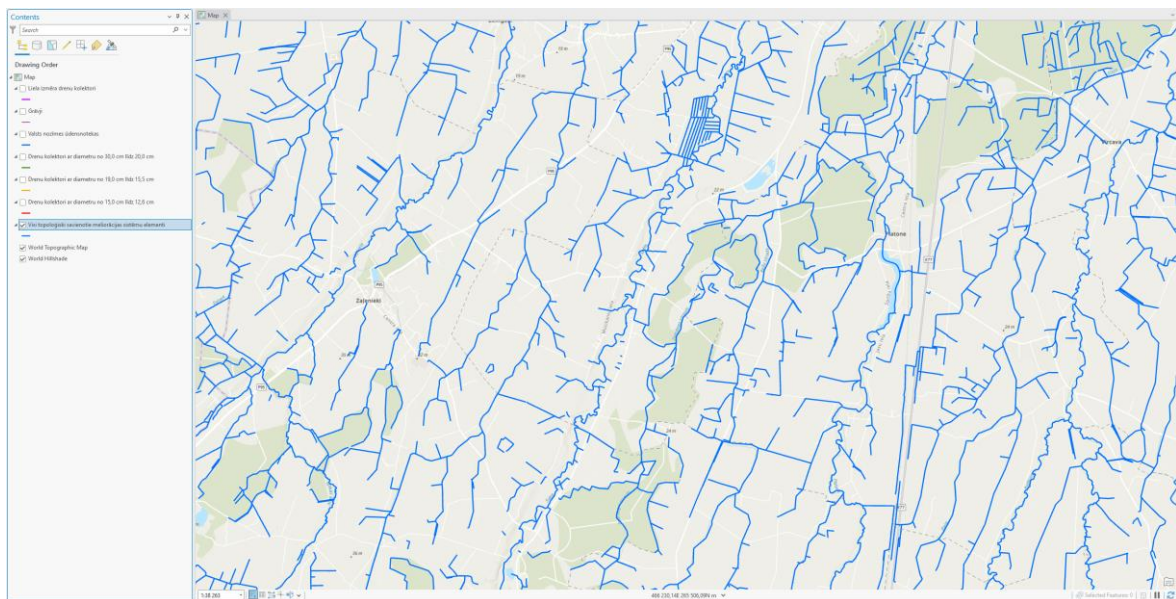
24. att. Topoloģiski savienoto valsts nozīmes ūdensnoteku, grāvju, liela izmēra drenu kolektoru un drenu kolektoru ar diametru no 30,0 cm līdz 20,0 cm līnijveida objektu piemērs.



25. att. Topoloģiski savienoto valsts nozīmes ūdensnoteku, grāvju, liela izmēra drenu kolektoru un drenu kolektoru ar diametru līdz 15,5 cm līnijveida objektu piemērs.



26. att. Topoloģiski savienoto valsts nozīmes ūdensnoteku, grāvju, liela izmēra drenu kolektoru un drenu kolektoru ar diametru līdz 12,6 cm līnijveida objektu piemērs.



27. att. Visu topoloģiski savienoto meliorācijas sistēmu elementu līnijveida objektu piemērs.

SECINĀJUMI

Programmatūra ArcGIS Pro piedāvā dažādus rīkus, kas efektīvi izmantojami topoloģijas kļūdu identificēšanai un labošanai. Pētījumā izmantotā metodika ir sekmīgi pielietota, lai savienotu valsts nozīmes ūdensnotekas, grāvjus un drenu kolektorus ar diametru līdz 12,6 cm.

Viena no būtiskām metodikas nepilnībām ir tas, ka tā prasa ievērojamu manuālā darba apjomu. Darbs ir mehānisks un laikietilpīgs, jo liela daļa kļūdu labošanas jāveic manuāli. Tā kā nav iespējams automatizēt visu savienošanas procesu, pastāv risks, ka cilvēka veiktā labošanas procesā var rasties cilvēciskas kļūdas. Piemēram, kļūdu “Nedrīkst būt nesavienotas līnijas” risināšanā nepieciešams pieņemt individuālus lēmumus par katras kļūdas optimālo labošanas veidu. Palielinoties objektu skaitam, kas ir jāpārbauda, manuālā darba apjoms ievērojamā palielinās un kļūst vēl laikietilpīgāks.

Kļūdu labošanas kvalitātes paaugstināšanai būtu nepieciešams noteikt papildu kritērijus, kas palīdzētu efektīvāk pieņemt lēmumus par konkrētā labošanas veida izvēli. Piemēram, ieteicams definēt precīzākus attālumu ierobežojumus, kuros līnijas automātiski tiek pievienotas citām līnijām.

Lai samazinātu manuālā darba apjomu un iespējamo cilvēcisko kļūdu iespējamību, būtu vērtīgi apsvērt automatizācijas iespējas. Tas varētu ietvert papildu rīku izstrādi vai esošo rīku pielāgošanu, kas ļautu optimizēt savienošanas procesu.

Izveidotie slāņi būtu jāpārbauda, salīdzinot ar reālo situāciju dabā, lai identificētu biežāk sastopamās novirzes. Nepieciešamības gadījumā ieteicams precizēt papildu kritērijus un uzlabot labošanas procesu, lai sasniegtu lielāku precizitāti un efektivitāti.



ATSKAITE

PAR DARBA UZDEVUMA IZPILDI

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā

DARBA UZDEVUMS: Meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmas pilnveidošana un funkcionalitātes paplašināšana Latvijas teritorijā – 2.1. novērtēt meliorācijas sistēmu tehniskā stāvokļa pārmaiņas un aktualizēt kartogrāfisko materiālu, izmantojot LĢIA 2. cikla LiDAR datus

IZPILDĪTĀJI: Raitis Meļniks
Andis Lazdiņš

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Salaspils 2025

IEVADS

Pētījuma iepriekšējos posmos izstrādāta metodika automātiskai meliorācijas grāvju noteikšanai digitālajā reljefa modelī, izmantojot LiDAR datus. Rezultātā iegūts grāvju vektoru slānis līniju un poligonu veidā. Šī pieeja sniedz precīzākus rezultātus nekā citas līdzīgos pētījumos izmantotās metodes: lauksaimniecības zemēs grāvju tīkla kopējais garums noteikts ar līdz pat 96 % precizitāti, bet mežos 90 - 95 %, atkarībā no grāvju veida. Identificējamo grāvju minimālais dziļums ir 0,3 m, kas atbilst sezonālajiem grāvjiem. Metodika ir unikāla un jaunākajos pētījumos līdz šim nav aprakstīta līdzvērtīga. Metodika ir aprobēta lielu teritoriju un augstas izšķirtspējas reljefa datu analīzē, un izmantota grāvju un to savienojumu ar hidrogrāfisko tīklu identificēšanai. Iegūtā informācija ir nozīmīga ūdens resursu apsaimniekošanas, kvalitātes kontroles, riska izvērtēšanas un mitruma režīma modelēšanas vajadzībām (Roelens et al. 2017; Ivanovs & Lupikis 2018; Melniks et al. 2019, Melniks et al. 2022).

Šajā pētījumā izmantota iepriekšējos gados izstrādātā metodika, bet atšķirībā no iepriekšējā gada darba uzdevuma, veikta meliorācijas grāvju kartēšana izmantojot pieejamos 2. cikla LiDAR datus kā arī veikts meliorācijas grāvju un to parametru salīdzinājums starp abiem cikliem – kopējais garums, vidējais dziļums, vidējais platums summēts 1 km² karšu lapu sadalījumā.

Mērķis: veikt meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmas pilnveidošanu un funkcionalitātes paplašināšanu.

Darba uzdevums: novērtēt meliorācijas sistēmu tehniskā stāvokļa pārmaiņas un aktualizēt kartogrāfisko materiālu, izmantojot LĢIA 2. cikla LiDAR datus.

MATERIĀLI UN METODES

Digitālā reljefa modeļa (DEM) izveidei nepieciešamie LiDAR dati iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA). Pirmā cikla (ievākti no 2013. – 2019. gadam) LiDAR datu minimālais punktu blīvums ir 4 punkti m^{-2} , bet vidējais zemes punktu blīvums ir 1,5 punkti m^{-2} (LĢIA 2016). Šobrīd pieejamie otrā cikla LiDAR dati ir iegūti 2022. gadā un to punktu blīvums ir augstāks nekā 1. cikla datos – 6 punkti m^{-2} . Izmantoti visi pieejamie dati, kuri iegūti daļā Kurzemes, kopā 5126 karšu lapas M 1:2000.

Grāvju klasifikācija

Meliorācijas grāvju klasifikācija un raksturošana veikta izmantojot identisku metodiku kā iepriekšējos pētījuma posmos, kad tika analizēti 1. cikla dati visā Latvijas teritorijā. Veikta DEM klasifikācija un no tās iegūts grāvju vektordatu slānis, kas atbilst grāvja centrālajai asij digitālajā reljefa modelī. Izmantojot šo slāni, ģenerēti virtuāli šķērsprofili ik pēc 10 m visam grāvju tīklam (1. attēls). Katrs šķērsprofils ir 15 m garš un tam piešķirta reljefa modeļa vērtība ik pēc 0,5 m, kas atbilst modeļa izšķirtspējai.

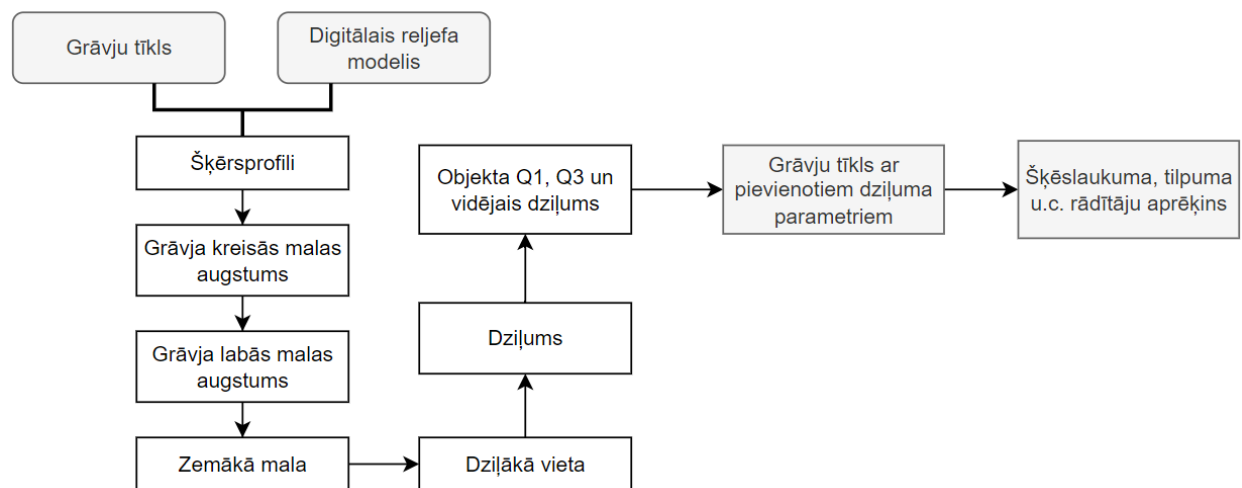


1. attēls. Grāvju sistēma un uz grāvju centrālajām asīm izvietoti šķērsprofili automātiskai grāvju parametru identificēšanai.

Šie šķērsprofili sniedz informāciju par dziļāko vietu grāvī, kā arī par abu grāvju malu augstumu. Šķērsprofili ģenerēti izmantojot SAGA GIS rīku *Cross Profiles* QGIS vidē. Tālākie

aprēķini veikti izmantojot QGIS *Field Calculator*, un izmantojot iegūto informāciju par grāvja dziļāko vietu un tā zemākās malas augstumu, aprēķināts grāvja dziļums. Katram grāvja objektam aprēķināts tā pirmās un trešās kvartiles dziļums, vidējais dziļums un platums.

Izmantojot iegūtos lielumus, aprēķināta grāvja līkumainība un vienlaidus taisnu posmu garums, dziļuma mainība, atkarībā no pirmās un trešās dziļuma kvartiles atšķirībām, šķēsgriezuma laukums, maksimālais apslāpētais perimetrs un tilpums. Veikta vidējo un summāro statistisko rādītāju aprēķināšana 1 km² režģī minētajiem parametriem abu ciklu LiDAR datiem. Visi aprēķini veikti QGIS vidē un tie ir atkārtojami izmantojot izstrādāto QGIS rīku, kas kā ievades datus izmanto grāvju līnijveida datus un digitālo reljefa modeli (2. attēls).

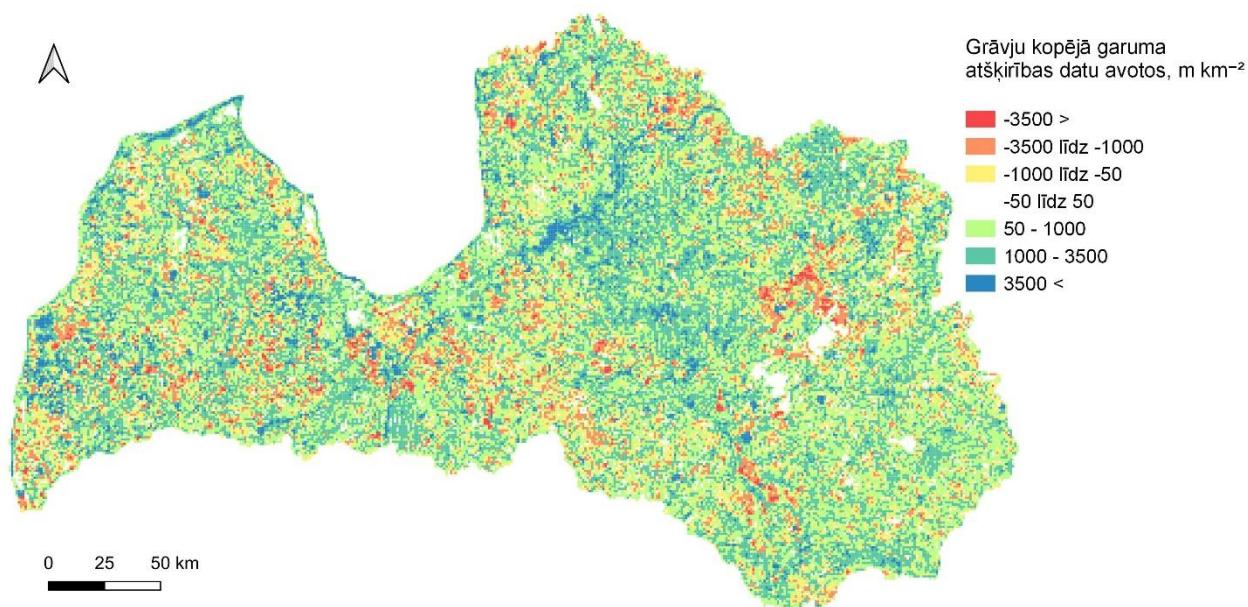


2. attēls. Modeļa darba gaitas shematisks attēlojums.

REZULTĀTI

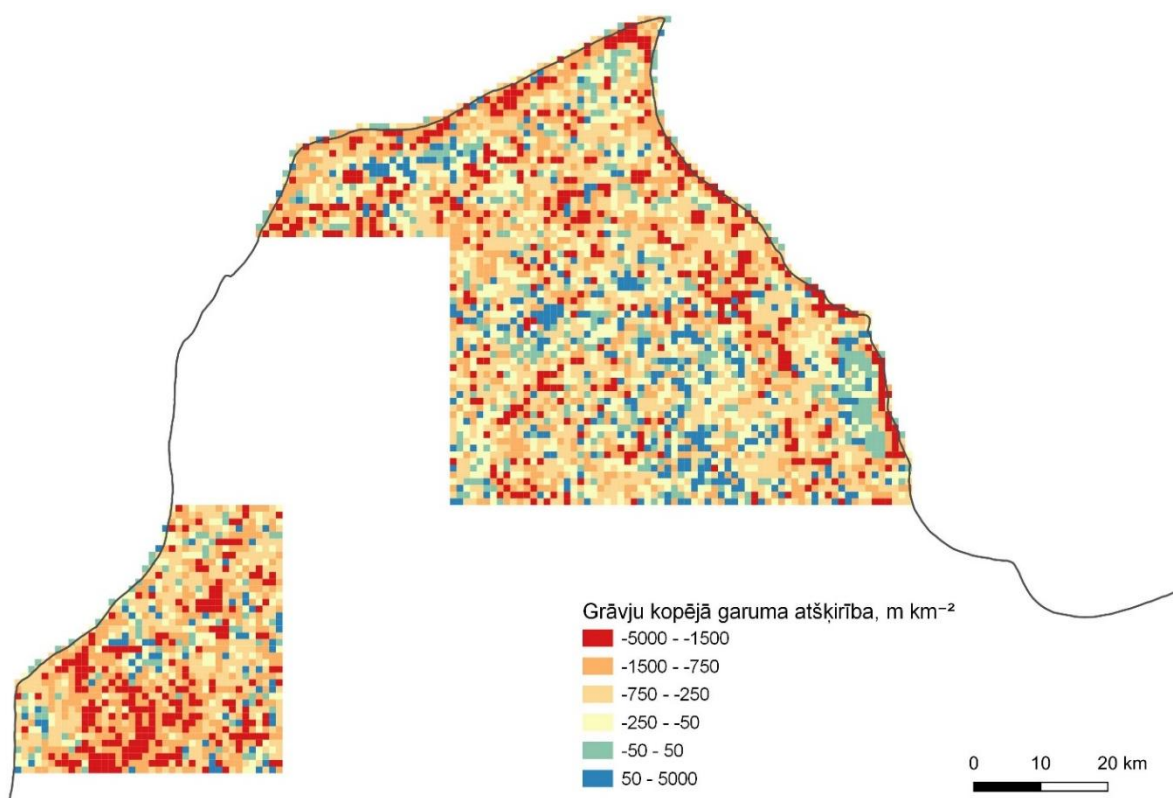
Atbilstoši iegūtajiem rezultātiem izmantojot 1. cikla LiDAR datus, kopējais grāvju garums Latvijā ir 179 145 km, vidējais grāvju tīkla blīvums ir $2,73 \text{ km km}^{-2}$, bet maksimālais 72 km km^{-2} konstatēts kūdras ieguves vietās.

Kopējais meliorācijas grāvju garums apvienotajā Meliorācijas kadastra un LVM datubāzē ir 131786 km, bet 1. cikla LiDAR datus identificēto grāvju datubāzē 179 145 km. Lai arī lielākajā daļā valsts teritorijas, kā arī vērtējot kopējo grāvju garumu, ar mūsu izstrādāto metodi ir iegūts par vairāk kā 47 tūkst. km lielāks kopējais grāvju garums, šo atšķirību telpiskais sadalījums ir atšķirīgs. Būtiskākās grāvju kopējā garuma atšķirības ir novērotas Gaujas Nacionālā parka teritorijā, kur mūsu izstrādātais modelis pēc grāvjiem līdzīgām morfoloģiskām pazīmēm ir identificējis ne tikai grāvjus, bet arī gravas un dabiskās straumes. Tā pat būtiskas atšķirības piejūras zemienē, īpaši Kurzemes ziemeļu daļā un Rīgas līča piekrastē, kur pēc grāvjiem līdzīgas morfoloģijas identificētas starpkāpu ieplakas (3. attēls).



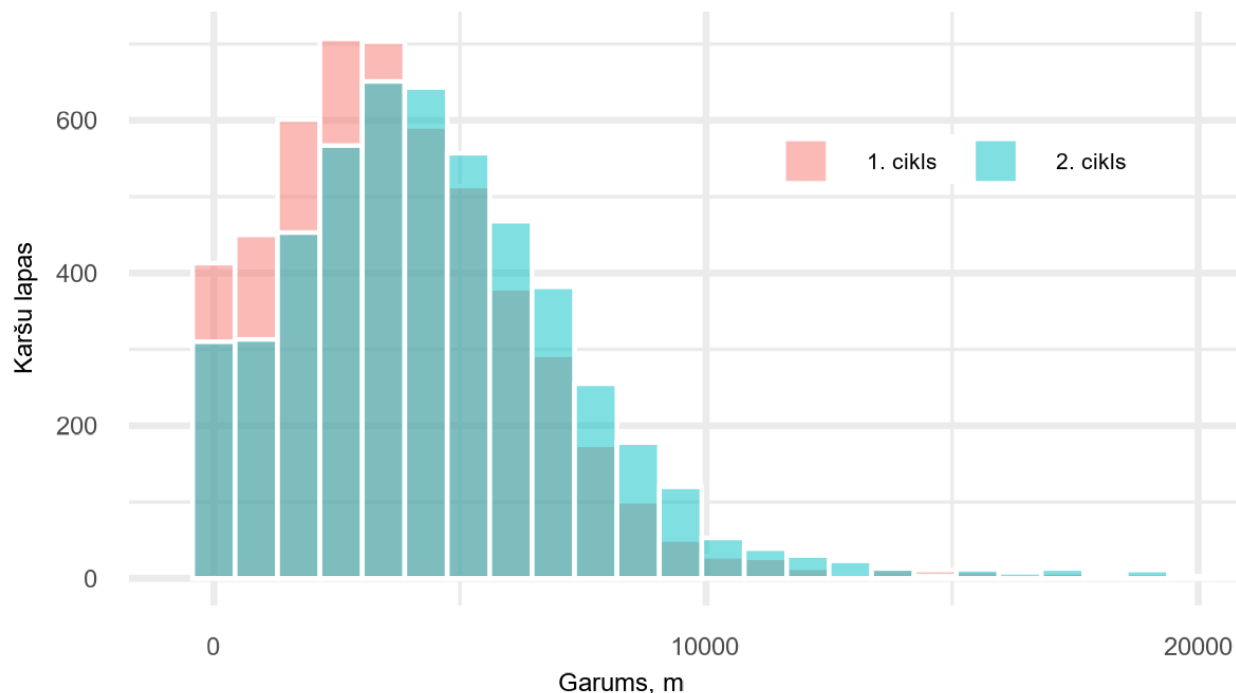
3. attēls. Kopējās grāvju garuma atšķirības TKS93 1:2000 karšu lapu sadalījumā starp datu avotiem – LiDAR datus identificētie grāvji ar 30 cm minimālā dziļuma robežu salīdzinot ar apvienotām Meliorācijas kadastra un LVM datubāzēm. Sarkanā krāsa un negatīvas vērtības norāda, ka Meliorācijas kadastra un LVM datubāzēs esošo grāvju kopējais garums ir lielāks, kā LiDAR datus identificētajos, bet zilā krāsa un pozitīvās vērtības – pretēji.

Otrā cikla grāvju tīkla datos samazinās to šūnu skaits, kurās grāvji vai to parametri netiek identificēti. Šūnu, kurās grāvju nav kopējais skaits samazinās no 144 pirmajā ciklā līdz 89 otrajā ciklā, jeb no 3 % uz 2 %. Tas liecina, ka otrā cikla datos ar identiskām DEM apstrādes metodēm labāk identificēti vāji izteikti grāvji, un šķēršprofilu analīzēs retāk sastopami nedefinēti šķēršprofili vai arī iepriekš nemeliorētās platībās ir izveidoti jauni grāvji, vai izveidojušās jaunas grāvjiem līdzīgas erozijas reljefa formas. Skaidri iezīmējas arī meliorācijas grāvju tīkla paplašināšanās kūdras ieguves vietās, kā arī jaunu ceļu un grāvju gar to malām izbūve, kā arī esošo ceļmalas grāvju rekonstrukcija (4. attēls).



4. attēls. Kopējās grāvju garuma atšķirības TKS93 1:2000 karšu lapu sadalījumā starp 1. un 2. cikla LiDAR datiem. Sarkanā krāsa un negatīvas vērtības norāda uz lielāku grāvju garumu 2. cikla datos, bet zilā krāsa un pozitīvas vērtības – lielāku garumu 1. cikla datos.

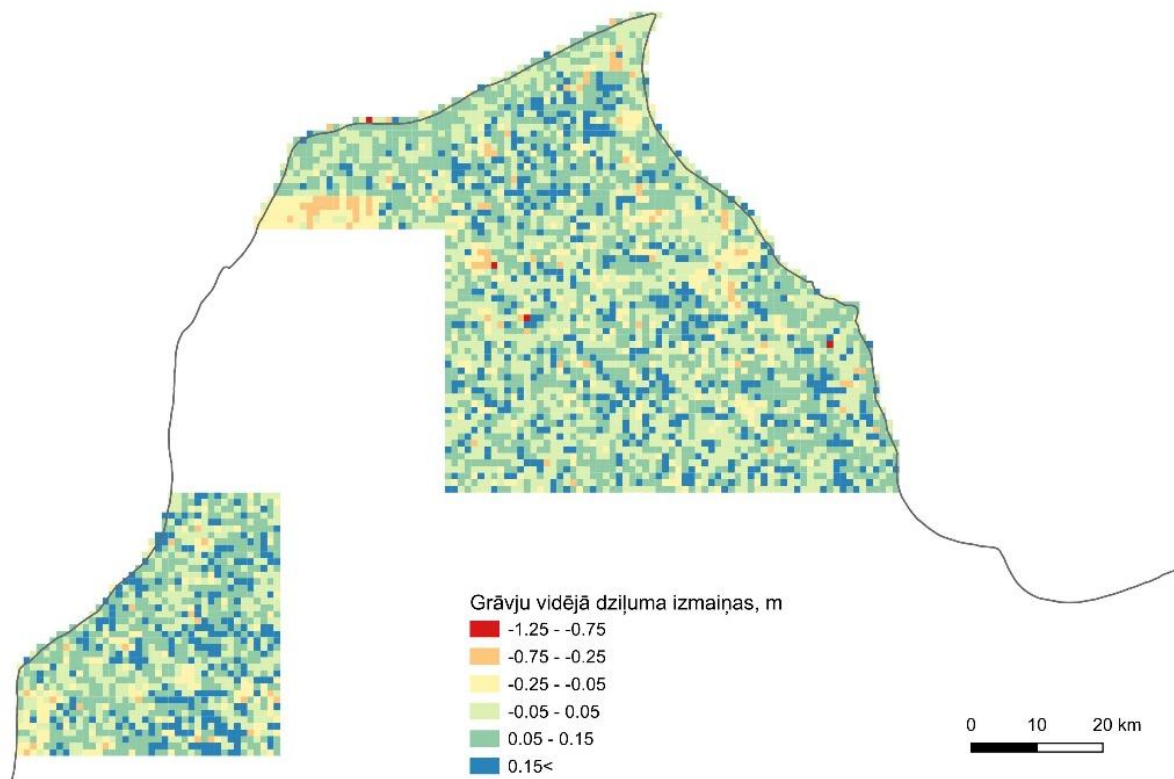
Garuma sadalījums otrajā ciklā norāda vidēji statistiski būtiski lielāku grāvju kopējo garumu. Vidējā atšķirība ir 702,3 m (95 % ticamības intervāls 672,35 - 732,24, $p < 0,001$). Otrā cikla datos lielāks grāvju garums iegūts vietās, kur jau sākotnēji pirmajā ciklā noteikts liels grāvju garums (virs 5 km km⁻²), bet pirmā cikla datos lielāks grāvju kopējais garums noteikts teritorijās, kur to blīvums ir zem 5 km km⁻² (5. attēls).



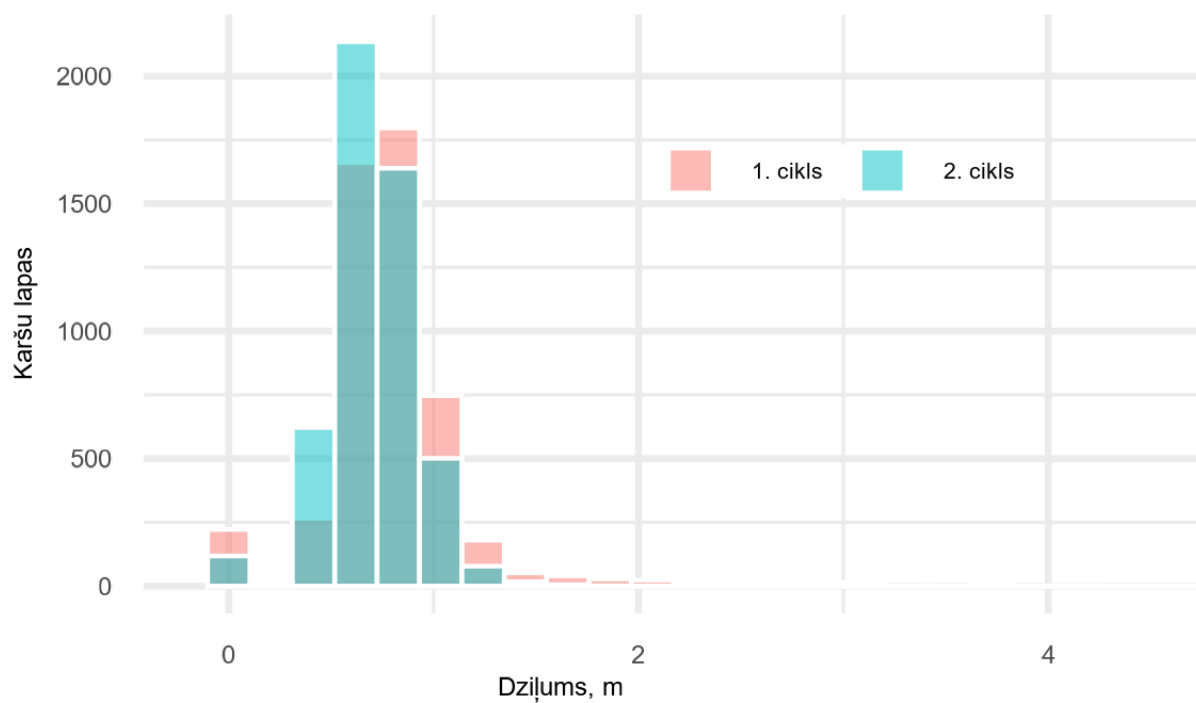
5. attēls. Grāvju summētā garuma sadalījums karšu lapās izmantojot abu ciklu LiDAR datus.

Dziļuma atšķirības starp abiem cikliem parāda pretēju tendenci tam, kas novērojams grāvju garumam. Lai gan jaunākajā ciklā grāvju tīkls kļūst garāks, vidējais dziļums šūnās pārsvarā samazinās, un visa dziļumu sadalījuma forma histogrammā nobīdās pa kreisi - uz mazākām vērtībām. No 5126 šūnām dziļums ir palielinājies 1123 šūnās (22%), samazinājies 3905 šūnās (76%) un palicis nemainīgs 98 šūnās (2%). Vidējā atšķirība ir -0,12 m (95% ticamības intervāls - 0,14; -0,11) un tā ir statistiski būtiska ($p < 0,001$), bet mediāna -0.06 m. Dziļums otrā cikla datus samazinās nedaudz, bet konsekventi, un mainības sadalījuma histogramma norāda uz vienmērīgākiem grāvju profiliem. Šīs izmaiņas norāda uz to, ka lielākā daļa grāvju tīkla tehniskais stāvoklis periodā starp LiDAR cikliem ir pasliktinājies un ir iespējams novērtēt to aizsērēšanas pakāpi. Tā pat iespējams identificēt grāvju atjaunošanu un grāvju precīzāku grāvju dziļumu vietās, kur pirmā LiDAR cikla iegūšanas laikā bijusi blīvāka veģetācija.

Dziļuma izmaiņām būtiskākās lokālās izmaiņas novērotas Ventspils novada Muižnieku un Klāņu purva apkārtnē, kas skaidrojams gan ar jaunu meža ceļu izbūvi, gan tieši šai vietai raksturīgu LiDAR datu atšķirību, salīdzinot ar pirmā cikla datiem. Pārējā teritorijā vidējā grāvju dziļuma sadalījumam nav izteiktu tendenču un izmaiņas ir lokālas.



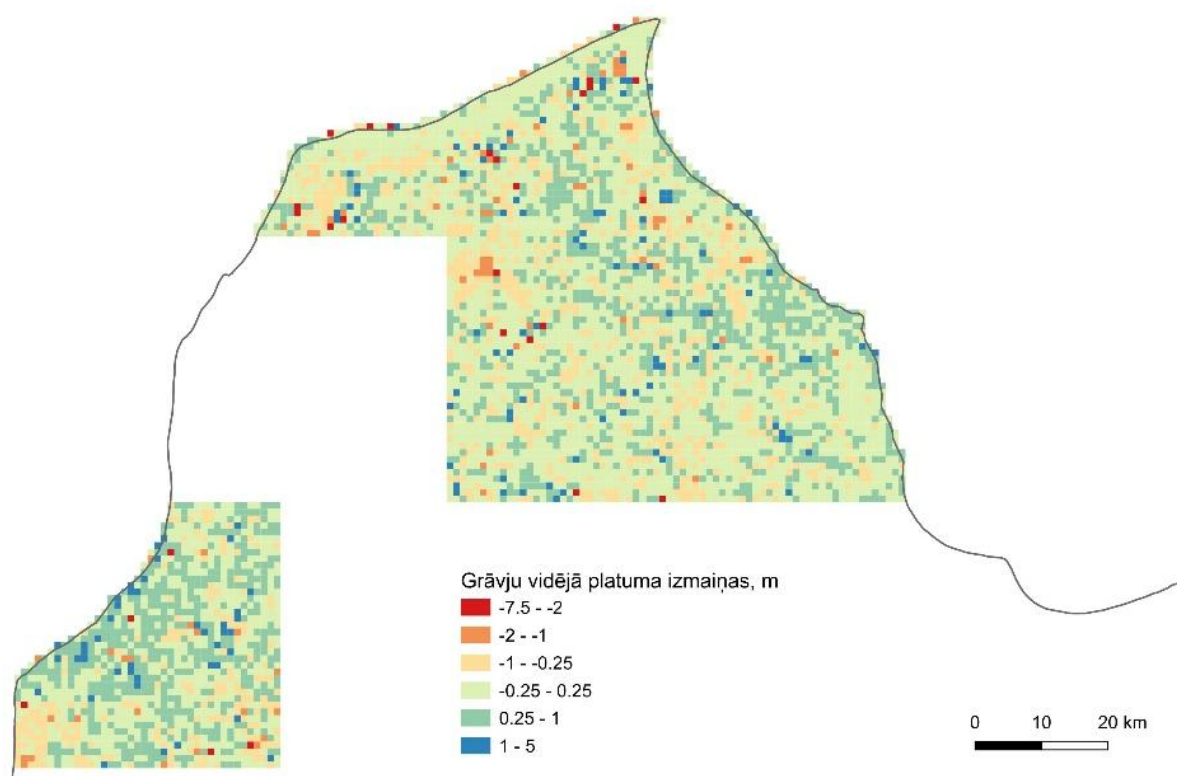
6. attēls. Grāvju tīkla vidējā dziļuma izmaiņas karšu lapu sadalījumā starp 1. un 2. cikla LiDAR datiem. Negatīvas vērtības norāda uz lielāku dziļumu 2. cikla datos, bet pozitīvas – 1. cikla datos.



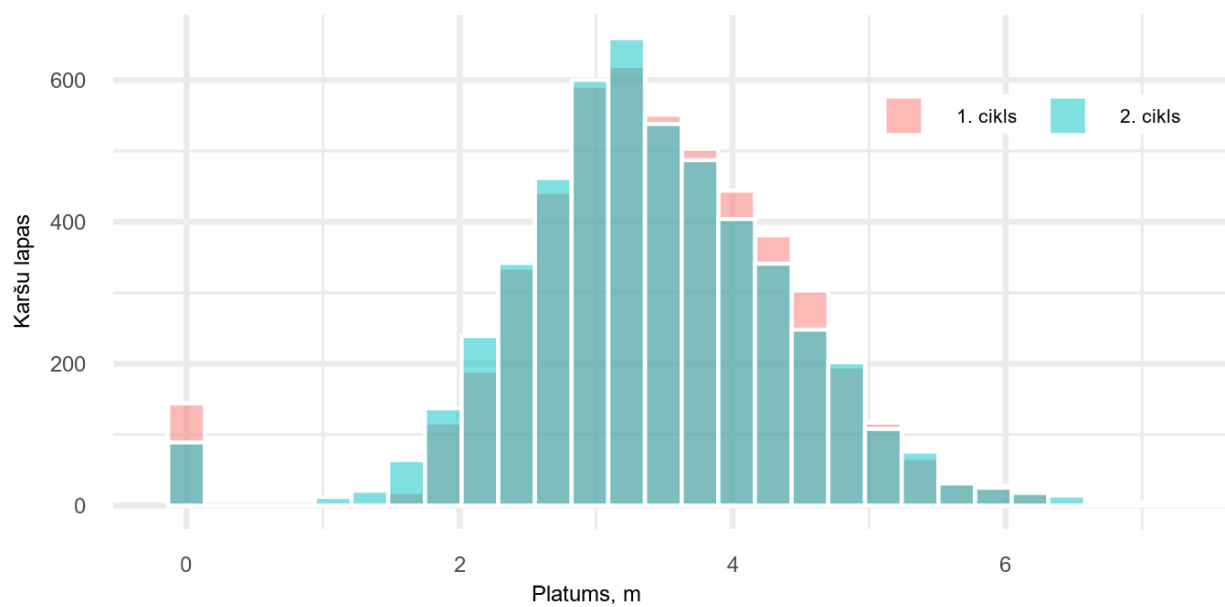
7. attēls. Vidējā grāvju dziļuma sadalījums karšu lapās abu ciklu LiDAR datos.

No 5126 kašu lapām grāvju platums otrajā ciklā ir palielinājies 2263 (44 %), bet samazinājies 2758 (54 %) un palicis nemainīgs 105 šūnās (2 %). Vidējā platuma atšķirība ir aptuveni -0,035 m, mediāna -0,04 m. Tipiskais grāvju platuma samazinājums otrajā ciklā ir tikai daži centimetri. Pirmā kvartile -0,31 m, bet trešā +0,19 m, tas nozīmē, ka pusē karšu lapu platuma izmaiņas ir aptuveni 0,5 m robežās. Būtisks platuma samazinājums, vismaz 2 m ir 27 karšu lapās, bet palielinājums par vismaz 2 m - 61 karšu lapā. Summētais vidējais grāvju platums starp cikliem ir ļoti līdzīgs, un histogrammas gandrīz pilnībā pārklājas. Vidējā atšķirība ir -0,03 m (95 % ticamības intervāls -0,05; -0,02). Atšķirība ir statistiski būtiska ($p < 0,001$).

Ar grāvju vidējā platuma izmaiņām novērojama līdzīga situācija, kā arī dziļuma mainību - izmaiņu telpiskā izplatība ir bez būtiskām tendencēm un iespējams identificēt teritorijas, kurās veikta jaunu grāvju izbūve vai to rekonstrukcija, bet pārējā teritorijā novērojama pakāpeniska grāvju aizsērēšana.



8. attēls. Grāvju tīkla vidējā platuma izmaiņas karšu lapu sadalījumā starp 1. un 2. cikla LiDAR datiem. Negatīvas vērtības norāda uz lielāku platumu 2. cikla datos, bet pozitīvas – 1. cikla datos.



9. attēls. Grāvju vidējā platuma sadalījums karšu lapās abu ciklu LiDAR datos.

SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

1. Uz pirmā cikla LiDAR datu bāzes izstrādāto metodiku meliorācijas grāvju automātiskai noteikšanai un to parametru noteikšanai iespējams veiksmīgi izmantot arī izmantojot otrā cikla LiDAR datus un novērtēt izmaiņas;
2. Otrā cikla datu kvalitāte un zemes punktu blīvums ir augstāks, tādēļ iespējams identificēt arī tādas lokālas reljefa formas, tajā skaitā meliorācijas grāvjus, kuri pirmā cikla datos nav identificēti;
3. Atšķirības starp identificētajiem grāvjiem abu ciklu datos var veidoties ne tikai reālu izmaiņu dēļ, bet arī LiDAR punktu blīvuma atšķirību dēļ (4 punkti m^{-2} pirmajā ciklā, 6 punkti m^{-2} otrajā ciklā), bet arī datu iegūšanas laikā valdošo fenoloģisko apstākļu dēļ;
4. Tendence norāda, ka meliorācijas grāvju kopējais garums palielinās gan jaunu grāvju izveides, gan esošo grāvju rekonstrukcijas dēļ un būtiskākie pieaugumi novēroti ceļmalas grāvju un kūdras ieguves vietu grāvju apjomā;
5. Grāvju dziļumam ir tendence samazināties un šīs atšķirības LiDAR datos ir identificējamās. Nozīmīgas platuma izmaiņas nav konstatētas un tās ir 0,5 m robežās, kas atbilst izmantotā digitālā reljefa modeļa izšķirtspējai.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Melniks, R., Ivanovs, J., Lazdins, A., Makovskis, K. 2022. Mapping drainage ditches in agricultural landscapes using LiDAR data. *Agronomy research* 20(2), 318–325.
- Ivanovs, J., Lupiķis, A. 2018. Identification of wet areas in forest using remote sensing data. *Agronomy research* 16(5), 2049-2055.
- Roelens, J., Van Orshoven, J., Dondeyne, S., Diels, J. 2017. Extraction and connection of artificial drainage networks in agricultural areas using LiDAR data. *Communications in agricultural and applied biological sciences. National Symposium on Applied Biological Sciences. Leuven, Belgium*, 19-19.
- Melniks, R., Ivanovs, J., Lazdins, A. 2019. Method for shallow drainage ditch generation using remote sensing data. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development 2019*, 149-154.