



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS:

Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu
(plūdu riska) mazināšanā

LĪGUMA NR.:

23-00-S0INZ03-000014

IZPILDĪTĀJI:

Inga Grīnfelde

Alīta Strīķe

Kristīne Valujeva

Ieva Plūduma-Pauniņa

Jovita Pilecka-Uļčugačeva

Andis Lazdiņš

Sindija Liepa

Raitis Meļņiks

Kristaps Siltumēns

Jānis Ivanovs

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2023



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTA IZPILDI

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

DARBA UZDEVUMS: SEG emisijas mērījumi un cēloņsakarību izpēte nosusinātās lauksaimniecības zemēs

IZPILDĪTĀJI:
Inga Grīnfelde
Kristīne Valujeva
Jovita Pilecka-Uļčugačeva
Sindija Liepa
Kristaps Siltumēns
Alita Strīķe
Ieva Plūduma-Pauniņa

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2023

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	10
2. Materiāli un metodes	14
2.1. Pētījuma vietu izvēle SEG emisiju mērījumiem un to raksturojums	14
2.1.1. Bērzes monitoringa stacija	16
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija	18
2.1.3. Auces monitoringa stacija.....	19
2.1.4. Lafloras pētījumu vieta	21
2.1.5. Mārupes pētījumu vieta	22
2.1.6. Pēterlauku pētījumu vieta	22
2.2. Mērījumu veikšana ar Picarro	27
2.2.1. Iekārtas un aprīkojums	27
2.2.2. Datu analīzes metodes.....	28
2.2.3. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums.....	30
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 saturs, augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme	40
3.3. Augsnes apstrādes un kultūraugu ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	47
Secinājumi.....	54
Literatūras avoti.....	56

ATTĒLU SARAKSTS

1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2021. gadā (NIR, 2023).....	8
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2021. gadā (NIR, 2023).	8
3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2021. gadā (NIR, 2023).	9
4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2021. gadā (NIR, 2023).	9
5.att. SEG emisiju mērījumu vietas.	14
6. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Bērzes monitoringa stacijā.	17
7. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Mellupītes monitoringa stacijā.....	19
8. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Auces monitoringa stacijā.	20
9. att. SEG emisiju mērījumu vieta Lafloras pētījumu vietā.	21
10. att. SEG emisiju mērījumu vieta Mārupes pētījumu vietā.	22
11. att. SEG emisiju mērījumu vieta Pēterlauku pētījumu vietā.	23
12. att. Picarro G2508 (autors: K.Valujeva).	27
13. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).....	27
14. att. Augsnes mitruma mērītājs un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).....	28
15. att. Diver barometriskā spiediena mērītājs, datu nolasīšanas iekārta un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).....	28
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 2023. gadam.	31
18.att. CH ₄ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.	34
19. att. CH ₄ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam.....	35
20.att. N ₂ O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.	36
21. att. N ₂ O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam. ...	37
22. att. CO ₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.	38
23.att. CO ₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam.	39
24.att. NH ₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.	39
25. att. NH ₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam. ...	40

26.att. CH ₄ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.....	44
27.att. N ₂ O emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.....	45
28.att. CO ₂ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.....	46
29.att. NH ₃ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.....	47
30.att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju no augsnes novērojumi Poķu stacionārā 2023. gadā pēc augsnes abstrādes veida.	48
31.att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju no augsnes salīdzinājums 2018.- 2023. gadam.	49
32.att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju no augsnes salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida un kultūras 2023. gadā.....	50
33.att. CH ₄ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.	51
34.att. N ₂ O emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.	52
35.att. CO ₂ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.	52
36.att. NH ₃ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.	53

TABULU SARAKSTS

1. tab. Agronomiskās darbības pētījuma teritorijās.	15
2. tab. Bērzes monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.....	16
3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Bērzes monitoringa stacijas drenu laukā.....	17
4. tab. Mellupites monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.....	18
5. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās.....	19
6. tab. Auces monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.....	20
7. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Auces monitoringa stacijas sateces baseinā	21
8.tab. Agronomiskās darbības ziemas rapša lauciņos	23
9.tab. Agronomiskās darbības vasaras miežu lauciņos	24
10.tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu lauciņos	24
11.tab. Agronomiskās darbības pupu lauciņos	25
12. tab. Izmēģinājumu shēma 2009 - 2026. g.....	26
13.tab. N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji 2023. gadā. ..	33
14. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām 2023. gadā.	41
15. tab. Kendala korelācijas koeficienti minerālaugsnes kamerām 2023. gadā.	41
16. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām 2023. gadā. ..	42
17. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.....	42
18. tab. SEG un NH ₃ emisiju no organiskajām un minerālaugsnēm vidējās vērtības un mediānas no 2017. līdz 2023. gadam	43
19. tab. N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji Poķu stacionārā 2023. gadā.....	48
20. tab. Kultūraugu N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju no augsnes vidējās vērtības Poķu stacionārā 2023. gadā.	50

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 iekļaušanos 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.

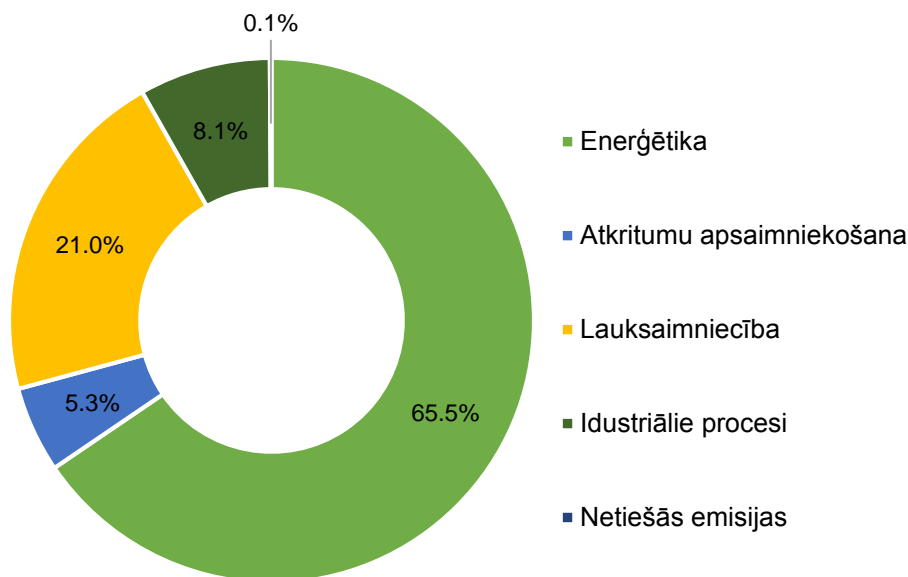
Projekta mērķis ir noteikt un analizēt SEG emisijas no lauksaimniecībā izmantotām teritorijām, kurās veikti hidrotehniskās meliorācijas pasākumi.

Projekta uzdevumi:

1. veikt dislāpekļa oksīda (N₂O), ogļskābās gāzes (CO₂), metāna (CH₄) un amonjaka (NH₃) emisijas mērījumus lauksaimniecībā izmantotās minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs;
2. analizēt dislāpekļa oksīda (N₂O), ogļskābās gāzes (CO₂), metāna (CH₄) un amonjaka (NH₃) emisijas cēloņsakarības pētāmajās teritorijās.

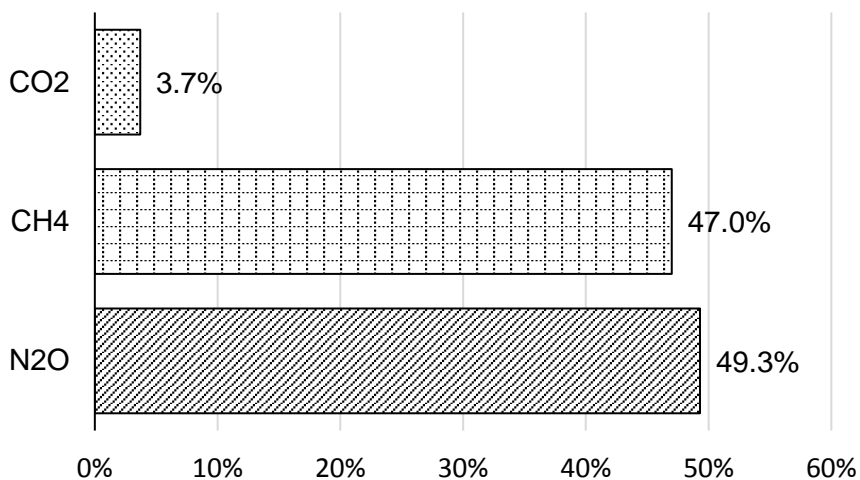
1.1. SEG emisijas Latvijā

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 2021. gadā bija atbildīgs par 21.0% SEG emisiju no kopējā emisiju apjoma valstī (skat. 1. att.).



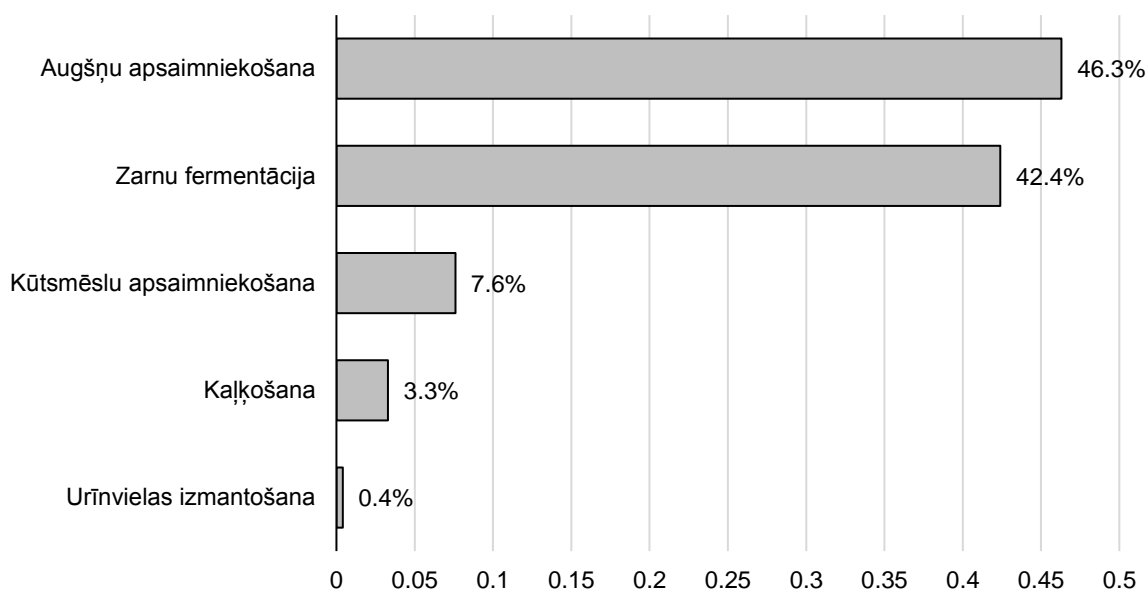
1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2021. gadā (NIR, 2023).

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



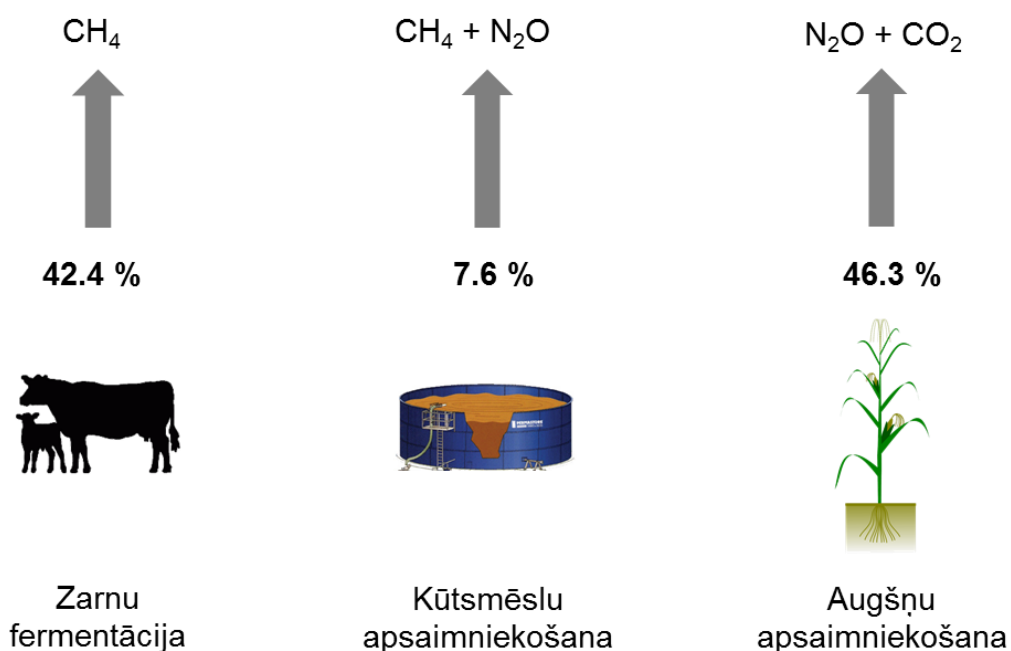
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2021. gadā (NIR, 2023).

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



3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2021. gadā (NIR, 2023).

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 2021. gadā (NIR, 2023).

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).
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).
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).
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 CO₂ un N₂O emisijas, samazinātiem izšķīdušā organiskā oglekļa zudumiem un palielinātas CH₄ emisijas (Wilson et al., 2016). Pēc lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas un lauku pamešanas, no organiskajām augsnēm gadu desmitiem turpina izdalīties augstas CO₂ un N₂O emisijas (Kløve et al., 2017). Lauksaimniecībā izmantoto organisko augšņu apmežošana ne vienmēr apstādina N₂O emisiju izdalīšanos lielā slāpekļa

uzkrājuma dēļ. Oglekļa akumulācija meža biomasā var pārvērst apmežotās platības CO₂ 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 vilkvālītes (*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.

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 daudzumu, augsnes struktūras un kultūraugu veidiem un klimata zonām (Chalco Vera et al., 2020; Shakoor et al., 2021).
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 minerālmēsļu 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).
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, minerālmēsļu 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).

11. CO₂, CH₄ un N₂O emisijas no augsnes būtiski palielina putnu mēslu izmantošana, salīdzinot ar cūku un liellopu mēsliem, tāpēc ir ļoti svarīgi plānot kūtsmēslu 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 zālajos, 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. 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 aktivitātes. 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.
14. Alskaf et al. (2021) 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.
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.

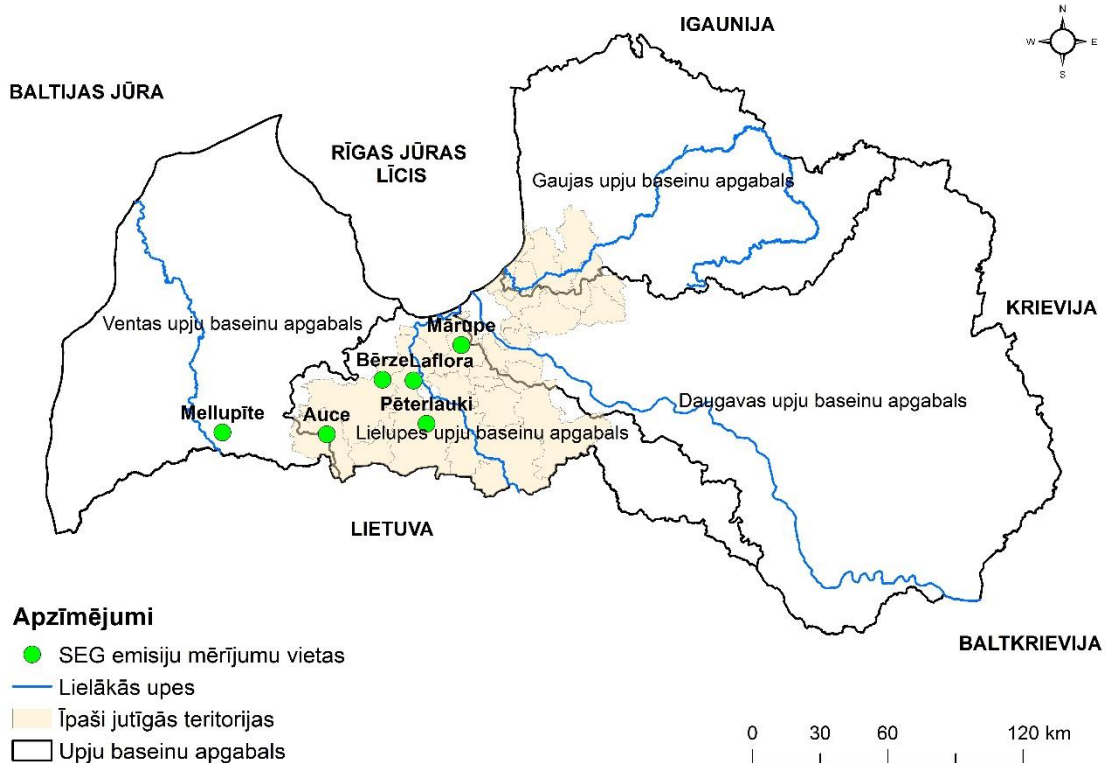
16. Mēslošanas aizstāšana ar slāpekļa fiksējošo kultūraugu sējumiem un mēslojuma pielāgošana kultūraugu vajadzībām var samazināt N₂O emisijas un mazināt slāpekļa izskalošanās riskus (Feigenwinter et al., 2023).
17. Nepārtraukti CO₂ un N₂O mērījumi Somijā apstiprina, ka lauksaimniecībā izmantotās nosusinātās kūdras augsnes ir nozīmīgi CO₂ un N₂O avoti. Nosusinātas 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).

2. MATERIĀLI UN METODES

Šīs nodaļas pirmajā apakšnodaļā ir sniegts SEG emisiju mērījumu veikšanas vietu raksturojums un 2023. gadā audzētās kultūras un augsnes mēslošanas devas un laiki. Otrajā apakšnodaļā ir atspoguļots pētījumā izmantoto iekārtu klāsts, kā arī sniegts ieskats datu transformācijas un datu analīzes metodēs.

2.1. Pētījuma vietu izvēle SEG emisiju mērījumiem un to raksturojums

2023. 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. Mērījumi un komunikācija ar lauksaimniecības zemju apsaimniekotājiem pētījumu vietās Mārupe un Laflora uzsākta 2017. gada pavasarī, tādēļ izdarīt viennozīmīgus secinājumus par lauksaimnieciskās ražošanas apstākļiem šajās pētījumu vietās ir pārāgri.

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	Diskots	Arts	Dziļirdināts	NA	NA
Sēja	28.04.2023	13.04.2023	25.09.2022	NA	NA
Kultūraugs	Vasaras mieži (slikti sadīga) / LAD deklarēta kā papuve	Lauka pupas	Ziemas mieži	Rudzi	Krūmmellenes
Ražas novākšana	-	12.09.2023	14.07.2023	NA	NA
Augsnes apstrāde	-	Diskots	Diskots	NA	NA
Sēja	-	18.09.2023	14.08.2023	NA	NA
Kultūraugs	-	Ziemas kvieši	Ziemas rapsis	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 minerālmēsļu apjomu un slāpekļa tīrvielas saturu minerālmēslis.

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

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpeklis tīrvielā
	dd.mm.yyyy	kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	22.04.2023	17.6

Bēzres 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.

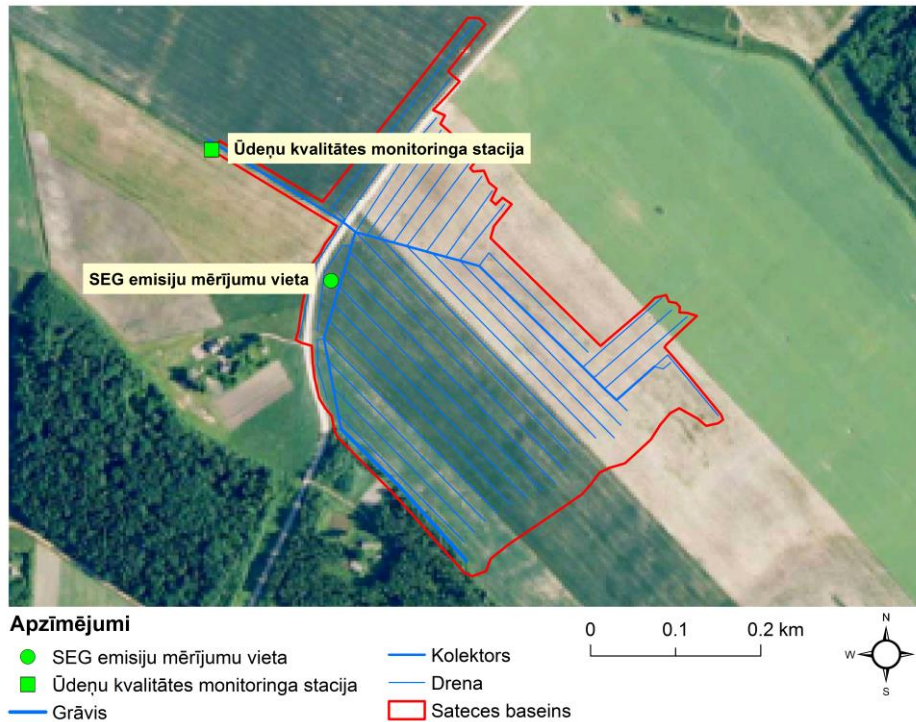
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija

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 biežumiem 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 biežums %	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	13.04.2023	45
Papildmēslojums	17.05.2023	52

2.1.3. Auces monitoringa stacija

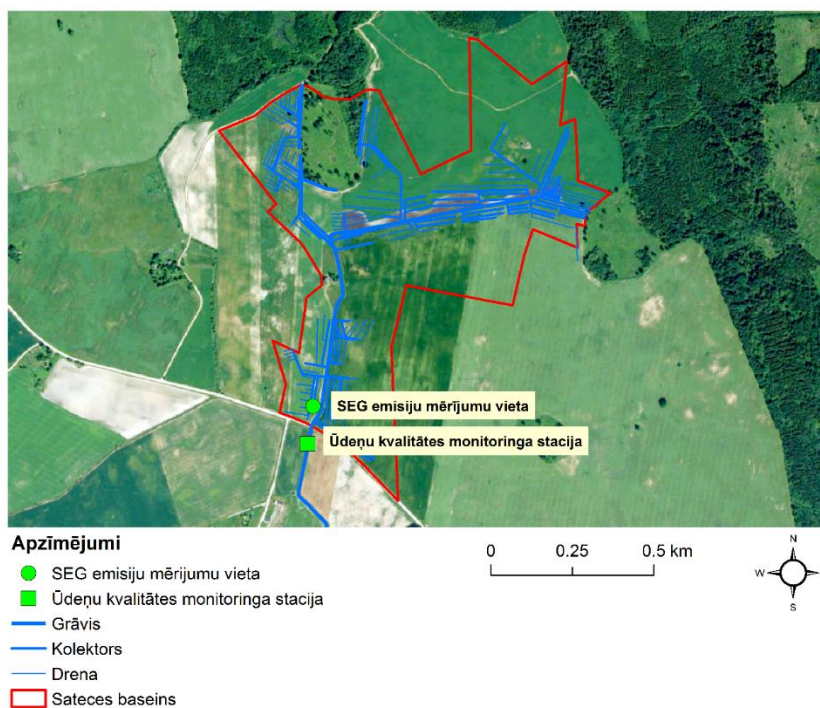
Ūdeņu kvalitātes monitoringa pirmsākumos, sākot no 1995. gada, Auces monitoringa stacijā tika pētīta tuvumā esošās fermas ietekme uz augu barības vielu zudumiem no lauksaimniecībā izmantotajām teritorijām, kurās palielinātos apjomos tika izkliedēts organiskais mēslojums, galvenokārt šķīdzmēslu formā. 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 biežumiem skatīt 6. tab.

6. tab. Auces monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.

Slāņa dziļums, cm	Smiltis S, %	Putekļi P, %	Māls M, %	Slāņa nosaukums	Slāņa filtr.koef.	Slāņa biežums %	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.

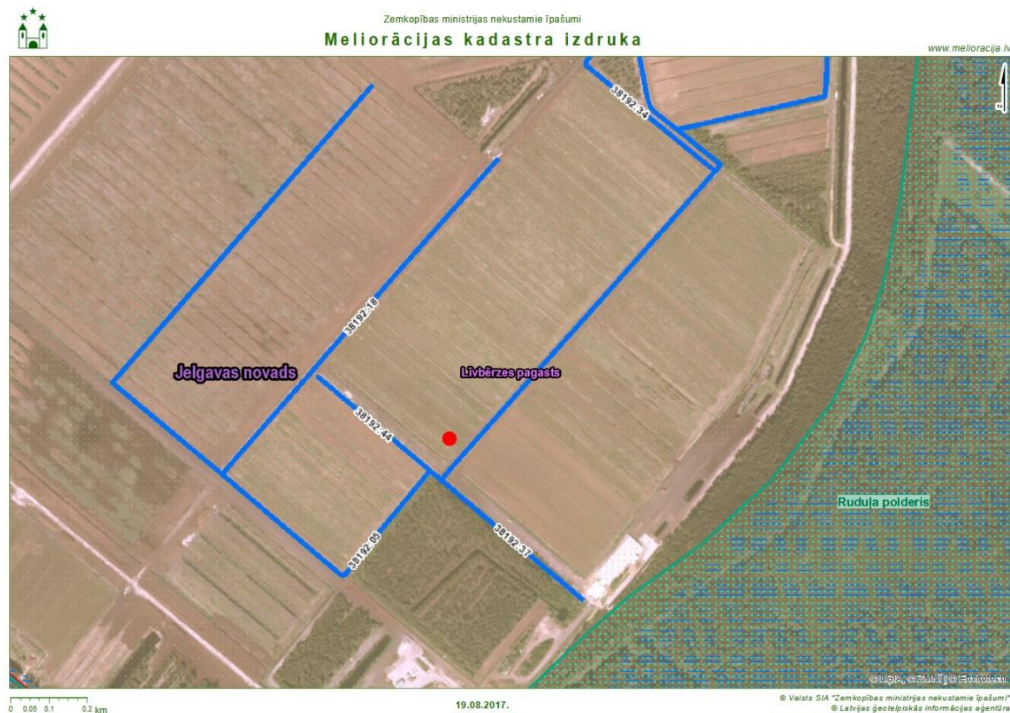
Auces monitoringa stacijas sateces baseina teritorijā iestrādātais slāpekļa daudzums tīrvielā ir apkopots 7. tab.

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

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums dd.mm.yyyy	Slāpeklis tīrvielā kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	-	-
Papildmēslojums	12.04.2023	54.4
Papildmēslojums	15.05.2023	51.6
Pamatmēslojums	24.07.2023	Digestāts 35t/ha (N saturs nav zināms)

2.1.4. Lafloras pētījumu vieta

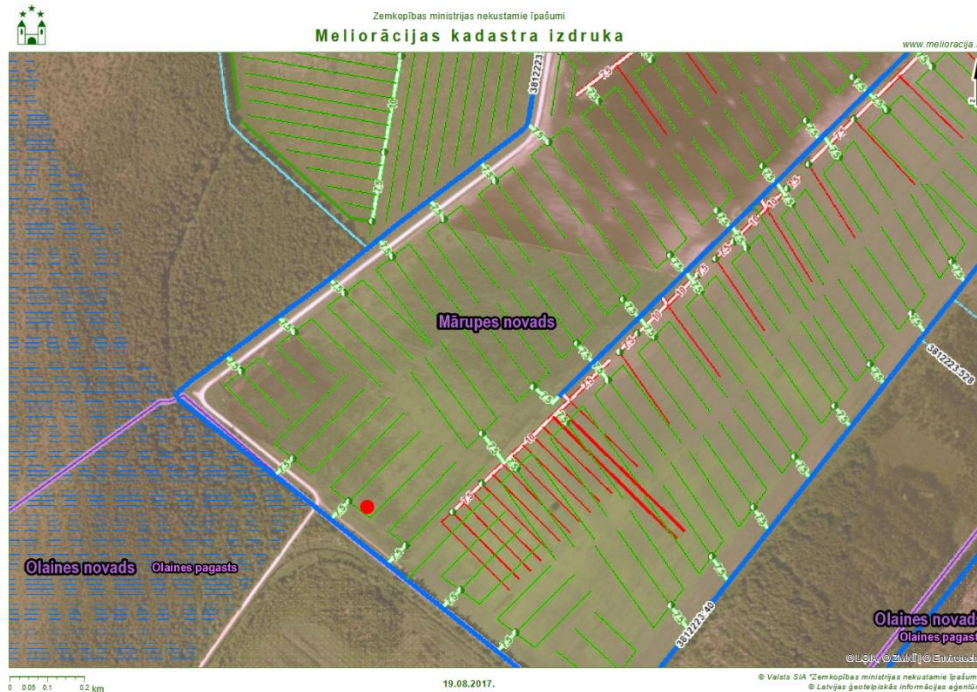
Lafloras pētījumu vieta atrodas Kaigu kūdras purvā, kurā rūpnieciski tiek iegūta un ražota kūdras produkcija. SEG emisiju mērījumu vietā tiek audzētas krūmmellenes, teritorija ir meliorēta, izmantojot plašu grāvju sistēmu, regulāri tiek veikti nokaltušo zaru un zāles plaušana. Nav pieejama informācija 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 2018., 2019., 2020., 2021. un 2022. gadā tiek audzēta kukurūza, bet 2023. gadā rudzi. Nav pieejama informācija par izmantotajiem augu aizsardzības līdzekļiem un mēslojuma veidu. Mārupes pētījuma vieta attēlota 10. att.

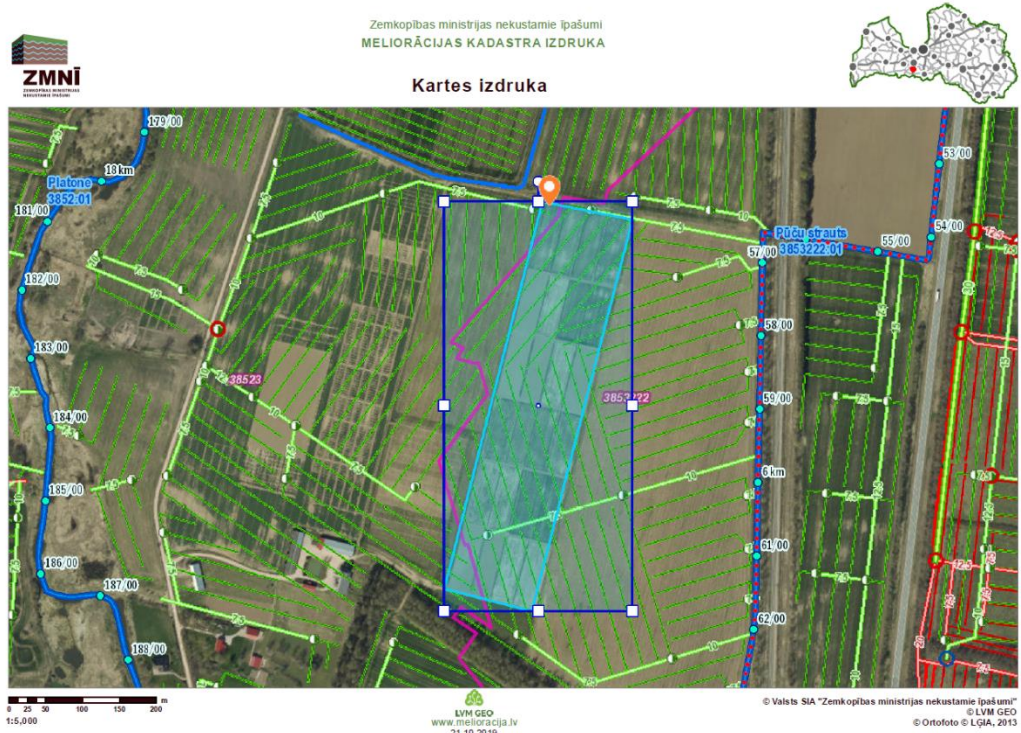


10. att. SEG emisiju mērījumu vieta Mārupes pētījumu vietā.

2.1.6. Pēterlauku pētījumu vieta

2023. gadā SEG emisiju mērījumi tika turpināti arī Pēterlauku Poķu stacionāra izmēģinājuma lauciņos, kur lauksaimnieciskā darbība notiek uz minerālaugsnēm. SEG emisiju mērījumu atrašanās vieta norādīta 11. att. un stacionāra augu seka ir aprakstīta

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



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

Pēterlauku izmēģinājuma lauciņos izmantotās agronomiskās darbības ir aprakstītas 8.tab., 9.tab., 10.tab., 11.tab.

8.tab. Agronomiskās darbības ziemas rapša lauciņos

Ziemas rapsis, 2022/2023*				
Priekšaugšs	Ziemas kvieši			
Augsne	Viršēji velēnglejtā augsne			
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Artajā variantā</th> <th>Lobītajā variantā</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aršana 09.08.2022. Aruma šjūkšana - 10.09.2020. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 15.09.2020.</td> <td>Disku lobīšana 2 reizes 15.08.2022.</td> </tr> </tbody> </table>	Artajā variantā	Lobītajā variantā	Aršana 09.08.2022. Aruma šjūkšana - 10.09.2020. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 15.09.2020.
Artajā variantā	Lobītajā variantā			
Aršana 09.08.2022. Aruma šjūkšana - 10.09.2020. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 15.09.2020.	Disku lobīšana 2 reizes 15.08.2022.			
Pamatmēslojums	NPK 11-26-19 200 kg ha ⁻¹ (16.08.2022.)			
Sēkla	SY Cornetta			
Izsējas norma	80 dīgtsp.s.m ²			
Sējas laiks	17.08.2022.			
Papildmēslojums	YB Axan (N27 S4) 250 kg ha ⁻¹ (12.04.2023.)			
	YB Axan (N27 S4) 220 kg ha ⁻¹ (11.05.2023.)			

Smidzinājumi	Metazamix 0.6 L/ha + Belkar 0.25 L/ha (02.09.2022.) Jenot Plus 1.0 L/ha + Karate Zeon 0.15 L/ha + YV Brassitrel 2.0 L/ha (21.04.2023.) Evure 0.2 L/ha (01.05.2023.) Kaiso 0.15 L/ha (24.05.2023.)
*Sliktās pārziemošanas dēļ ziemas rapsis tika pārsēts. Vasaras rapsis - diskots: 09.05.2023.; sēkla: Trapper (110 dīgtsp.s.m ²); sēts: 10.05.2023.; mēslojums: AN (34.4) 250 kg ha ⁻¹ (19.06.2023.). NAV SMIDZINĀTS.	

9.tab. Agronomiskās darbības vasaras miežu laucīņos

Vasaras mieži, 2023		
Priekšaugš	Ziemas rapsis	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Lobītajā variantā
	Aršana 23.04.2023. Aruma šūkšana - 25.04.2023. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 27.04.2023.	Disku lobīšana 2 reizes 26.04.2023.
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15 250 kg ha ⁻¹	
Sēkla	Selene (kodne Kinto Plus 1.5L/t)	
Izsējas norma	410 dīgtsp.s.m ²	
Sējas laiks	27.04.2023.	
Papildmēslojums	AN 34.4% 250 kg ha ⁻¹ (19.06.2023.)	
Smidzinājumi	Carnadine Extra 0.2 L/ha + MCPA 1.0 L/ha + Axial 0.7 L/ha + YV Gramitrel 1.0 L/ha (15.06.2023.)	

10.tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu laucīņos

Ziemas kvieši, 2022/2023		
Priekšaugš	Pupas	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Lobītajā variantā
	Aršana 15.09.2022. Aruma šūkšana - 17.09.2022. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 22.09.2022.	Disku lobīšana 2 reizes 22.09.2022.
Pamatmēslojums	NPK 11-26-19 200 kg ha ⁻¹ (23.09.2022.)	
Sēkla	Zeppelin (kodne Kinto Plus 1.5L/t)	
Izsējas norma	420 dīgtsp.s.m ²	
Sējas laiks	25.09.2022.	
Papildmēslojums	YB Axan (N27 S4) 250 kg ha ⁻¹ (12.04.2023.) YB Axan (N27 S4) 220 kg ha ⁻¹ (11.05.2023.)	
Smidzinājumi	Biathlon 4D 0.07 kg/ha + Dash 0.5 L/ha + Cycocel 1.0 L/ha + YV Gramitrel 1.5 L/ha (22.04.2023.) Priaxor 0.4 L/ha + Curbatur 0.4 L/ha + Terpal 1.0 L/ha + YV Gramitrel 2.0 L/ha (23.05.2023.) Quelex 0.035 kg/ha + Calibre 0.022 kg/ha + Līme 0.1 L/ha (05.06.2023.) Priaxor 0.5 L/ha + Curbatur 0.5 L/ha + YV Thiotrac 2.0 L/ha (15.06.2023.)	

11.tab. Agronomiskās darbības pupu lauciņos

Pupas, 2023		
Priekšaugš	Vasaras mieži	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Lobītajā variantā
	Aršana 10.04.2023. Aruma šūķšana - 16.04.2023. Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 17.04.2023.	Disku lobīšana 2 reizes 17.04.2023.
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15 250 kg ha ⁻¹ (12.05.2023.)	
Sēkla	Isabell	
Izsējas norma	45 dīgtsp.s.m ²	
Sējas laiks	18.04.2023.	
Papildmēslojums	-	
Smidzinājumi	Stomp 2.0 L/ha (29.04.2023.) Decis Mega 0.15 L/ha + YV Brassitrel 2.0 L/ha (25.05.2023.) Focus Ultra 2.0 L/ha + Dash 1.0 L/ha (26.05.2023.) Corum 1.0 L/ha + Dash 1.0 L/ha (31.05.2023.)	

12. 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
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	Z. rapsis	Z. rapsis	V. mieži	V. mieži
2024	Z. kvieši	Z. kvieši	Pupas	Pupas
2025	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2026	Z. rapsis	Z. rapsis	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	Z. kvieši	Z. kvieši
2025	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2026	Pupas	Pupas	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.Valujeva).



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

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.



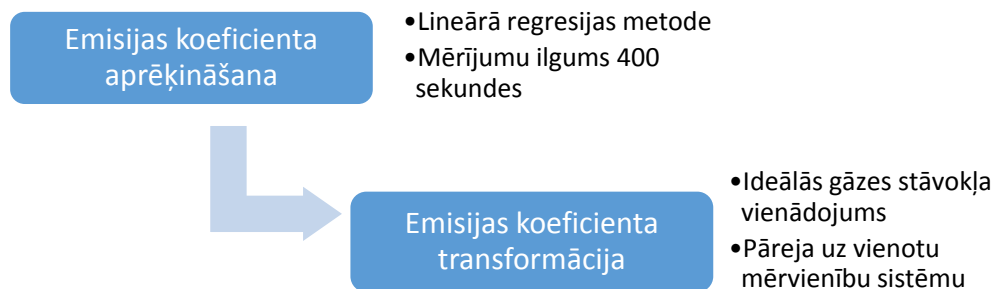
14. att. Augsnes mitruma mērītājs un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka-Uļčugačeva).



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, aprēķinam 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.

$$y = mx + b, \text{ kur} \tag{1}$$

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

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

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

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

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

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

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;

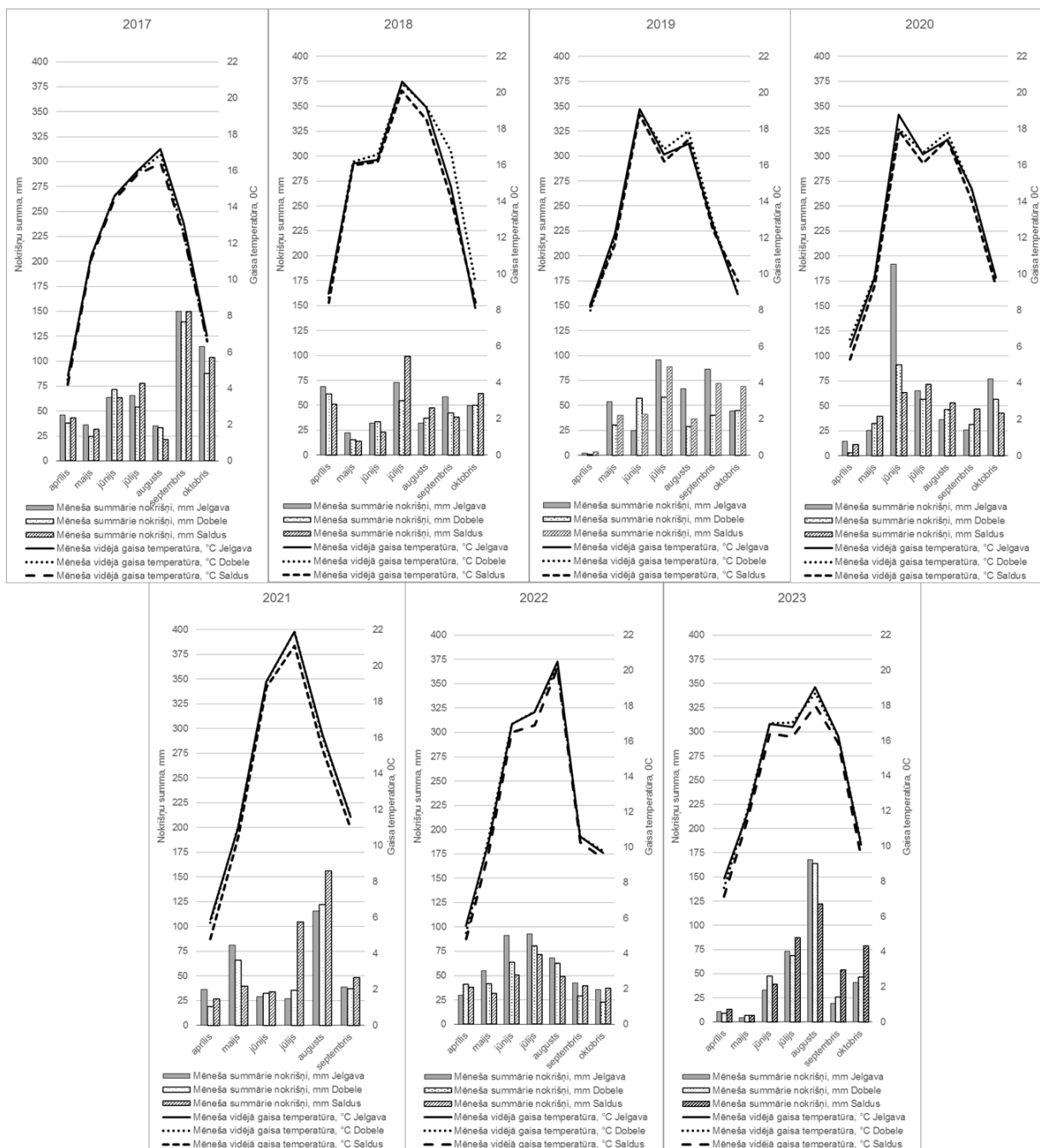
T – kameras temperatūra °C.

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

Mērījumi veikšana laika periodam no 2017. līdz 2023. gadam tiek organizēta veģetācijas periodā (aprīlis – oktobris). Vidējā gaisa temperatūra un summārie nokrišņi meteoroloģiskajām stacijām Jelgava, Dobeles un Saldus grafiski apkopoti 17. att.

Analizējot datus par veģetācijas periodu no 2017. līdz 2023. gadam, vidēji zemākā temperatūra novērota Saldus meteoroloģiskajā stacijā (13.03 °C), turpretī augstākā Dobeles meteoroloģiskajā stacijā (13.51 °C). Summāri visu gadu griezumā veģetācijas periodā augstākais nokrišņu apjoms novērots Jelgavas stacijā (397.01 mm), bet zemākais nokrišņu apjoms novērots Dobeles stacijā (339.31 °C).



17. att. Mēneša vidējās gaisa temperatūras un mēneša nokrišņu summa mērījumu veikšanas vietu tuvākajās LVĢMC novērojumu stacijās veģetācijas periodos no 2017. līdz 2023. gadam (LVĢMC, 2023).

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 2023. gadā, kā arī sniegts 2017., 2018., 2019., 2020., 2021., 2022. un 2023. gadu 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 minerālaugsi, 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.

Mērījumu vietās Auce, Bērze, Mellupīte, Laflora un Mārupe 2023. gadā ir veiktas 9 mērījumu kampaņas, bet Pēterlaukos - 10 mērījumu kampaņas. Katrā mērījumu vietā tika veikti N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 mērījumi 4 atkārtojumos, un paralēli tika veikti augsnes mitruma un augsnes temperatūras mērījumi. Kopā visās pētījumu vietās ir veikti 500 mērījumi, kuros noteiktas N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 koncentrācijas, no kurām aprēķinātas emisijas gramos vai kilogramos no hektāra diennaktī.

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

Datu apstrādē ir izmantoti 181 2023. gadā veikto mērījumu rezultāti no Auces, Mellupītes, Lafloras, Mārupes un Bērzes mērījumu vietām. Deviņi mērījumi netika iekļauti datu apstrādē, jo tie ļoti būtiski atšķīrās no pārējiem veiktajiem mērījumu atkārtojumiem tajā pašā dienā un mērījumu vietā, un atšķirību iemesls nav nosakāms, tāpēc visticamāk, ka šie mērījumi ir uzskatāmi par kļūdainiem. Aprakstošās statistikas rādītāji 2023. gadā veiktajiem validētajiem mērījumiem Auces, Bērzes, Mellupītes, Lafloras un Mārupes mērījumu vietās ir attēloti 13.tab. Vislielākā emisijas no augsnes svārstību amplitūda 2023. gadā tika novērota N_2O no -7.22 līdz 238.05 g N_2O ha⁻¹ dnn⁻¹ un CO_2 no -0.91 līdz 477.62 kg CO_2 ha⁻¹ dnn⁻¹. Analizējot vidējās vērtības un mediānas savstarpējo sakarību, ir skaidri redzams, ka N_2O un CO_2 emisiju no augsnēm 2023. gadā ir bijušas pozitīvas ekstrēmās

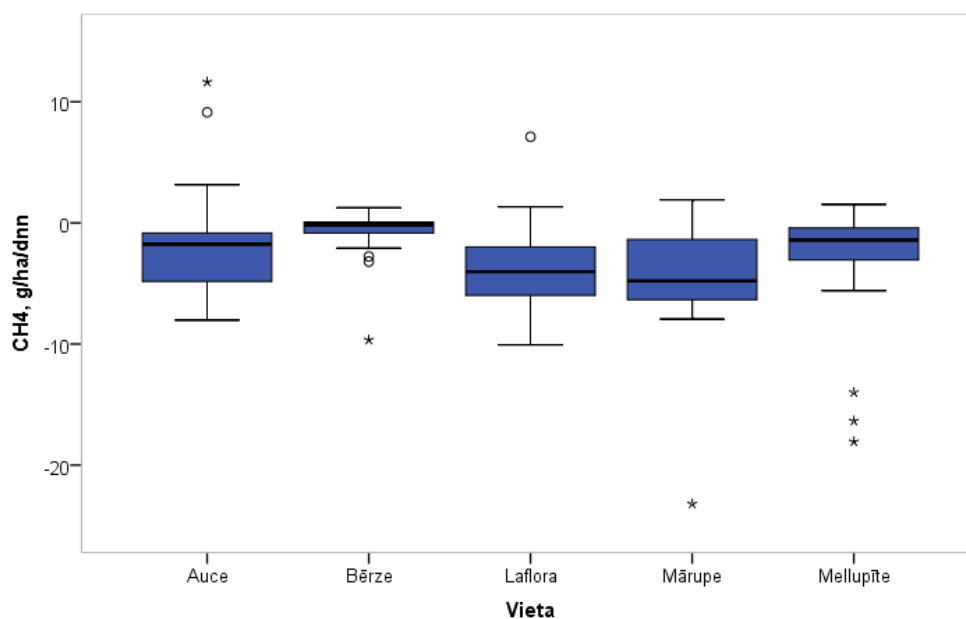
vērtības, kas vistīcamāk ir saistītas ar mikroorganismiem labvēlīgu faktoru (augšnes mitruma, augšnes temperatūras u.c.) sakrītību konkrētajā mērījumu dienā.

13.tab. N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju no augšnes statistiskie rādītāji 2023. 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	171	171	171	171
	Missing	0	0	0	0
Mean		-2.82	13.47	95.38	0.76
Std. Error of Mean		0.30	2.65	5.98	0.30
Median		-2.05	2.62	82.52	-0.02
Std. Deviation		3.97	34.59	78.22	3.96
Variance		15.77	1196.39	6117.88	15.72
Minimum		-23.20	-7.22	-0.91	-3.84
Maximum		11.64	238.05	477.62	28.94
Percentiles	25	-5.10	0.00	38.41	-0.46
	50	-2.05	2.62	82.52	-0.02
	75	-0.19	6.84	135.76	0.57

3.1.1. Metāna emisiju no augšnes mērījumu rezultāti

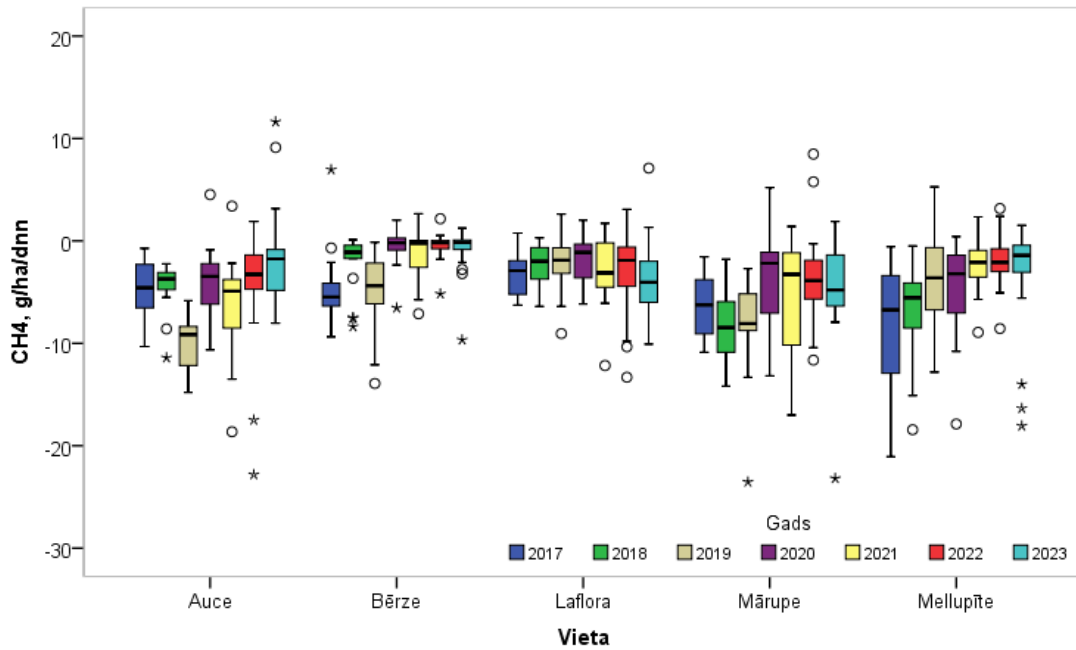
Vislielākā CH₄ emisiju no augšnes izkliede ir novērojama Auces mērījumu vietā, bet vislielākā CH₄ asimilācija augsnē ir fiksēta Mārupes mērījumu vietā, kas nozīmē, ka Mārupes mērījuma vietā dominējošie ir aerobi apstākļi, kas veicina CH₄ piesaisti no gaisa (18.att.). Bērzes mērījumu vietā ir vismazākā izkliede, kas ir ļoti tuvu nulles vērtībai, kas nozīmē, ka Bērzes mērījuma vietā skābekļa saturs augsnē ir mazāks, salīdzinot ar pārējām vietām. Vidējā CH₄ asimilācijas augsnē vērtība 2023. gadā visaugstākā ir Mārupē (-5.30 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹), bet viszemākā Bērzē (-1.50 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹).



18.att. CH₄ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. 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 Bērzi ir vērojama tendence, ka katru otro gadu CH₄ emisiju no augsnes izkliede samazinās un pēdējos divus gadus ir vērojama stabila CH₄ asimilācija augsnē, kas tuvojas nulles vērtībai (19. att.). Laflorai ir raksturīgs ekstensīvs saimniekošanas veids, kur ilggadīgs zemes lietojuma veids, krūmmelleņu audzēšana, ir nodrošinājis stabilus mikrobioloģiskos apstākļus augsnē, un 2023. gada mērījumu rezultātos ir vērojams CH₄ asimilācijas augsnē pieaugums. Mellupītes mērījumu vietā CH₄ emisijai no augsnes pa gadiem ir vērojams pieaugums.

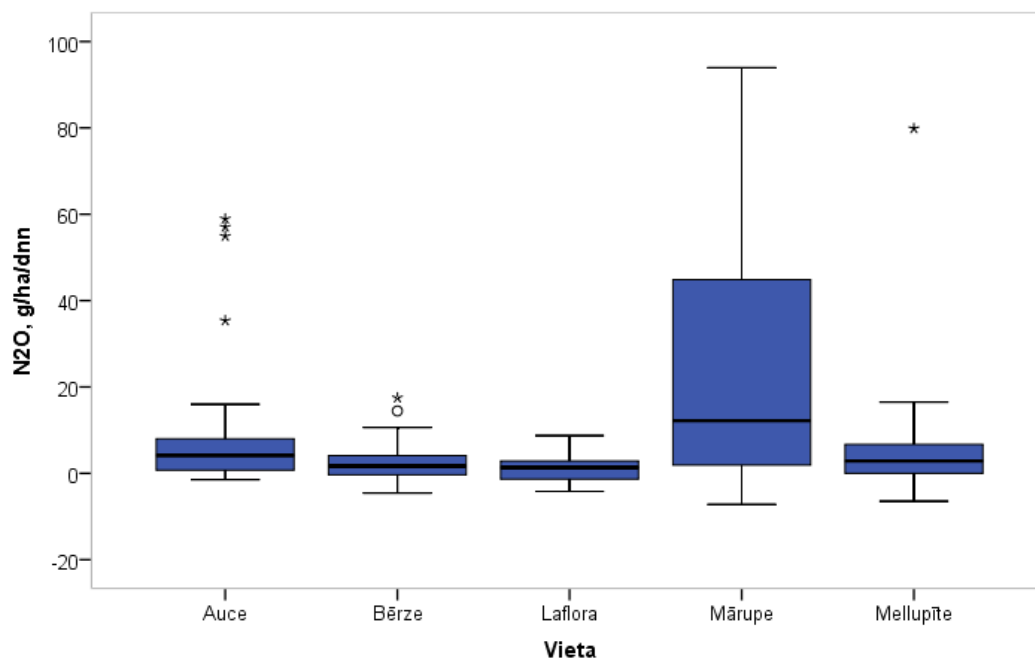
CH₄ emisijas no augsnes statistiski nozīmīgas atšķirības ir starp Bērzi un pārējām mērījumu vietām, starp Mārupi un Mellupīti, Lafloru, Bērzi, un starp Auci un Lafloru ($p < 0.05$). CH₄ emisijai no augsnes ir novērojamas vislielākās atšķirības starp gadiem: 2019. un 2020., 2021., 2022., 2023., starp 2017. un 2020., 2021., 2022., 2023., 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.



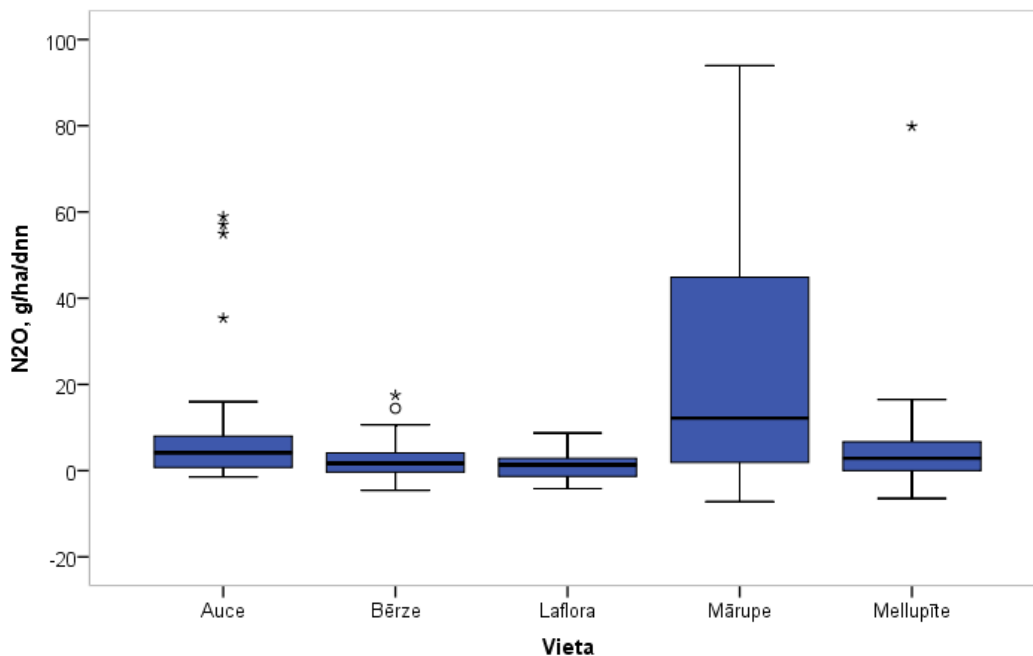
19. att. CH₄ emisiju no augsnes novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam.

3.1.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti

Izvērtējot N₂O emisiju no augsnēm vērtību izkliedi mērījumu vietās, var secināt, ka Mārupes mērījuma vietā emisijas no augsnēm ir ar visizteiktāko svārstību amplitūdu (



20.att.), ko izskaidro fakts, ka Mārupē augsne ir ar augstu organiskās vielas saturu. Vidējā N₂O emisijas no augsnes vērtība 2023. gadā visaugstākā ir Mārupē (46.54 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹), bet viszemākā Bērzē (3.73 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹).

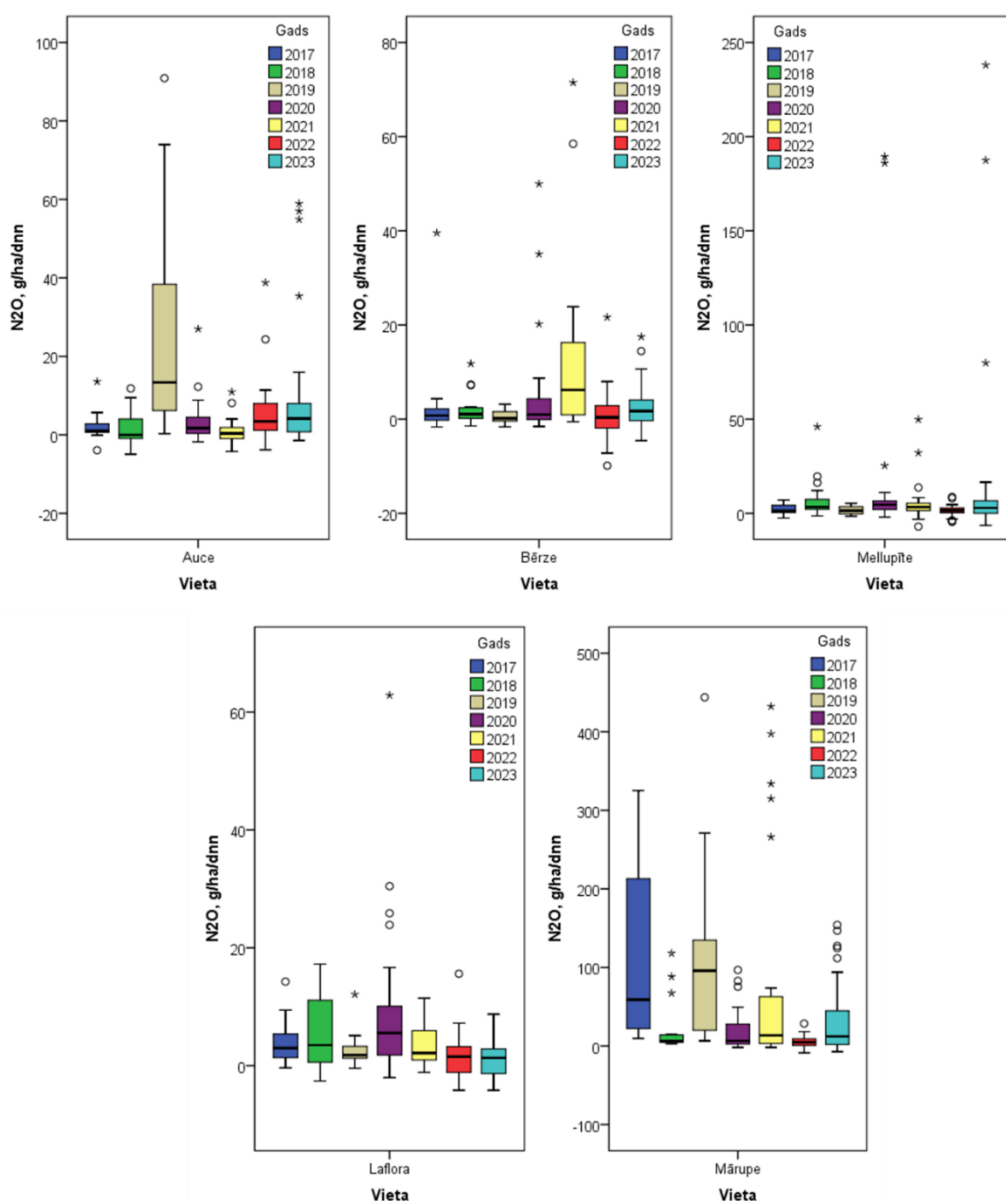


20.att. N₂O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.

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 ar izteiktām ekstrēmu vērtībām 2020. gadā, ko izskaidro ekstensīvi saimniekošanas apstākļi un ilggadīgais krūmmelleņu stādījums, kas ir radījis ļoti stabilus augsnes apstākļus organiskajā augsnē. Visās mērījumu vietās 2023. gadā ir vērojams N₂O emisijas no augsnēm palielinājums, salīdzinot ar pārējiem gadiem, izņemot Lafloru, kur 2023. gada emisija ir aptuveni 2022. gada līmenī. Katrā mērījumu vietā ir kāds gads, kur ir novērotas ekstrēmas vērtības, piemēram, Aucē tas ir 2019. gads, Bērzē 2021. gads, Mellupītē 2020. un 2023. gads, Laflorā 2020. gads, bet Mārupē 2019. un 2021. gads.

Statistiski nozīmīgas atšķirības N₂O emisijai no augsnēm ir novērota starp Mārupes un pārējām mērījumu vietām ($p < 0.05$), un starp Bērzi un Mellupīti ($p = 0.044$). Atšķirība starp Mārupi un pārējām mērījumu vietām norāda uz ļoti

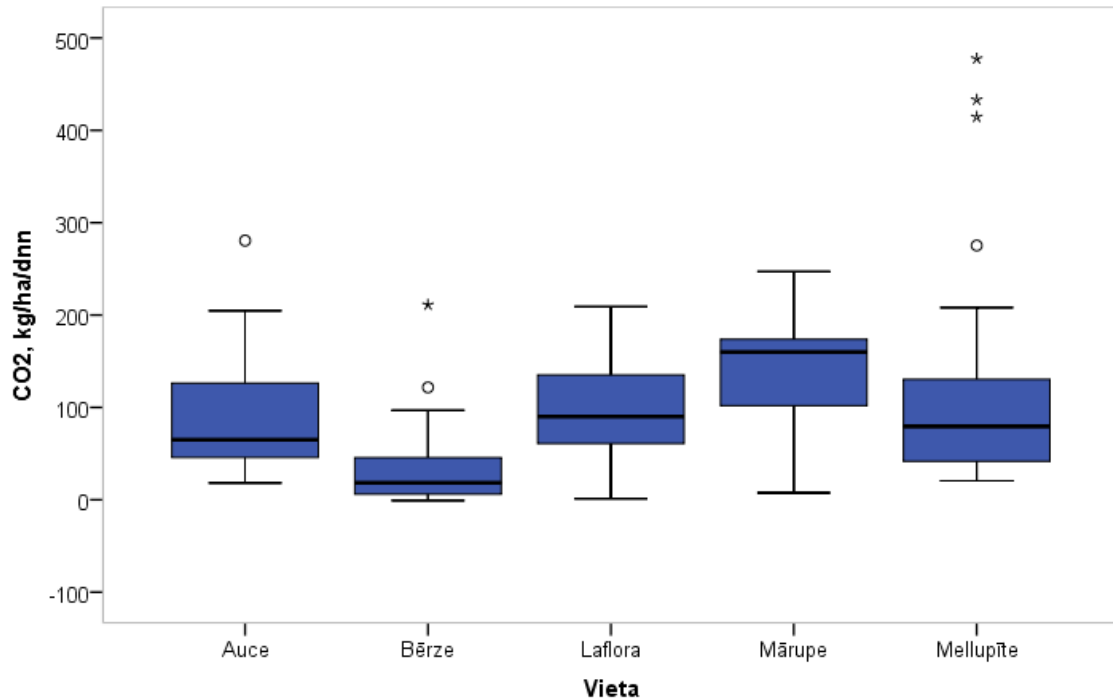
būtiskām atšķirībām starp Mārupes un pārējo vietu N₂O emisijām no augsnēm, kas ir skaidrojams ar to, ka Mārupes mērījumu veikšanas vietā notiek intensīva augsnes apstrāde un lauksaimnieciskā ražošana uz organiskajām augsnēm. Lafloras mērījumu veikšanas vietā augsnes apstrādi un lauksaimniecisko ražošanu var uzskatīt par ekstensīvu, tāpēc nav novērojamas būtiskas atšķirības starp Lafloras un pārējo mērījumu vietu N₂O emisijām no augsnēm. Salīdzinot pa gadiem, nozīmīgas atšķirības ir starp N₂O emisijas no augsnes vidējo vērtību 2022. gadā un vidējām vērtībām 2019., 2020., 2021. gadā ($p=0.017$, $p=0.001$, $p=0.005$). N₂O emisijas vidējā vērtība 2022. gadā ir 3.61 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹, bet pārējos gados tā svārstās no 13.20 līdz 60.33 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹.



21. att. N₂O emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam.

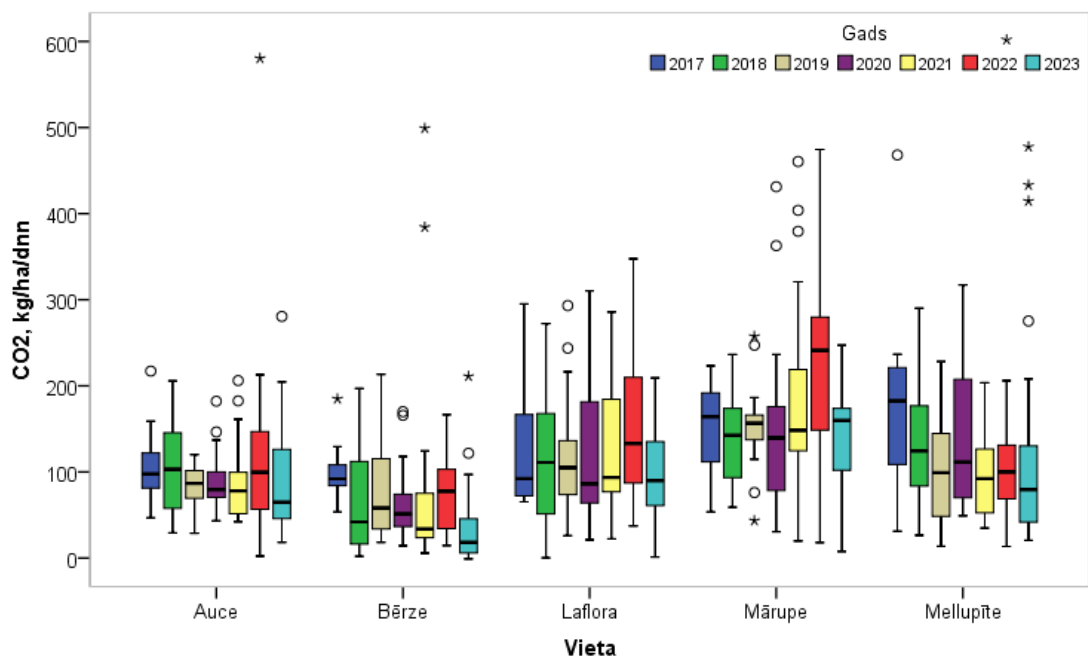
3.1.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti

Lafloras un Mārupes mērījumu veikšanas vietās ir vērojamas relatīvi visaugstākās CO₂ emisijas no augsnēm (22. att.), kas ir saistāma ar organisko augsni un ar to saistīto mitruma režīmu. Maksimālās vērtības 2023. gadā ir novērotas Auces, Bērzes un Mellupītes mērījumu vietās.



22. att. CO₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.

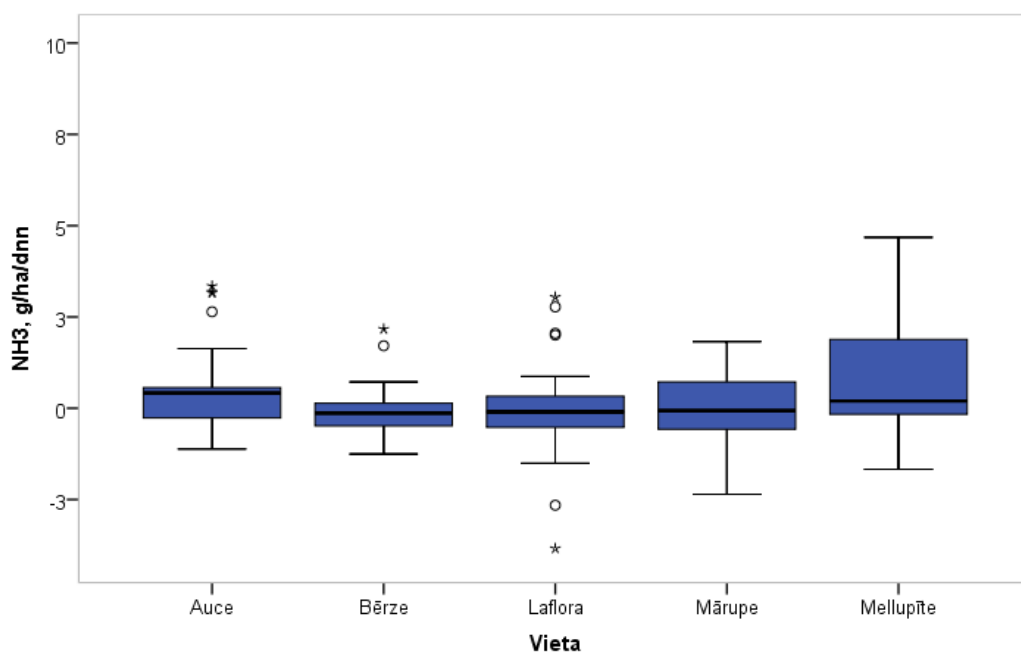
CO₂ emisija no augsnēm 2022. gadā visās mērījuma vietās, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, ir zemāka, kas nozīmē, ka veģetācijas periodā sausie un vēsie laikapstākļi ir mazinājuši mikroorganismu aktivitāti, kas nodrošina organiskās vielas sadalīšanos augsnē (23.att.). CO₂ emisijas no augsnēm statistiski nozīmīgas atšķirības ir starp Bērzi un pārējām mērījumu vietām, un starp Mārupi un Auci, Mellupīti un Lafloru ($p < 0.05$). 2023. gadā CO₂ emisija no augsnēm ir statistiski nozīmīgi par aptuveni 35% zemāka salīdzinot ar 2017. un 2022. gadu ($p = 0.004$ un $p = 0.002$).



23.att. CO₂ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. gadam.

3.1.4. Amonjaka mērījumu rezultāti

NH₃ emisiju no augsnēm mērījumu rezultāti uzrāda nosacīti zemu NH₃ emisiju no augsnēm apjomu Bērzē, Laflorā un Mārupē, ja analizējam mediānas vērtības (24.att.). Maksimālās vērtības 2023. gadā ir novērotas Bērzē un Mellupītē, bet vislielākā amplitūda Mellupītē.

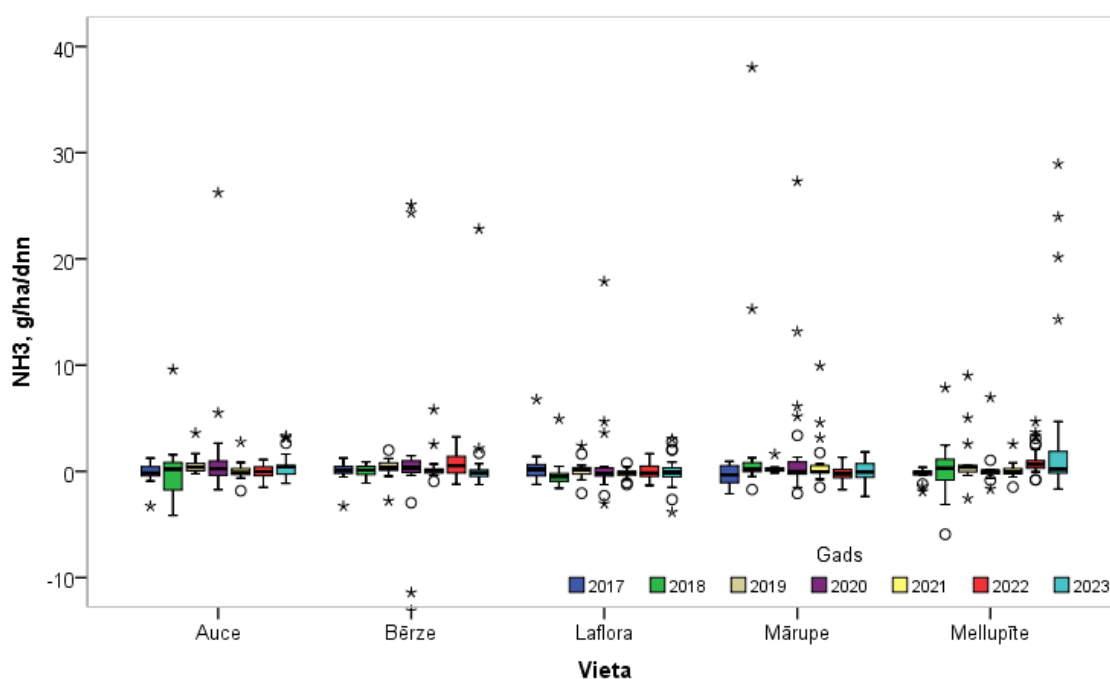


24.att. NH₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2023. gadā.

Analizējot NH₃ emisiju no augsnēm gadu griezumā, ir jāmin, ka visos gados visās mērījuma veikšanas vietās ir vērojamas ekstrēmas maksimālas vērtības, kas raksturo NH₃ emisiju no augsnēm nevienmērību (skat.

25. att.). Izteiktas negatīvās vērtības liecina par augu spēju uzņemt NH₃. Laflorā NH₃ emisijas no augsnēm novērojumi ir līdzīgi kā iepriekšējos gados.

NH₃ emisijas no augsnēm statistiski nozīmīgas atšķirības ir starp Lafloras un Mellupītes un Lafloras un Bērzes mērījumu vietām ($p < 0.05$). NH₃ emisijai no augsnēm vislielākās statistiski nozīmīgas atšķirības ir vērojamas starp 2017. un 2019. gadu un starp 2019. un 2021. gadu ($p < 0.05$).



25. att. NH₃ emisiju no augsnēm novērojumi pētījumu vietās 2017.-2023. 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 un augsnes temperatūras ietekme uz SEG emisijām no augsnēm. SEG emisiju no augsnēm vērtības neatbilst

normālam sadalījumam, tāpēc sakarību identificēšanai ir izmantots Kendala korelācijas koeficients (Chen, Popovich, 2002; Coffman et al., 2008). Gāzu savstarpējā sakarība, un sakarība starp gāzēm un augsnes mitrumu un gāzēm un augsnes temperatūru visās mērījumu vietās visās kamerās ir parādīta 14. tab. Korelācijas analīze rāda, ka, palielinoties augsnes temperatūrai, samazinās N₂O emisija no augsnes, kā arī, ja palielināsies CO₂ emisija no augsnes, tad CH₄ emisija no augsnes samazināsies. NH₃ emisija no augsnes 2023. gadā būtiski korelē ar pārējām gāzēm: palielinoties NH₃ emisijai no augsnēm samazināsies N₂O un CH₄ emisijas no augsnēm, bet CO₂ palielināsies (p<0.01).

14. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām 2023. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	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	0.013	-0.169**	-0.004	-0.085	0.061
Augsnes mitrums, %	0.013	1.000	0.029	0.092	0.039	-0.099
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.169**	0.029	1.000	0.076	0.065	-0.264**
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.004	0.092	0.076	1.000	-0.327**	-0.163**
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.085	0.039	0.065	-0.327**	1.000	0.135**
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.061	-0.099	-0.264**	-0.163**	0.135**	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Analizējot atsevišķi organisko augšņu un minerālaugšņu emisijas 2023. gadā, ir redzams, ka minerālaugsnēs veidojas negatīva statistiski nozīmīga sakarība starp N₂O emisiju no augsnes un augsnes temperatūru un NH₃ emisiju no augsnes, bet pozitīva sakarība ar augsnes mitrumu un CH₄. CH₄ veido statistiski nozīmīgu negatīvu sakarību ar CO₂, bet NH₃ veido statistiski nozīmīgu pozitīvu korelāciju ar CO₂, un negatīvu sakarību ar N₂O (15. tab.).

15. tab. Kendala korelācijas koeficienti minerālaugsnes kamerām 2023. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	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	0.013	-0.212**	-0.010	-0.092	0.007
Augsnes mitrums, %	0.013	1.000	0.163*	0.038	0.061	-0.061
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.212**	0.163*	1.000	0.028	0.109	-0.252**
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.010	0.038	0.028	1.000	-0.370**	-0.131
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.092	0.061	0.109	-0.370**	1.000	0.223**
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.007	-0.061	-0.252**	-0.131	0.223**	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Organiskajās augsnēs 2023. gadā starp CH₄ un augsnes mitrumu, ir statistiski nozīmīga pozitīva korelācija, kā arī starp CO₂ un NH₃ ir pozitīva sakarība (16. tab.), kas nozīmē, ka, palielinoties augsnes mitrumam, palielināsies CH₄ emisija no augsnes un, palielinoties CO₂ emisijai no augsnes, palielināsies NH₃ emisija no augsnes. Negatīva sakarība ir starp NH₃ emisiju no augsnes un augsnes mitrumu, N₂O un CH₄ emisiju no augsnes.

16. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām 2023. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	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	-0.158	-0.107	-0.131	-0.067	0.096
Augsnes mitrums, %	-0.158	1.000	-0.132	0.240**	-0.027	-0.197*
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.107	-0.132	1.000	0.140	-0.012	-0.286**
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.131	0.240**	0.140	1.000	-0.042	-0.304**
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.067	-0.027	-0.012	-0.042	1.000	0.176*
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.096	-0.197*	-0.296**	-0.304**	0.176*	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam augsnes temperatūra pozitīvi ietekmē CO₂ un NH₃ emisiju no augsnes, kā arī augsnes mitrums palielina N₂O, CH₄ un CO₂ emisiju no augsnes. CH₄ emisijai no augsnes ir negatīva korelācija ar pārējām gāzēm un CO₂ emisijai no augsnes ir pozitīva sakarība ar N₂O emisiju no augsnes (17. tab.). Korelācijas analīze ļauj secināt, ka augsnes mitrumam ir ļoti liela ietekme uz emisiju veidošanās procesiem augsnē.

17. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	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	-0.034	-0.042	0.009	0.113**	0.089**
Augsnes mitrums, %	-0.034	1.000	0.082**	0.130**	0.054*	-0.023
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.042	0.082**	1.000	-0.057*	0.092**	-0.076**
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.009	0.130**	-0.057*	1.000	-0.307**	-0.050*
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.113**	0.054*	0.092**	-0.307**	1.000	-0.011
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.089**	-0.023	-0.076**	-0.050*	-0.011	1.000

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

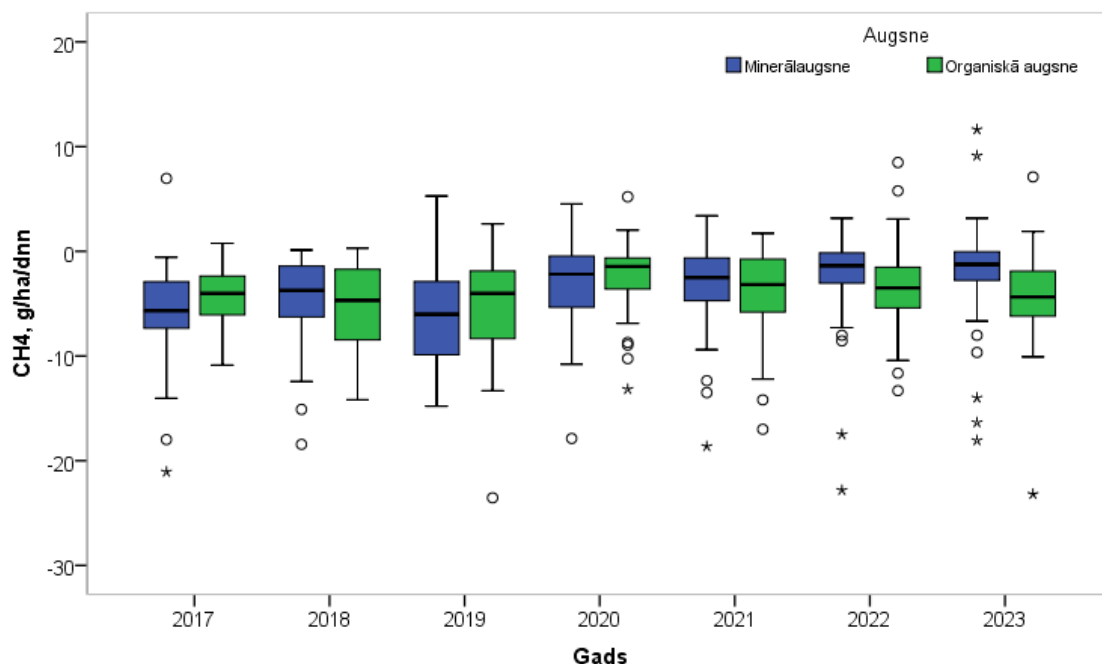
Starp minerālaugšņu un organisko augšņu paraugkopām ir statistiski nozīmīga atšķirība visu gāzu emisijām no augsnes (p<0.05), analizējot visus gadus

kopā, bet, skatot atsevišķi pa gadiem, 2017. un 2018. gadā būtiski atšķiras N₂O emisija no augsnes (p<0.05), 2019., 2020. un 2021. gadā N₂O un CO₂ emisija (p<0.05), 2022. gadā CH₄, CO₂ un NH₃ emisija (p<0.05), bet 2023. gadā CO₂ un CH₄ emisija no augsnes (p<0.05) (skat. 18. tab.).

18. tab. SEG un NH₃ emisiju no organiskajām un minerālaugsnēm vidējās vērtības un mediānas no 2017. līdz 2023. gadam

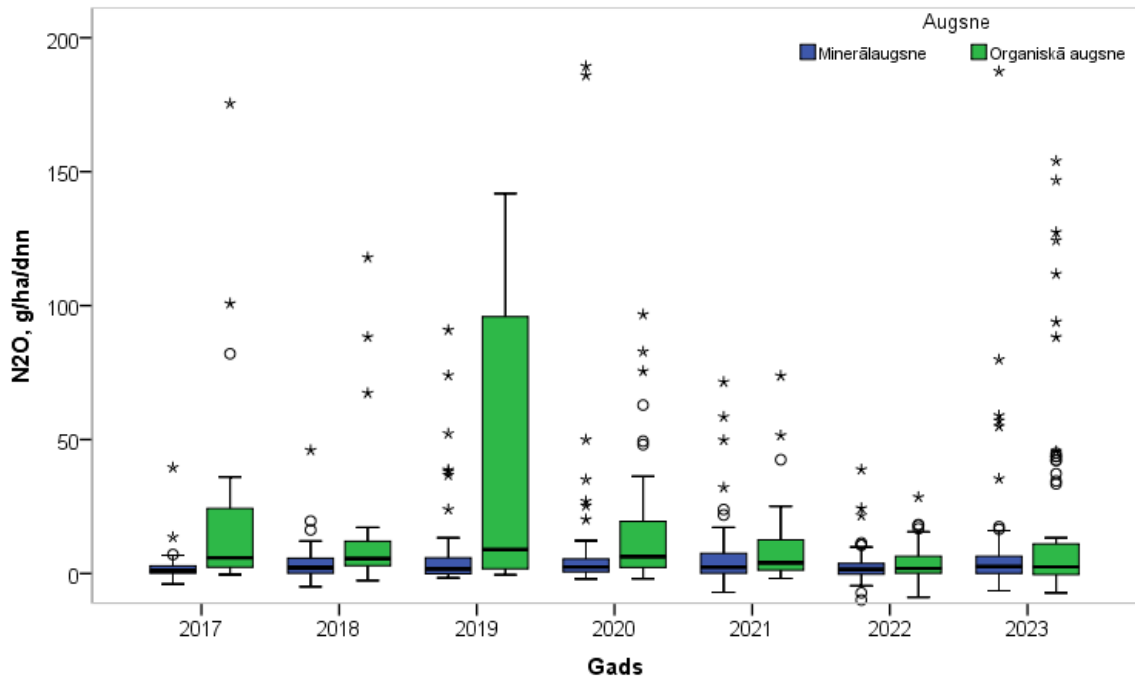
Gads	Augsne	Rādītājs	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
2017	Min	Vidējais	2.54	-5.87	124.25	-0.17
		Mediāna	1.07	-5.67	105.34	-0.10
	Org	Vidējais	48.40	-4.44	134.79	1.49
		Mediāna	5.87	-4.01	130.74	0.15
2018	Min	Vidējais	4.00	-4.50	100.69	0.14
		Mediāna	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

Analizējot organiskajās un minerālaugsnēs novērotās metāna emisijas no 2017. līdz 2023. gadam, ir vērojamas augstākas mediānas vērtības 2017., 2019. un 2020. gados organiskajās augsnēs, taču 2018., 2021., 2022. un 2023. gadā ir vērojams pretējs efekts (26.att.). No 2017. gada ir vērojams cikliskums CH₄ piesaistē, kur vienā gadā ir lielāka piesaiste organiskajā augsnē, bet nākošajā gadā minerālaugsnē, bet pēdējie trīs gadi rāda, ka organiskā augsne piesaista vairāk CH₄ nekā minerālaugsne.



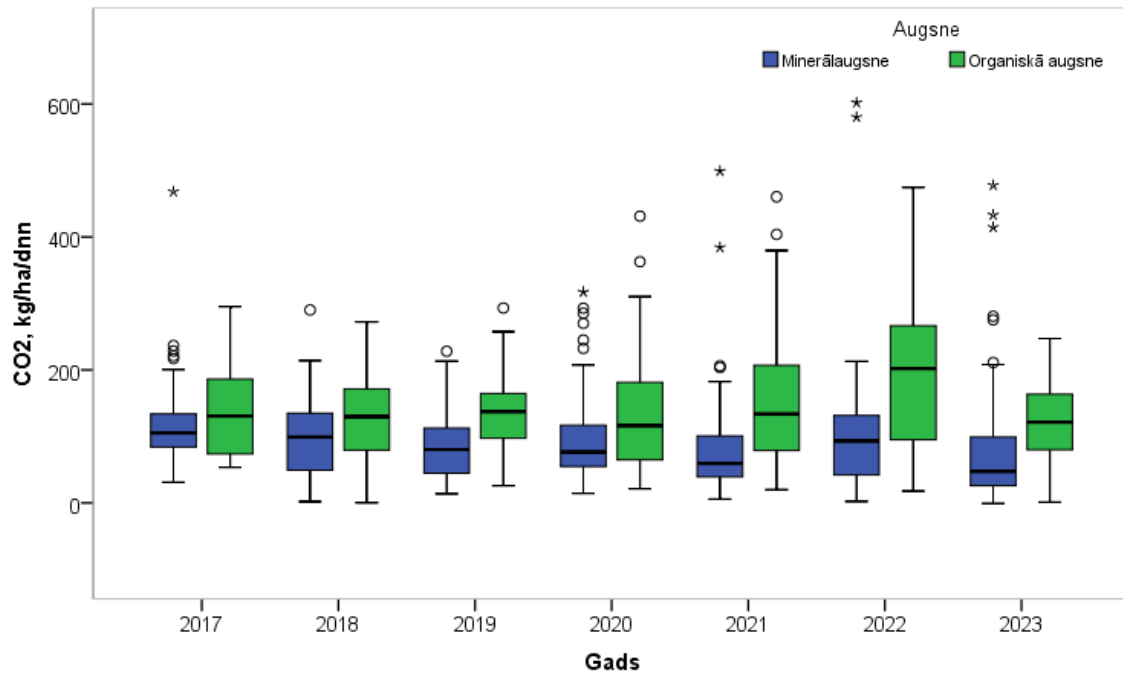
26.att. CH₄ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.

Analizējot N₂O emisijas no augsnēm vērtības, organiskajās augsnēs ir vērojama izteiktāka N₂O emisiju no augsnēm vērtību izkliede visos gados ar relatīvi izteiktāku pozitīvu mediānas vērtību, kur maksimālo vērtību apjoms ir izteikts 2017., 2019. un 2021. gadā (skat. 27.att.). 2019. gadā ir vērojama lielāka N₂O emisijas no augsnes izkliede, kas varētu būt skaidrojama ar meteoroloģiskajiem apstākļiem 2019. gada veģetācijas perioda sākumā, kad aprīlī ir novēroti vismazāk nokrišņu, salīdzinot ar citiem gadiem, kam seko nokrišņu pieaugums. Šādi sausuma periodi, pēc kuriem seko nokrišņu periods, īslaicīgi ievērojami palielina N₂O emisiju no augsnes un to dēvē par “*birch effect*” emisiju pieaugumu. Pēc lietussausuma beigām, emisijas no augsnes nokrītas sākotnējā stāvoklī tikai pēc dažām dienām (Oertel et al., 2016).



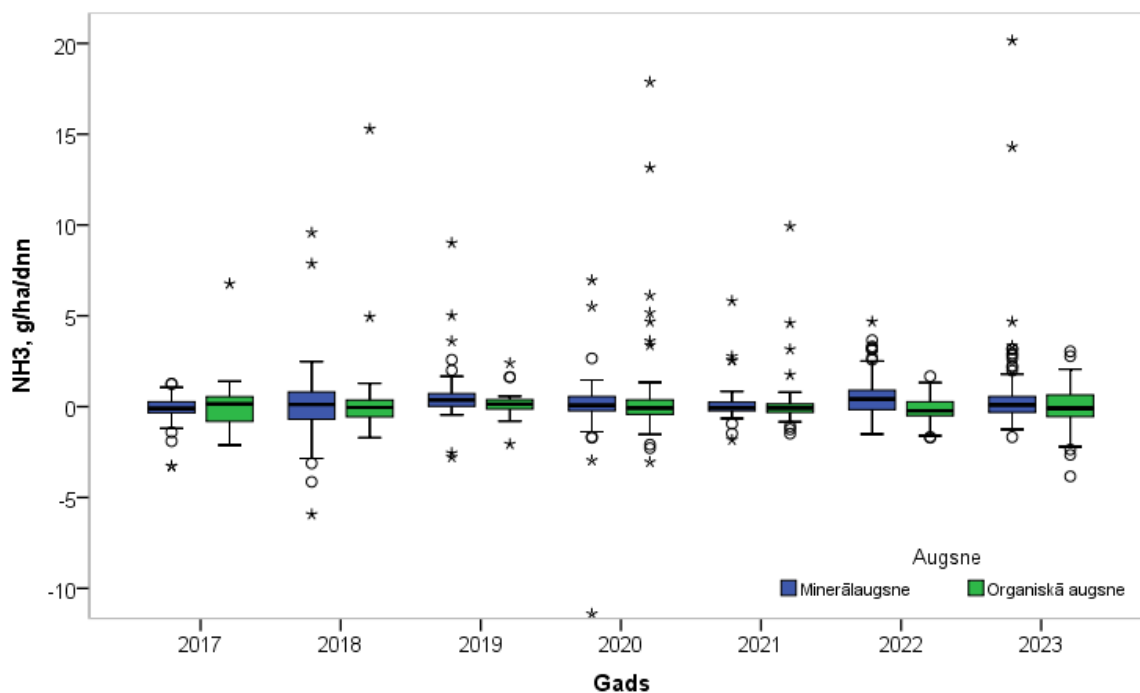
27.att. N₂O emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.

Ogļskābās gāzes emisiju no augsnes vērtības minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs, vērtējot gadu griezumā, ir ar līdzīgu izkliedes amplitūdu, bet visos gados organiskajās augsnes ir novērojama augstāka CO₂ emisijas no augsnes mediānas vērtība. Īpaši jāpiemin, ka, neraugoties uz indikācijām, ka organiskajās augsnēs ir palielinātas ogļskābās gāzes emisijas, arī minerālaugsnēs tiek novērotas maksimālās vērtības (28.att.). Salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem, 2023. gadā organiskajās augsnēs varam novērot CO₂ emisijas no augsnēm samazinājumu, kas var būt skaidrojams ar sausākiem un aukstākiem apstākļiem 2023. gada veģetācijas perioda sākumā.



28.att. CO₂ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.

Amonjaka emisijai no augsnes ir mainīgs raksturs, ir vērojama ļoti liela izkliede visos gados, ar izteikti zemām vērtībām un augstām vērtībām abiem augsnes veidiem. Salīdzinot amonjaka emisiju no augsnēm pa gadiem, 2022. un 2023. gadā nav novērojamas maksimālās vērtības organiskajai augsnei, kādas tās ir iepriekšējos gados. Amonjaka emisijas no augsnēm palielināšanās ir ļoti saistīta ar minerālmēslu un kūstmēslu izmantošanu un augsnes mitrumu un temperatūru (29.att.).



29.att. NH₃ emisiju no augsnēm novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm laika posmam no 2017. līdz 2023. gadam.

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

Šajā apakšnodaļā analizēti Pēterlauku Poķu stacionāra mērījumu vietā iegūtie rezultāti, lai noteiktu augsnes apstrādes veidu (aršana un diskošana) ietekmi uz N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju no augsnes apjomu. Lai noteiktu, vai emisiju novērojumi būtiski atšķiras starp gadiem, augsnes apstrādes veidiem un kultūrām, datu apstrādē tika izmantots Mann Whitney U tests ($p < 0.05$), lai noteiktu augsnes apstrādes ietekmi un Kruskal-Wallis tests ($p < 0.05$), lai noteiktu gada un kultūras ietekmi uz N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisijām no augsnes.

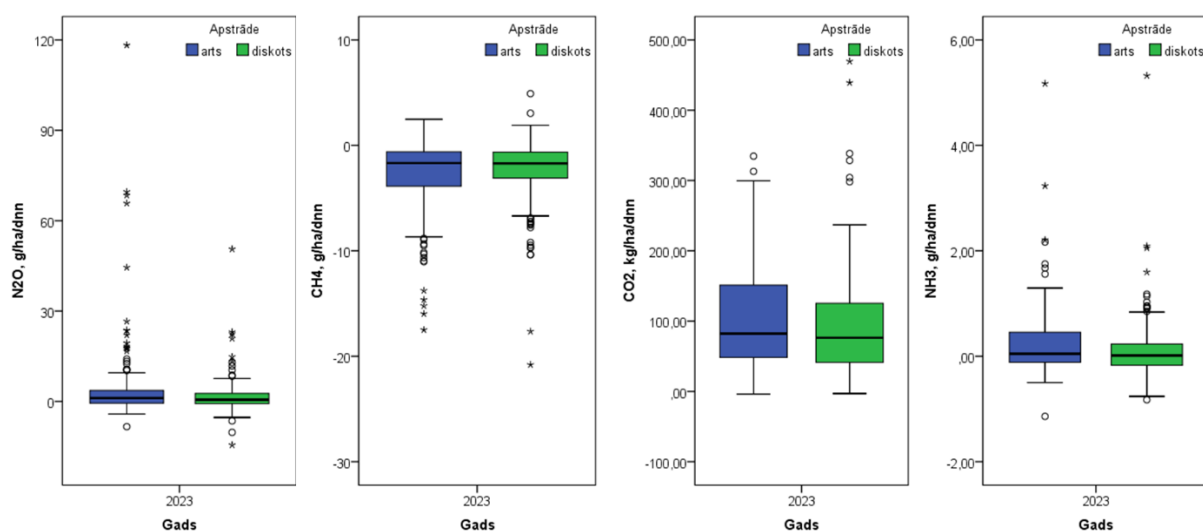
Datu apstrādē ir izmantoti 159 mērījumu rezultāti no artajiem lauciņiem un 159 mērījumu rezultāti no diskotajiem lauciņiem. Mērījumi veikti Pēterlauku Poķu stacionāra izmēģinājumā. Viens no diskoto lauciņu un viens no arto lauciņu mērījumiem netika iekļauts datu apstrādē, jo tie ļoti būtiski atšķīrās no pārējiem veiktajiem atkārtotajiem mērījumiem tajā pašā dienā un lauciņā, un atšķirību iemesls nav nosakāms, tāpēc tie visticamāk uzskatāmi par kļūdainiem. Aprakstošās statistikas rādītāji 2023. gadā veiktajiem mērījumiem ir attēloti

19. tab.

19. tab. N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji Poķu stacionārā 2023. gadā.

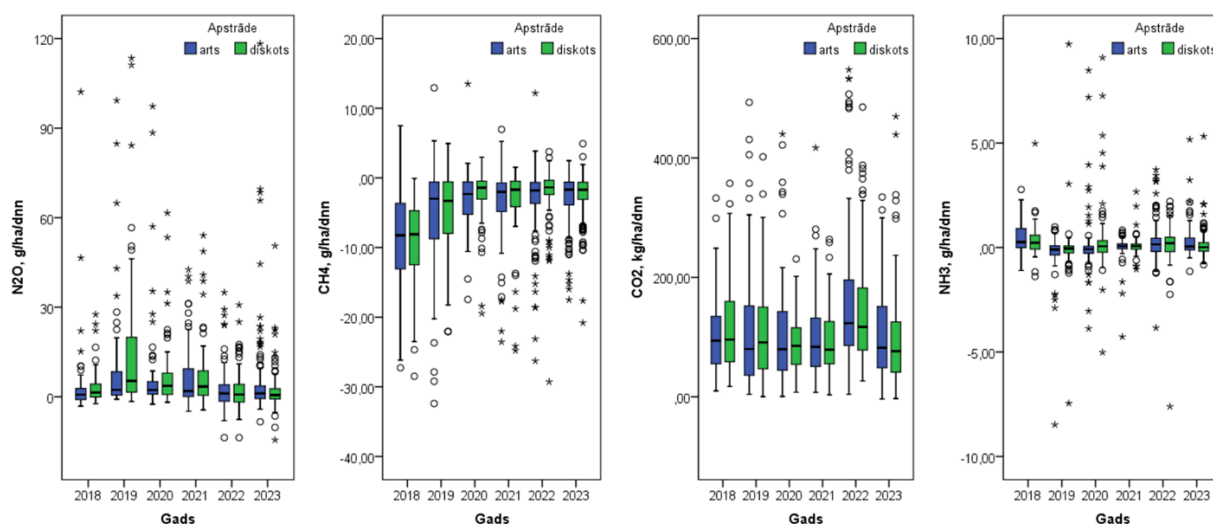
Variables		CH ₄ , g/ha/dnn		N ₂ O, g/ha/dnn		CO ₂ , kg/ha/dnn		NH ₃ , g/ha/dnn	
		Arts	Diskots	Arts	Diskots	Arts	Diskots	Arts	Diskots
N	Valid	159	159	159	159	159	159	159	159
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		-2,93	-2.50	4.75	1.70	103.43	94.32	0.26	0.12
Std. Error of Mean		0,28	0.26	1.13	0.49	5.70	6.17	0.05	0.05
Median		-1,67	-1.71	1.14	0.57	82.14	76.40	0.05	0.01
Std. Deviation		3,53	3.27	14.2 7	6.12	71.92	77.78	0.68	0.63
Variance		12,45	10.66	203. 50	37.42	5171.93	6048.99	0.46	0.39
Minimum		-17,49	-20.80	-8.37	-14.45	-3.80	-3.04	-1.14	-0.83
Maximum		2,47	4.91	118. 26	50.58	334.64	469.63	5.17	5.32
Perce ntiles	25	-3.88	-3.12	-0.76	-0.76	47.42	41.07	-0.12	-0.18
	50	-1.67	-1.71	1.14	0.57	82.14	76.40	0.05	0.01
	75	-0.53	-0.65	3.80	2.66	154.39	126.44	0.46	0.24

CH₄ emisijas no augsnes ir pārsvarā ar negatīvu zīmi, kas apstiprina literatūrā pieejamo informāciju, ka labi aerētās augsnēs baktērijas izmanto metānu kā enerģijas avotu (Peterson et.al., 2019). Artajos laucīņos NH₃ emisija no augsnes ir būtiski augstāka (0.26 NH₃ g/ha/dnn), salīdzinot ar diskotajiem laucīņiem (0.12 NH₃ g/ha/dnn) (p=0.036). Pārējām gāzēm nav būtisku atšķirību starp augsnes apstrāde sveidiem 2023. gadā (30.att.).



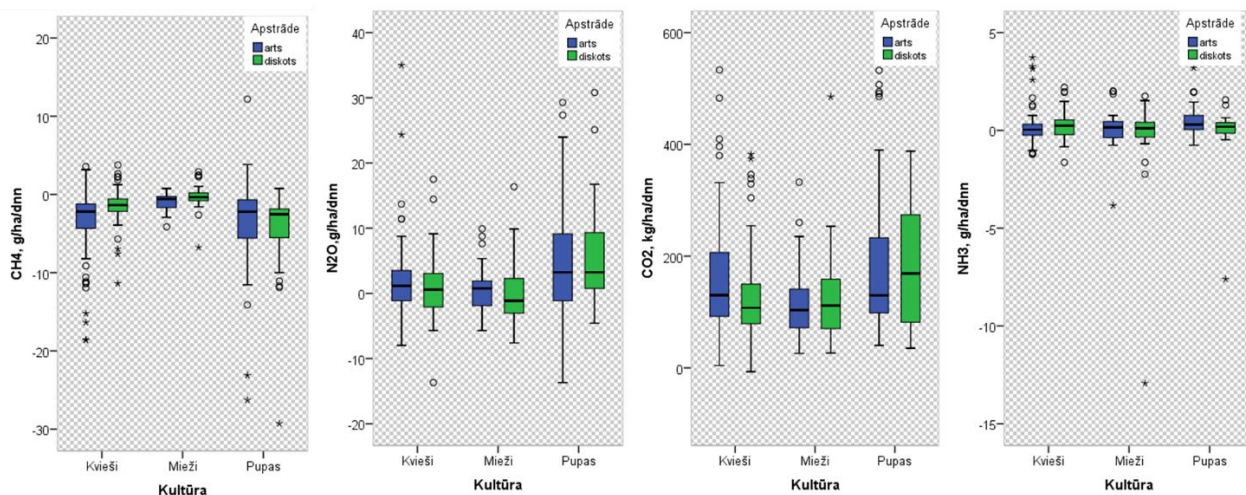
30.att. CH₄, N₂O, CO₂ un NH₃ emisiju no augsnes novērojumi Poķu stacionārā 2023. gadā pēc augsnes abstrādes veida.

Analizējot visus datus laika posmam no 2018. līdz 2023. gadam, būtiski atšķiras CH₄ emisija no augsnes pa augsnes apstrādes veidiem (p=0.034) (31.att.). 2018. gadā un 2021. gadā būtiskas atšķirības starp augsnes apstrādes veidiem nav novērojamas, bet 2019. gadā būtiski atšķiras N₂O emisija no augsnes pa augsnes apstrādes veidiem (p=0.011), 2020. gadā būtiski atšķiras NH₃ emisija no augsnes pa augsnes apstrādes veidiem (p=0.007), un 2022. gadā būtiski atšķiras CH₄ emisija no augsnes (p=0.016). CO₂ emisija no augsnes 2022. gadā būtiski atšķiras no CO₂ emisijas no augsnes pārējos gados (p<0.05). CH₄ emisijai no augsnes būtiskas atšķirības ir starp 2018. gadu un pārējiem gadiem, kā arī starp 2019. gadu un 2020., 2022. un 2023. gadu (p<0.05). NH₃ emisija no augsnes 2018. gadā būtiski atšķiras no pārējo gadu emisijām no augsnes (p<0.05). 2018., 2022. un 2023. gada N₂O emisijas no augsnes būtiski atšķiras no 2019., 2020. un 2021. gada emisijām no augsnes (p<0.05).



31.att. CH₄, N₂O, CO₂ un NH₃ emisiju no augsnes salīdzinājums 2018.- 2023. gadam.

2023. gadā nozīmīgākās atšķirības ir novērojamas N₂O emisijai no augsnes ir starp šādām kultūrām: rapsis un pupas, kvieši un pupas, pupas un mieži (p<0.05). CH₄ emisijai no augsnes 2023. gadā nozīmīgākas atšķirības nav novērojamas tikai starp kviešiem un miežiem. CO₂ emisijai no augsnes nozīmīgas atšķirības ir starp šādām kultūrām: pupas-mieži, pupas-rapsis, pupas-kvieši (p<0.05). NH₃ emisijai no augsnes nozīmīgas atšķirības ir tikai starp pupām un kviešiem (p=0.001) (32.att.).



32.att. CH₄, N₂O, CO₂ un NH₃ emisiju no augsnes salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida un kultūras 2023. gadā.

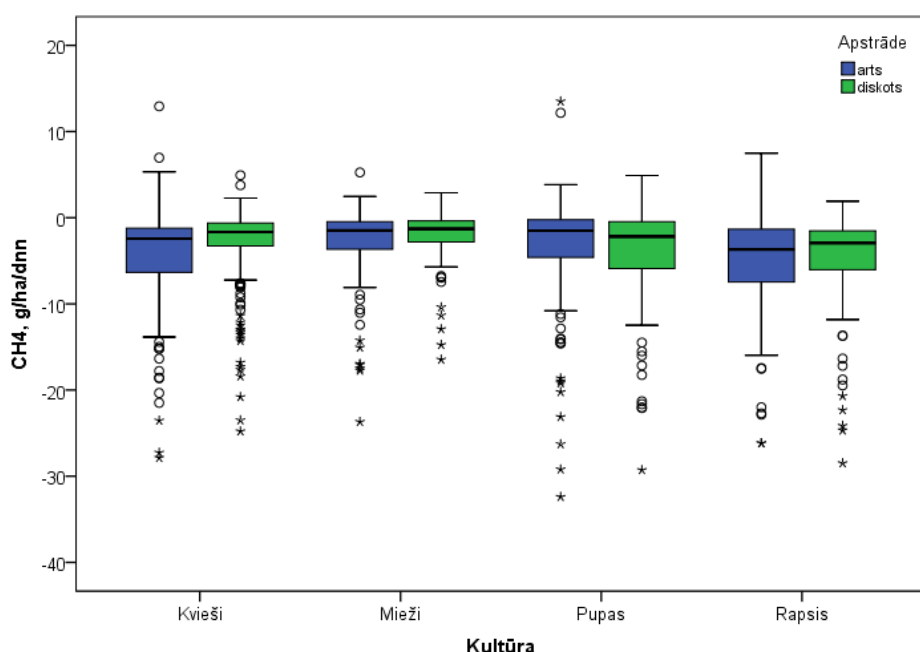
Vislielākā CH₄ piesaiste 2023. gadā ir rapša artajā laukā un diskotajā laukā (-5.2 CH₄ g/ha/dnn un -3.86 CH₄ g/ha/dnn), bet vismazākā piesaiste ir bijusi pupu artajā laukā (-0.94 CH₄ g/ha/dnn) (20. tab.). Vislielākā N₂O emisija no augsnes 2023. gada veģetācijas periodā ir bijusi lauku pupu artajā laukā, kas varētu būt skaidrojams ar augstu mikrobioloģisko aktivitāti. Visaugstākā CO₂ emisija no augsnes ir novērota miežu artajā laukā (132.03 CO₂ kg/ha/dnn), bet viszemākā – pupu diskotajā laukā (54.76 CO₂ kg/ha/dnn).

20. tab. Kultūraugu N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju no augsnes vidējās vērtības Poķu stacionārā 2023. gadā.

Kultūra	Apstrāde	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
Kvieši	Arts	-2.56	1.48	116.74	0.56
	Diskots	-3.12	0.39	115.49	0.26
Mieži	Arts	-3.02	2.06	132.03	0.17
	Diskots	-1.81	1.10	91.15	0.29
Pupas	Arts	-0.94	15.13	61.22	-0.05
	Diskots	-1.20	3.48	54.76	0.04
Rapsis	Arts	-5.20	0.27	104.43	0.35
	Diskots	-3.86	1.79	116.39	-0.12

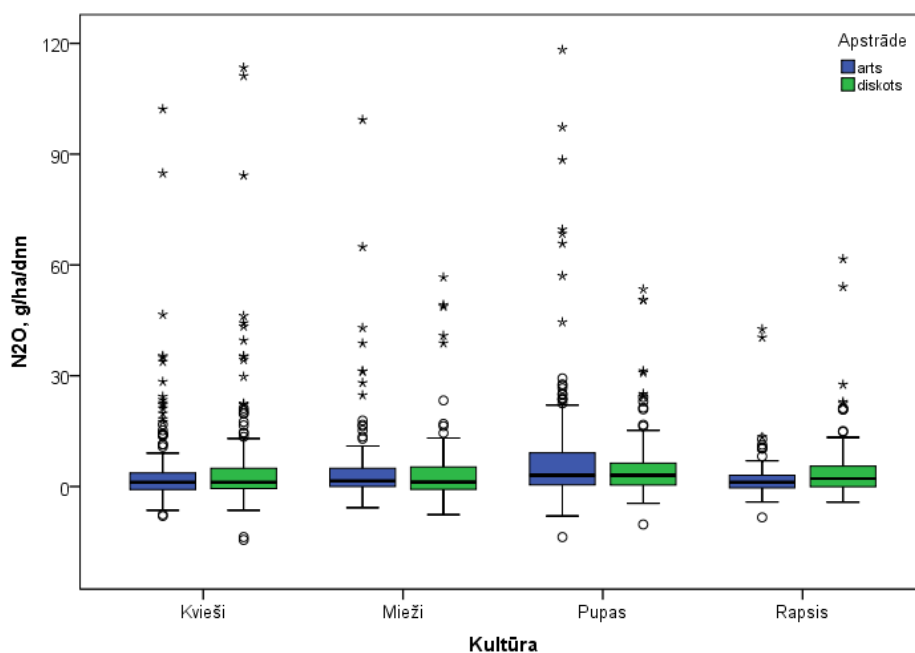
N₂O emisijai no augsnes starp augsnes apstrādes veidiem ir statistiski būtiska atšķirība pupu laukos 2023. gadā (p=0.002). Rapša laukos ir statistiski nozīmīga atšķirība starp augsnes apstrādes veidiem NH₃ emisijai no augsnes (p<0.05). CO₂ emisijai no augsnes miežu laukos 2023. gadā ir statistiski būtiska atšķirība starp augsnes apstrādes veidiem (p=0.016).

Salīdzinot SEG emisijas no augsnes starp kultūrām laika posmā no 2018. līdz 2023. gadam, ir novērojamas atšķirības gan starp kultūrām, gan augsnes apstrādes veidiem. Diskotajos kviešu laukos un rapšu laukos ir mazāka CH₄ piesaiste augsnē nekā artajos laukos, diskotajam miežu laukam CH₄ piesaiste augsnē ir līdzvērtīga abiem augsnes apstrādes veidiem, bet diskotajā pupu laukā ir lielāka piesaiste nekā artajā pupu laukā. Statistiski nozīmīgākās atšķirības CH₄ asimilācijai ir starp rapsi un pārējām kultūrām ($p < 0.05$), kā arī starp kviešiem un miežiem ($p = 0.003$) (33.att.). Vērtējot visus gadus kopā, kvieši ir vienīgā kultūra, kurai ir statistiski nozīmīga atšķirība CH₄ asimilācijai augsnē starp augsnes apstrādes veidiem ($p = 0.007$).



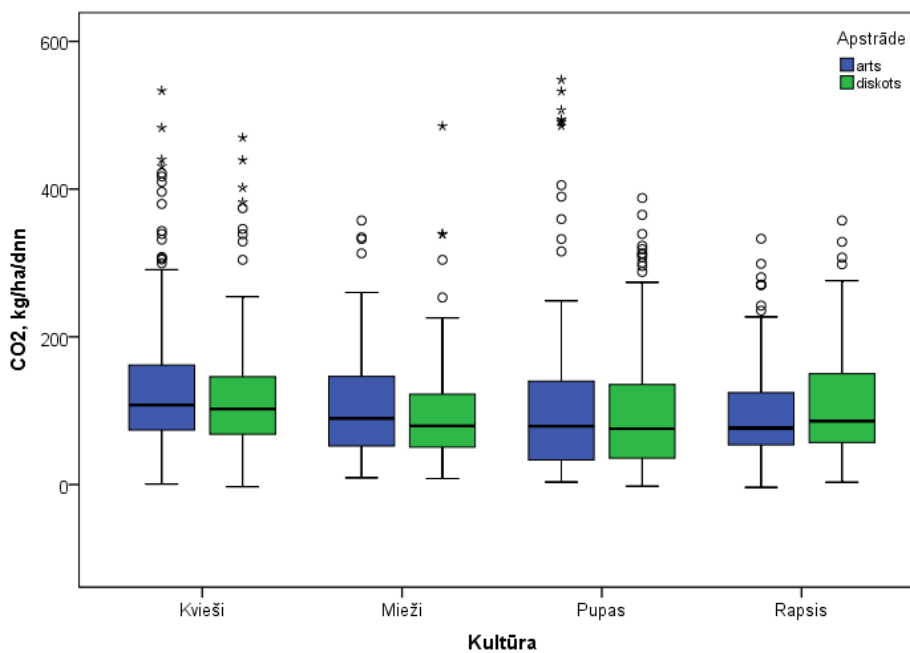
33.att. CH₄ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.

N₂O emisija no augsnes ar vislielāko izkliedi ir pupu artajā laukā, kā arī diskotajam rapšu laukam ir lielāka emisija no augsnes, salīdzinot ar arto lauku. Statistiski nozīmīga atšķirība ir starp pupu N₂O emisiju no augsnes un pārējo kultūru N₂O emisijām no augsnes ($p < 0.05$) (34.att.).



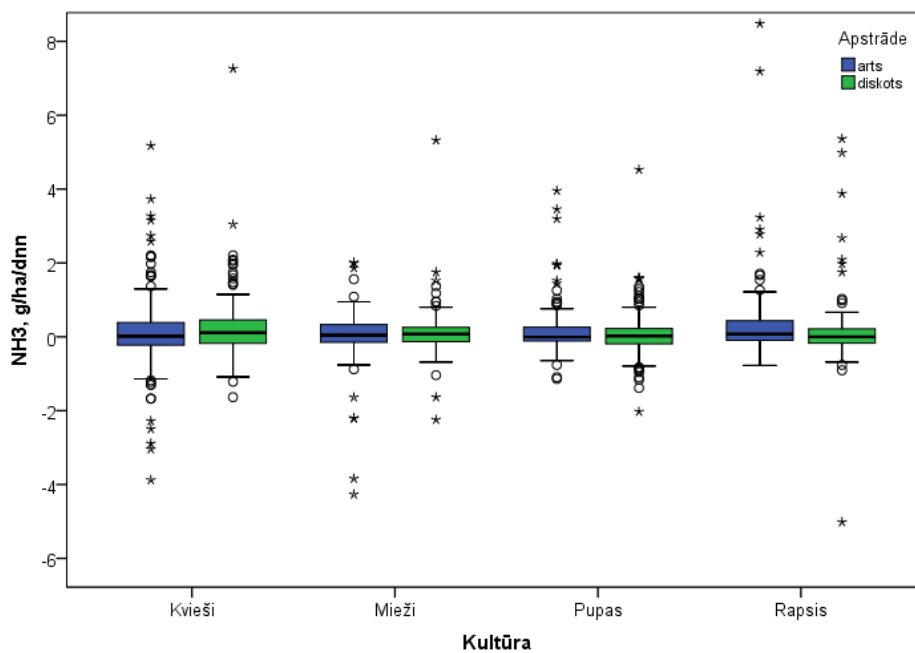
34.att. N₂O emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.

Vērtējot CO₂ emisiju no augsnes 2018.- 2023. gadu griezumā, ir vērojamas statistiski nozīmīgas atšķirības starp kviešu un pārējo kultūru N₂O emisijām no augsnes ($p < 0.05$). Rapsis ir vienīgā kultūra, kurai CO₂ emisija no augsnes ir augstāka diskotajā augsnes apstrādē.



35.att. CO₂ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.

NH₃ emisijai no augsnes visā pētījuma periodā no 2018. līdz 2023. gadam nav statistiski būtiskas atšķirības starp kultūrām un augsns apstrāds veidiem.



36.att. NH₃ emisijas no augsnes salīdzinājums starp kultūrām 2018.- 2023. gadam.

SECINĀJUMI

1. SEG un NH₃ emisiju no augsnēm pētījuma septiņu gadu rezultāti parāda, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība CH₄, N₂O, NH₃ un CO₂ emisijām no augsnēm pie dažādiem augsnes organiskās vielas satura rādītājiem, augsnes apstrādes veidiem un audzējamās kultūras, tomēr papildus tam katra gada laikapstākļi, nokrišņu daudzums, gaisa temperatūra un relatīvais gaisa mitrums būtiski ietekmē emisiju no augsnēm.
2. Statistiski nozīmīga atšķirība ir CH₄, N₂O, NH₃ un CO₂ emisijām minerālaugsnē, ko reprezentē Auces, Bērzes, un Mellupītes mērījumu vietas, un organiskajā augsnē, ko reprezentē Lafloras un Mārupes mērījumu vietas. Piemēram, N₂O un CO₂ emisijas ir izteikti augstākas no organiskajām augsnēm nekā no minerālaugsnēm, bet CH₄ piesaiste pēdējos gadus ir lielāka organiskajā augsnē.
3. SEG emisijas no augsnēm ir tieši atkarīgas no augsnes mikrobioloģiskās aktivitātes, ko savukārt būtiski ietekmē meteoroloģiskie apstākļi konkrētajā gadā. SEG emisiju veidošanās tendences pie konkrētiem agrotehniskajiem pasākumiem, konkrētam augsnes tipam ir iespējams identificēt, tikai veicot ilgtermiņa monitoringu.
4. SEG un NH₃ emisiju no augsnēm septiņu gadu pētījumu rezultāti norāda uz augsnes mitruma būtisko ietekmi uz emisijām no augsnes. Neatkarīgi no augsnes veida augsnes temperatūrai ir statistiski būtiska pozitīva korelācija ar CO₂ un NH₃ emisijām, attiecīgi palielinoties augsnes temperatūrai sagaidāms CO₂ un NH₃ emisiju palielinājums. Augsnes mitrumam ir novērota statistiski būtiska pozitīva korelācija ar N₂O, CH₄ un CO₂ emisijām, attiecīgi palielinoties augsnes mitrumam sagaidāms N₂O, CH₄ un CO₂ emisiju palielinājums.
5. Vienlaikus novērotas savstarpējās saistības starp gāzu emisiju no augsnes veidošanos. Kendala korelācijas koeficientu aprēķini liecina, ka, palielinoties CO₂ emisijām no augsnes, sagaidāms arī N₂O emisijas palielinājums un CH₄ emisijas samazinājums no augsnes. Savukārt, palielinoties N₂O emisijai no augsnes, ir sagaidāms, ka palielināsies CO₂ emisija, bet samazināsies CH₄ un NH₃ emisijas no augsnes. Minētie rezultāti norāda, ka visu gāzu emisiju vienlaicīga samazināšana no lauksaimniecības zemēm nav iespējama, jo

gāzu emisiju veidošanos ietekmē atšķirīgi apstākļi un procesi. Tas jāņem vērā, plānojot SEG emisiju samazinošu pasākumu ieviešanu lauksaimniecības zemēs.

6. Augu sekas ar tauriņziežiem veicina slāpekļa piesaisti augsnē un ļauj samazināt slāpekli saturošu minerālmēsļu izmantošanu. Pupu iekļaušana augu sekā ne tikai veicina slāpekļa piesaisti augsnē, bet arī maina emisiju apjomu no augsnēm, palielinot N_2O emisiju, bet samazinot CO_2 emisiju un CH_4 piesaisti, bet šī fenomena izpētei ir nepieciešami papildus CH_4 , N_2O , NH_3 un CO_2 emisiju no augsnes mērījumi, jo emisiju apjomu no augsnes būtiski ietekmē meteoroloģisko apstākļu ikgadējā mainība.
7. Mērījuma rezultāti rāda, ka, iekļaujot rotācijā tauriņziežus, ir risks, ka augsnē uzkrātais slāpekļa apjoms var veicināt paaugstinātas NH_3 un N_2O emisijas, tāpēc ir nepieciešams turpināt ilglaicīgus mērījumus, lai pārlicinātos, ka šim novērojumam nav gadījuma raksturs, ko ir ietekmējuši konkrētā gada meteoroloģisko apstākļu mainība, nokrišņu daudzums, gaisa temperatūra un relatīvais gaisa mitrums.
8. Septiņu gadu mērījumu rezultāti rāda, ka lauksaimniecībā izmantotajās minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs dominē CH_4 piesaiste. Novērojumi parāda, ka metāna piesaistei ir stabils raksturs un vidējās un mediānas vērtības ir ar negatīvu zīmi, kas liecina par ilglaicīgu un nemainīgu metāna piesaisti lauksaimniecības augsnēs. Veicot papildus mērījumus šo antropogēnās darbības radīto aspektu, ir iespējams nākotnē izmantot, pārskatot slāpekļa un metāna bilances lauksaimniecības nozarē, kur metāna piesaiste var pilnīgi vai daļēji kompensēt slāpekļa emisijas laukkopības sektorā.

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.
- 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*.
- 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>
- 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.
- 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, (2021). *Klimata portāls. Atlanti. Laika apstākļu raksturojums. Pieejams: https://klimats.meteo.lv/laika_apstaklu_raksturojums/2021/oktobris/*
- 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

- 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.
- 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., Kārklīņš A., Kļaviņš M., Melecis V., (2009). Augšnes ilgspējīga izmantošana un aizsardzība. Rīga: Latvijas Universitāte.
- NIR (2021) Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol 1990 – 2019. Pieejams: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>
- Oertel, C., Matschullat J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde* 76 327–352.
- 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.
- Roßkopf, N., Fell, H., Zeitz, J. (2015). Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena* 133 (2015) 157–170.
- 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.



ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

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

DARBA UZDEVUMS: Izmantojot 2020. – 2021. gadā izstrādāto metodiku meliorācijas grāvju automātiskai identificēšanai un tehniskā stāvokļa novērtēšanai, veikt grāvju klasifikāciju un tehniskā stāvokļa novērtējumu lauksaimniecības un mežu zemēs. Veikt grāvju klasifikāciju pēc to dziļuma un platuma

IZPILDĪTĀJI: Raitis Meļņiks
Jānis Ivanovs

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Andis Lazdiņš

IEVADS

Lielākā daļa Latvijā esošās ilgtermiņa ekspluatācijas infrastruktūras, kurai pieskaitāms arī grāvju tīkls, ir veidota pirms atbilstība klimata pārmaiņu izraisītām izmaiņām iekļauta plānošanas procesā. Tādēļ ir būtiski iegūt precīzus datus par grāvju tīkla stāvokli, lai spētu novērtēt tā piemērotību prognozējamiem apstākļiem un uzlabošanas pasākumu nepieciešamību.

Esošais grāvju tīkls ir būvēts pēc normatīviem, kas atbilst meteoroloģiskajiem apstākļiem, kādi Latvijā valdīja pirms 50-100 gadiem, tādēļ ir būtiski precīzi novērtēt esošā grāvju tīkla piemērotību sagaidāmajām izmaiņām.

Metode grāvju tīkla identificēšanai, izmantojot LiDAR datus, sniedz labākus rezultātus, nekā citas līdzīgos pētījumos izmantotās metodes. Lauksaimniecības zemēs iegūts grāvju tīkla kopējais garums ar precizitāti līdz 96%, salīdzinot ar references datiem, bet meža zemēs – 90 līdz 95%, atkarībā no grāvju veida. Minimālais identificējamo grāvju dziļums mežā un lauksaimniecības zemēs ir 0,3 m, kas atbilst sezonālo grāvju dziļumam. Šāda, uz augstas izšķirtspējas digitālā reljefa modeļa analīzi vai LiDAR datiem balstīta pieeja meliorācijas grāvju kartēšanā, ir unikāla un aktuālākajos pētījumos nav aprakstīta. Iepriekšējos pētījuma posmos izstrādātā metodika ir aprobēta un sevi pierādījusi ļoti plašu teritoriju un liela izmēra digitālo reljefa modeļu analīzē un izmantota grāvju un to savienojumu ar pārējo hidrogrāfisko tīklu identificēšanā. Šī informācija var palīdzēt pieņemt lēmumus saistībā ar ūdens resursu apsaimniekošanu, kvalitātes kontroli un riskiem, kā arī veikt mitruma režīma un to ietekmējošo faktoru modelēšanu (Roelens et al. 2017, Ivanovs & Lupikis 2018, Melniks et al. 2019).

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

Darba uzdevums: izmantojot 2020.-2021. gadā izstrādāto metodiku meliorācijas grāvju automātiskai identificēšanai un tehniskā stāvokļa novērtēšanai, veikt grāvju klasifikāciju un tehniskā stāvokļa novērtējumu lauksaimniecības un mežu zemēs. Veikt grāvju klasifikāciju pēc to dziļuma un platuma.

MATERIĀLI UN METODEDES

Digitālā reljefa modeļa (DEM) un digitālā virsmas modeļa (DSM) izveidei nepieciešamie LiDAR dati iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA). Minimālās prasības pret punktu blīvumu ir 4 punkti m⁻², un vidējais zemes punktu blīvums ir 1,5 punkti m⁻² (LĢIA 2016).

LiDAR punktu mākoņa precizitāte uz nogāzēm var būt zemāka, jo to var ietekmēt skanēšanas leņķis attiecībā pret Zemi un nogāzes slīpums, piemēram grāvjos. Līdz ar to, veidojot digitālā augstuma modeļa virsmu, ne vienmēr detāli un korekti var attēlot visas mazākās reljefa formas un cilvēka radītos objektus. Precizitāti ietekmē arī veģetācijas blīvums un nogāzes apaugums, kas augstumu starpības var padarīt lielākas (LĢIA 2017; Anderson et al. 2006).

Balstoties uz pētījuma iepriekšējos posmos (Melniks et al. 2022) iegūtajām atziņām, lai veiktu meliorācijas grāvju klasifikāciju pēc to platuma un dziļuma, izmantots digitālais reljefa modelis ar horizontālo izšķirtspēju 0,5 m, izmantojot Binning interpolācijas metodi. Šajā pētījumā analīze un grāvju klasifikācija veikta TKS-93 karšu lapai mērogā 1:50 000, Nr. 3244. Šī teritorija ietver dažādus zemes seguma un lietojuma veidus, ļaujot testēt izstrādāto metodiku plaša mēroga grāvju klasificēšanai.

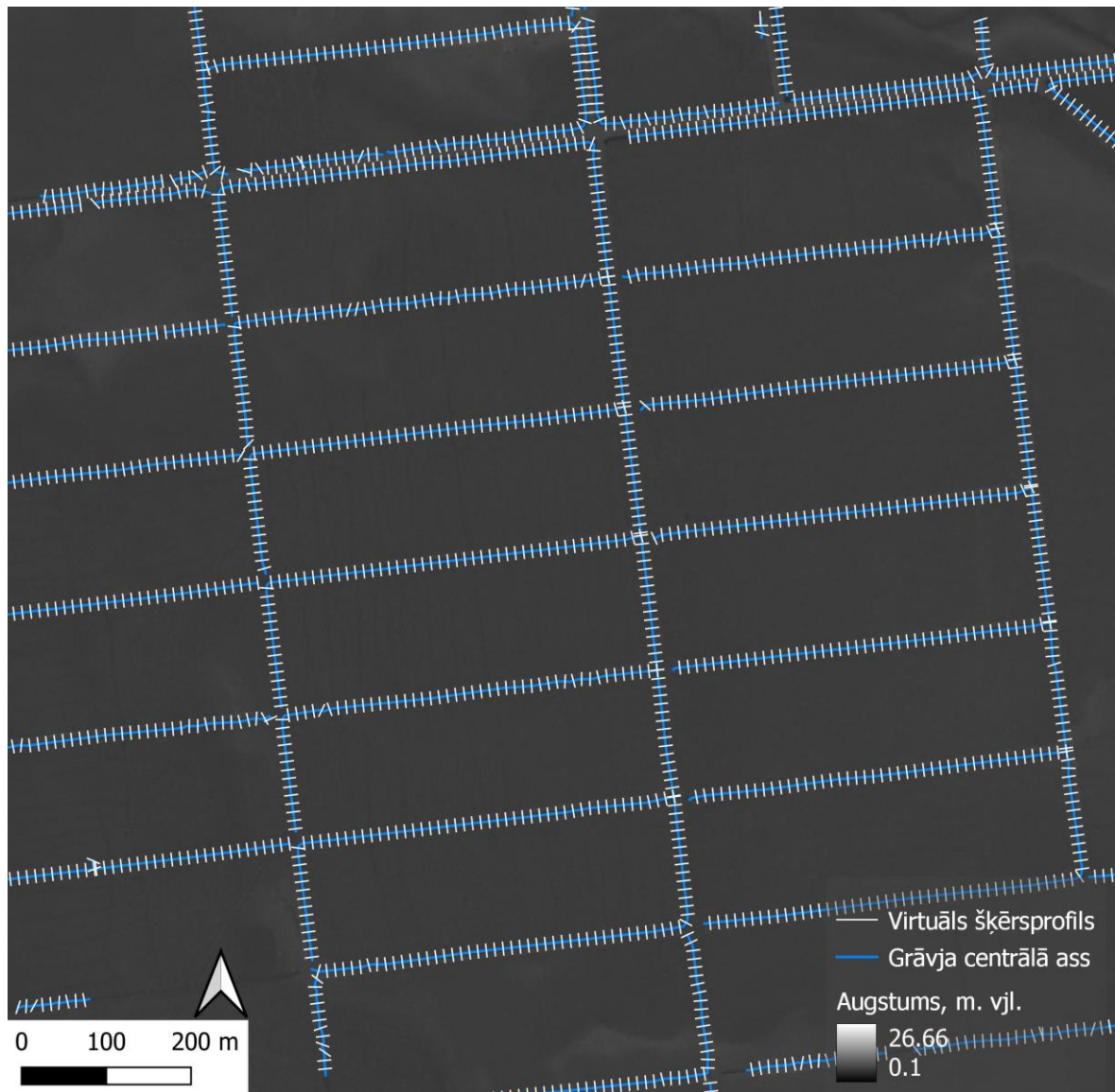
Grāvju klasifikācija

Meliorācijas grāvju klasifikācija pēc to platuma un dziļuma veikta izmantojot iepriekš iegūtu grāvju vektordatu slāni, kas atbilst grāvja centrālajai asij digitālajā reljefa modelī. Izmantojot šo slāni, ģenerēti virtuāli šķērsprofili ar 10 m atstatuma soli visam grāvju tīklam (1. attēls). Šie šķērsprofili sniedz informāciju par dziļāko vietu grāvī, kā arī par abu grāvju malu augstumu. Šīs darbība veikta izmantojot SAGA GIS rīku *Cross Profiles* QGIS vidē. Izmantojot iegūto informāciju par grāvja dziļāko vietu un tā malas augstumu, grāvja dziļums aprēķināts ņemot vērā tā zemāko malu. Katram grāvja objektam aprēķināts tā pirmās kvartiles dziļums, dziļuma mediāna kā arī platums.

Klasifikācija veikta trīs veidos – pēc dziļuma, platuma un šo abu parametru attiecības. Dziļuma grupas: <0,5 m; 0,5 – 1 m; 1 m – 1,5 m; >1,5.

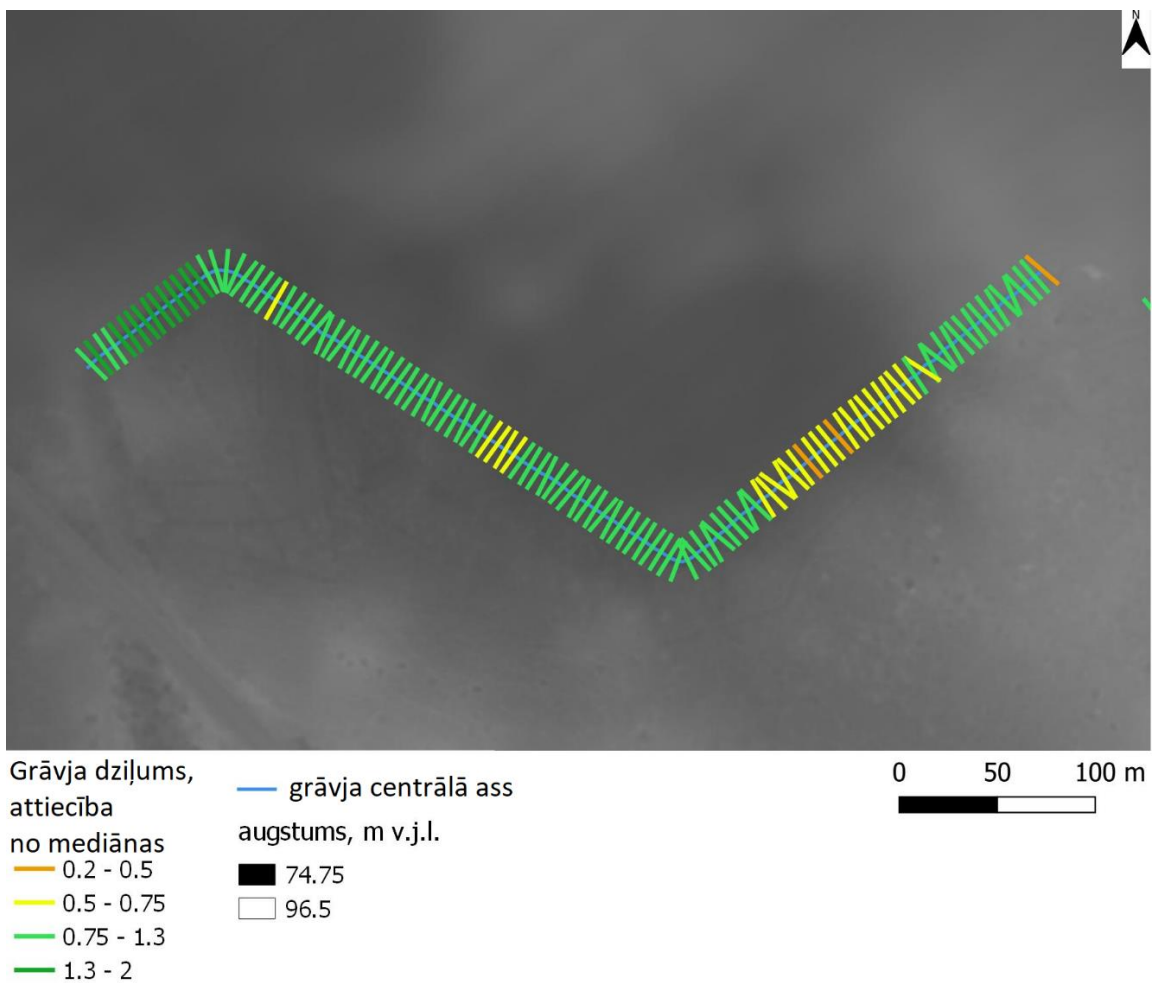
Platuma grupas: <2 m; 2-5 m; 5-10 m; >10 m.

Dziļuma un platuma attiecības grupas: <1; 1-2; 2-5; >5.



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

Izmantojot grāvju šķērsprofilu analīzes datus, noteikt iespējams ne tikai katra grāvja objekta vidējos parametrus, bet arī lokālas izmaiņas gan dziļumā, gan platumā ar soli, kādā izvietoti šķērsprofili, tādā veidā iegūstot informāciju par grāvju tehnisko stāvokli un traucējumiem ar 10 m soli (2. attēls).



2. attēls. Grāvja tehniskā stāvokļa raksturošanas piemērs.

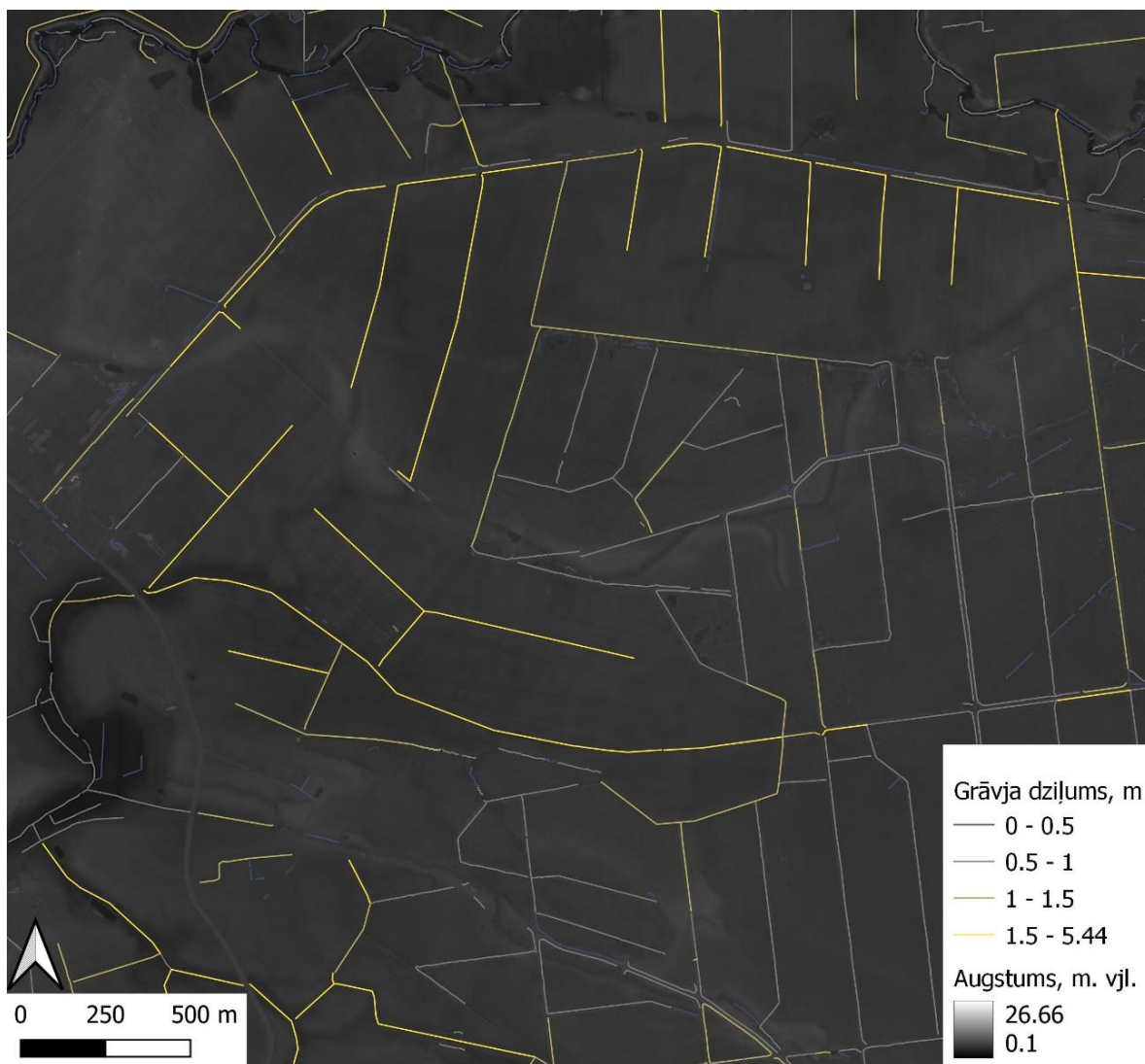
REZULTĀTI

Iegūtie rezultāti TKS-93 karšu lapā "3244" norāda, ka kopējais grāvju garums tajā ir 3444,45 kilometru, kuru vidējais dziļums ir 0,55 m un platums 6,2 m. Vidējais grāvju tīkla blīvums šajā teritorijā ir 5,51 km km⁻² (1. tabula, 3. attēls).

1. tabula. Grāvju klasifikācijas rezultāti

Grāvju kopējais garums atkarībā no dziļuma, km			
<0,5 m	0,5 – 1 m	1 – 1,5 m	>1,5 m
871,25	1904,92	509,34	159,44
Grāvju kopējais garums atkarībā no platuma, km			
<2 m	2 – 5 m	5 – 10 m	>10 m
516,6	1205,4	1377,6	344,4

Klasificējot grāvjus pēc to dziļuma, un iegūtos datus salīdzinot ar ZMŅI Meliorācijas kadastra datiem, secināms, ka veikt tiešu grāvju klasifikācijas pārnesi pēc šajā pētījumā iegūtajiem rādītājiem nav iespējams, atšķirīgu vides apstākļu un tiem specifisku grāvju dēļ, kuros katra grāvja veida parametri var atšķirties. Jāņem vērā, ka izmantojot automātisku grāvju atpazīšanas metodi LiDAR datus, grāvju tīkla kopējais garums ir par aptuveni 40% lielāks, kā Meliorācijas kadastrā, atkarībā no vietas.



3. attēls. Grāvju klasifikācijas piemērs izmantojot dziļuma parametru.

SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

1. Pētījumā izstrādātā metodika var palīdzēt kā atbalsta rīks lēmumu pieņemšanai par meliorācijas grāvju atjaunošanu lauksaimniecības un meža zemēs;
2. Iespējamās teritorijas, kurās grāvji identificēti ar zemāku precizitāti, nekā tā aprakstīta pētījuma iepriekšējos posmos. Piemēram, teritorijās, kurās ir ļoti mitri apstākļi, vai mežos, kuros notiek dabiskā atjaunošanās;
3. Dati atsevišķās teritorijās, īpaši iepriekšējos punktos aprakstītajās, satur objektus, kuri var nebūt saistīti ar meliorācijas sistēmām, bet pēc raksturlielumiem atbilst meliorācijas grāvjiem, tādēļ, pieņemot lēmumus un izdarot secinājumus tie jāaplūko un jāanalizē kontekstā ar citiem kartogrāfiskajiem materiāliem kartēm;
4. Metodi ir lietderīgi pielietot grāvju sateces baseinu mērogā, tādā veidā identificējot aizsērējušus vai aizaugušus grāvju posmus, kuri var palielināt plūdu risku augštecē;
5. Demonstrētā pieeja grāvju klasificēšanai ir robusta un izmantojama valsts mērogā, tādā veidā iegūstot vērtīgu informāciju par grāvju tīkla blīvumu un tā veidu;
6. Iegūtie dati var būt būtisks lēmumu pieņemšanas atbalsts rīks, ņemot vērā, ka dati par grāvju izplatību valsts teritorijā ir limitēti.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Anderson E.S., Thompson J.A., Crouse, D.A., Austin, R.E. 2006. Horizontal resolution and data density effects on remotely sensed LIDAR-based DEM. *Geoderma* 132(3-4), 406-415.
- Ivanovs, J., Lupiķis, A. 2018. Identification of wet areas in forest using remote sensing data. *Agronomy research* 16(5), 2049-2055.
- 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.
- Melniks, R., Ivanovs, J., Lazdins, A., Makovskis, K. 2022. Mapping drainage ditches in agricultural landscapes using LiDAR data. *Agronomy research* 20(2), 318–325.
- 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.



Latvijas
Biozinātņu un
tehnoloģiju
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTA IZPILDI

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

DARBA UZDEVUMS: Meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmas pilnveidošana un funkcionalitātes paplašināšana Latvijas teritorijā – 1.2. veikt drenu kolektoru līnijveida objektu topoloģisko savienošanu, izmantojot meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmā esošos līnijveida objektus un 2021. gadā un 2022. gadā aprobēto valsts nozīmes ūdensnoteku un grāvju tīkla līnijveida objektu topoloģiskās

IZPILDĪTĀJI: Alīta Strīķe Jovita Pilecka-Uļčugačeva
Kristaps Siltumēns Inga Grīnfelde
Kristīne Valujeva

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2023

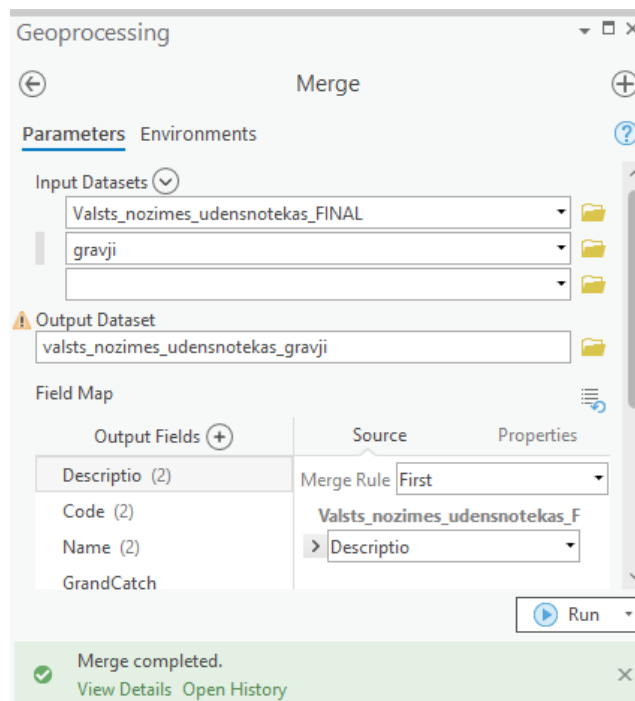
1. METODIKA LĪNIJVEIDA OBJEKTU TOPOLOĢISKAI SAVIENOŠANAI

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*.

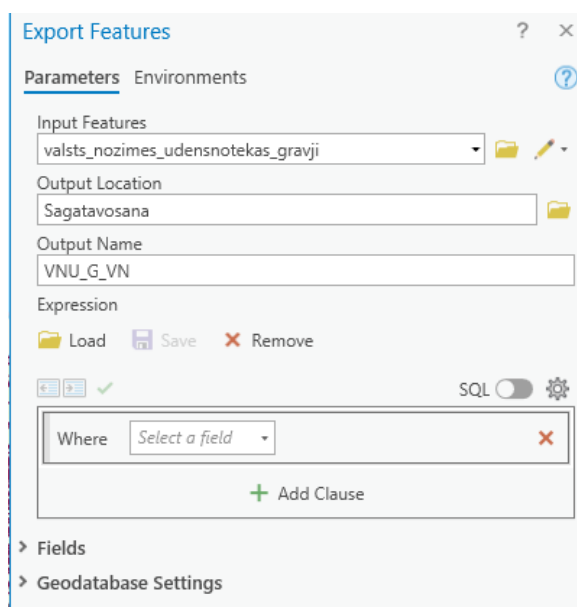
Jaunizveidotajā kartē atver paneli *Catalog*, sameklē līnijveida objektu slāņus vektora datu formātā, kurus nepieciešams topoloģiski savienot, un pievieno tos kartei. Atskaitē izmantots piemērs, kurā topoloģiski tiek savienoti meliorācijas digitālā kadastra informācijas sistēmā ietvertie līnijveida objekti,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



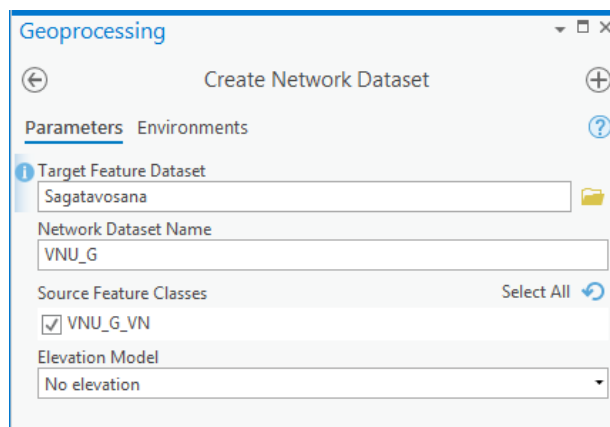
1. att. *Geoprocessing* rīka *Merge* pielietojums jauna slāņa *Valsts nozīmes ūdensnotekas grāvji* izveidei.

Lai noteiktu slānī *Valsts nozīmes ūdensnotekas grāvji* esošās topoloģiskās kļūdas, slāni sagatavo darbam, eksportējot slānī esošos objektus uz jaunizveidotu objektu datu kopu. Dotajā piemērā failu ģeodatu bāzē *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.)



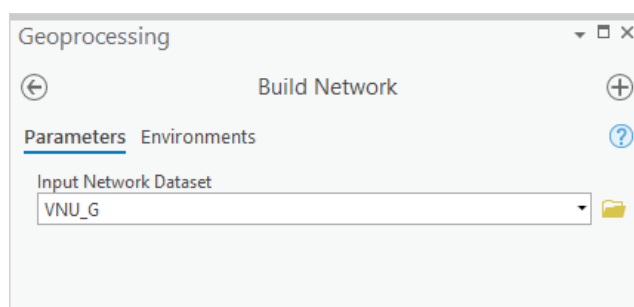
2. att. Darba slāņa eksportēšana uz jaunu objektu datu kopu un jaunas objektu klases izveide.

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.)



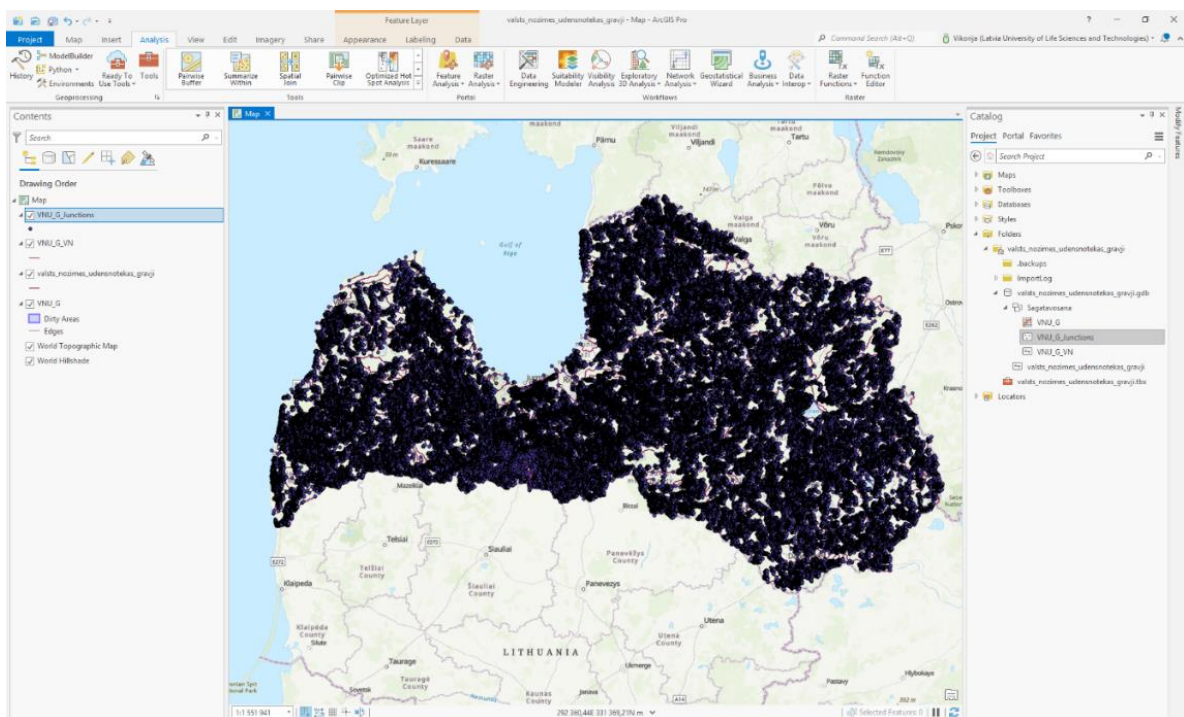
3. att. *Geoprocessing* rīka *Create Network Dataset* pielietojums tīkla datu kopas VNU_G izveidei.

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.).



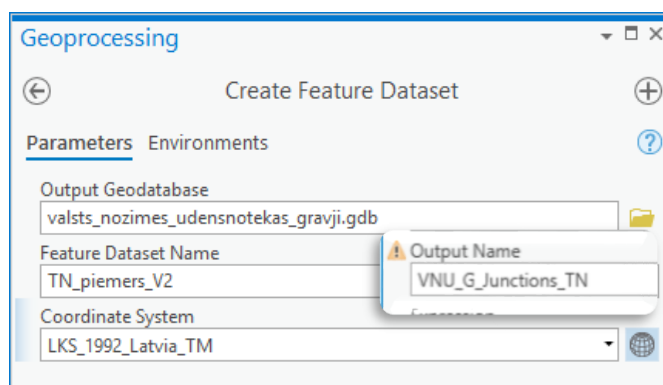
4. att. *Geoprocessing* rīka *Build Network* pielietojums tīkla datu klasei VNU_G.

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



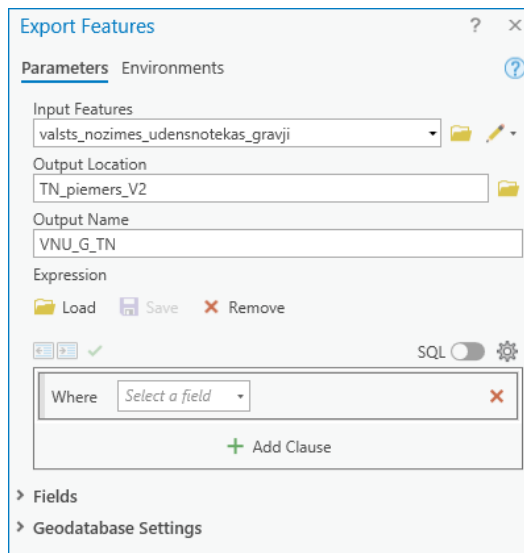
5. att. Savienojuma punktu pievienošana un attēlošana projektā.

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*.



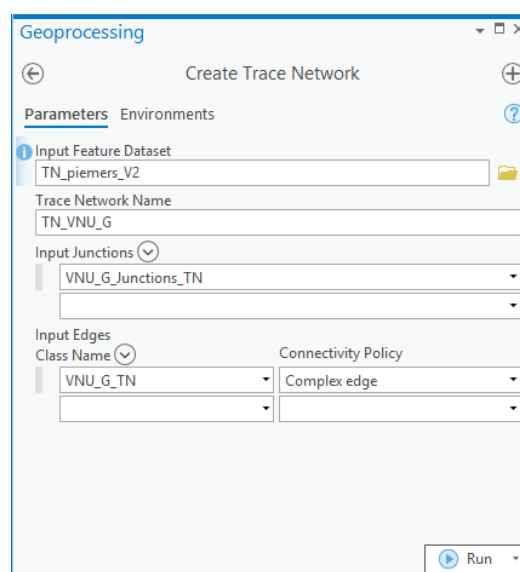
6. att. Jaunas objektu datu kopas *TN_piemers_V2* izveide.

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.).



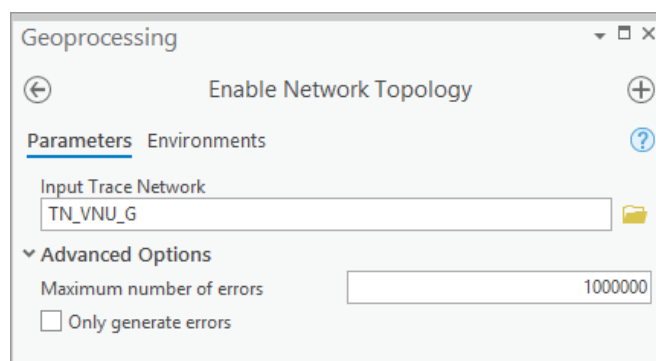
7. att. Objektu klases *VNU_G_Junctions* un *VNU_G_VN* eksportēšana uz jaunizveidoto objektu datu kopu *TN_piemers_V2*.

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.).



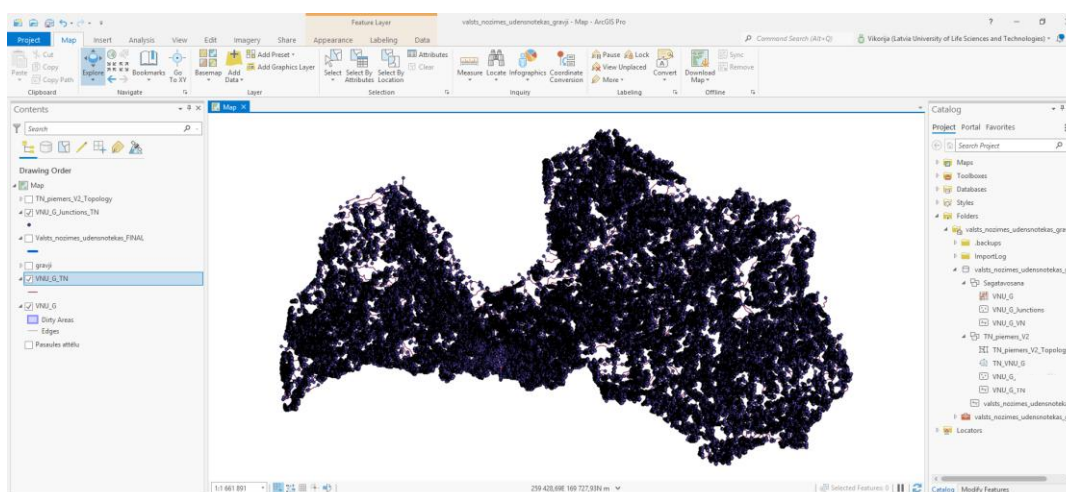
8. att. Izsekošanas tīkla *TN_VNU_G* izveidošana.

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



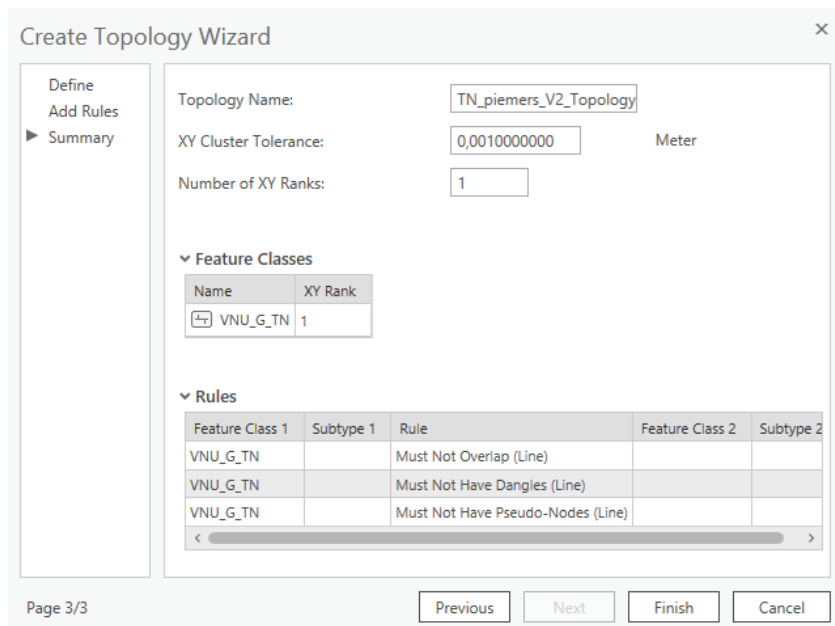
9. att. Izsekošanas tīkla atspējošana.

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 noteikti topoloģijas noteikumi, kuri nedrīkst tikt pārkāpti. Topoloģijas izveides pirmajā solī norāda topoloģijas nosaukumu, xy datu tolerances un atzīmē iesaistīto objektu klasi.



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:

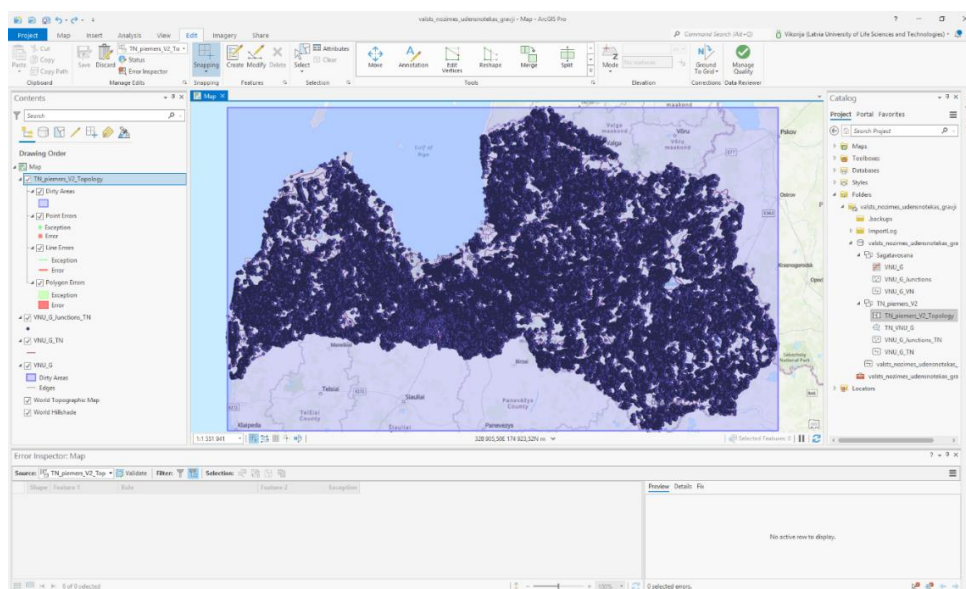
- *Must Not Overlap* – noteikumu nepieciešams definēt, lai līnijas objektu klasē nepārklājas;
- *Must Not Have Dangles* – noteikumu definē, lai līnijas objektu klasē saskartos. Līnijas beigu punktu, kas nav savienots ar citu līniju nav savienots ar citu līniju, sauc par *Dangle*;
- *Must Not Have Pseudo 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

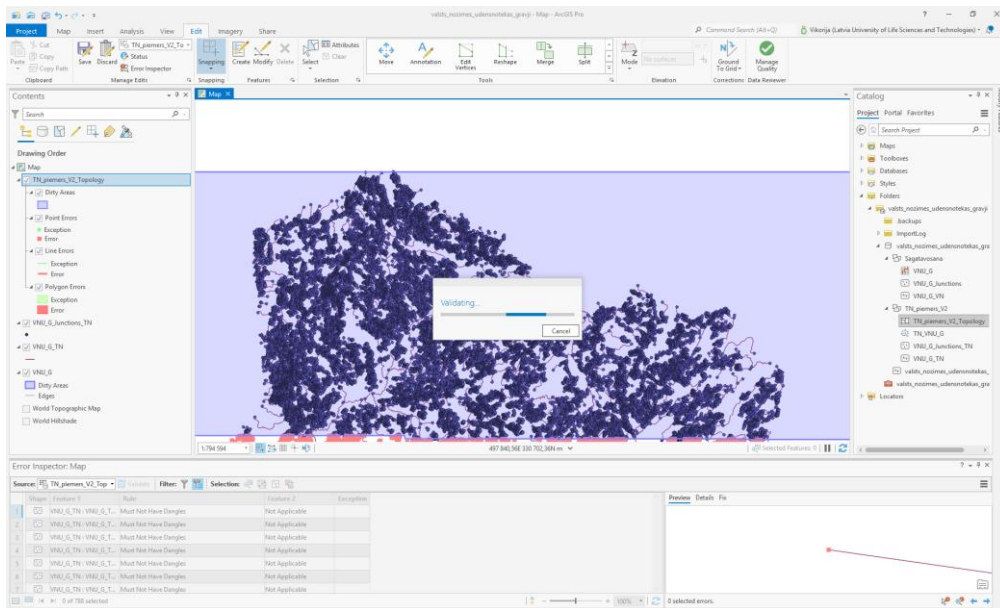
Topoloģijas likums	Topoloģijas likuma skaidrojums
Nedrīkst būt pārklājošas līnijas	Nedrīkst būt pārklājošas līnijas, kā arī krustojumu vietā tām jābūt atdalītām
Nedrīkst būt nesavienotas līnijas	Nedrīkst būt nesavienotas līnijas
Nedrīkst būt pseidomezglu	Nedrīkst būt pseidomezglu, kā arī nesavienojas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

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



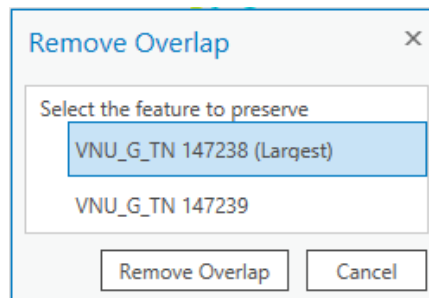
12. att. Topoloģijas slāņa pievienošana projektam.

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.



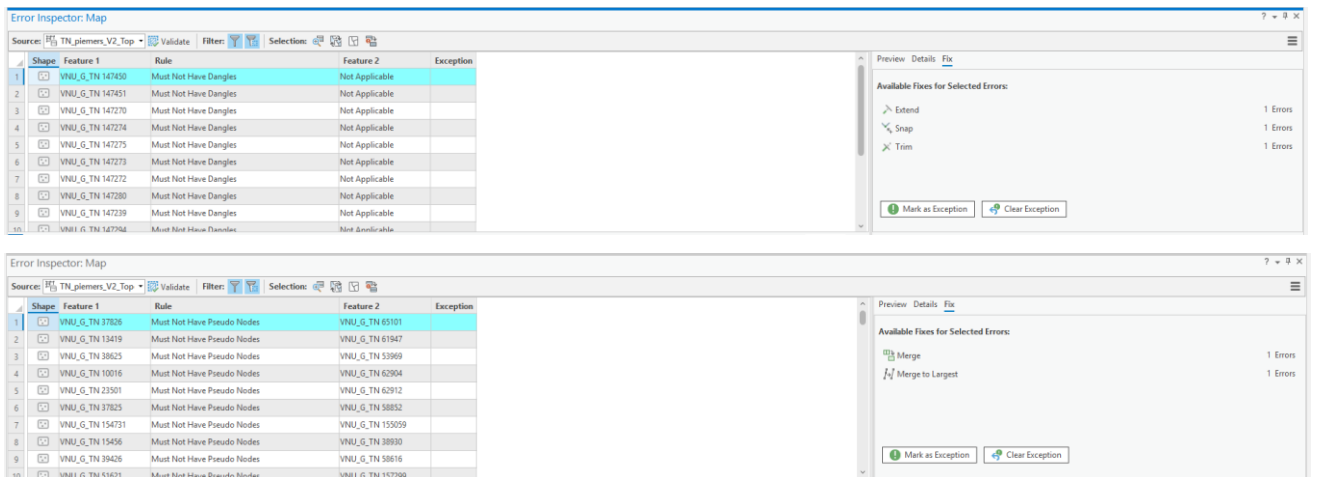
13. att. Topoloģijas kļūdu identificēšana un labošana.

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.

2. REZULTĀTU PIEMĒRI PĒC TOPOLOĢISKĀS SAVIENOŠANAS

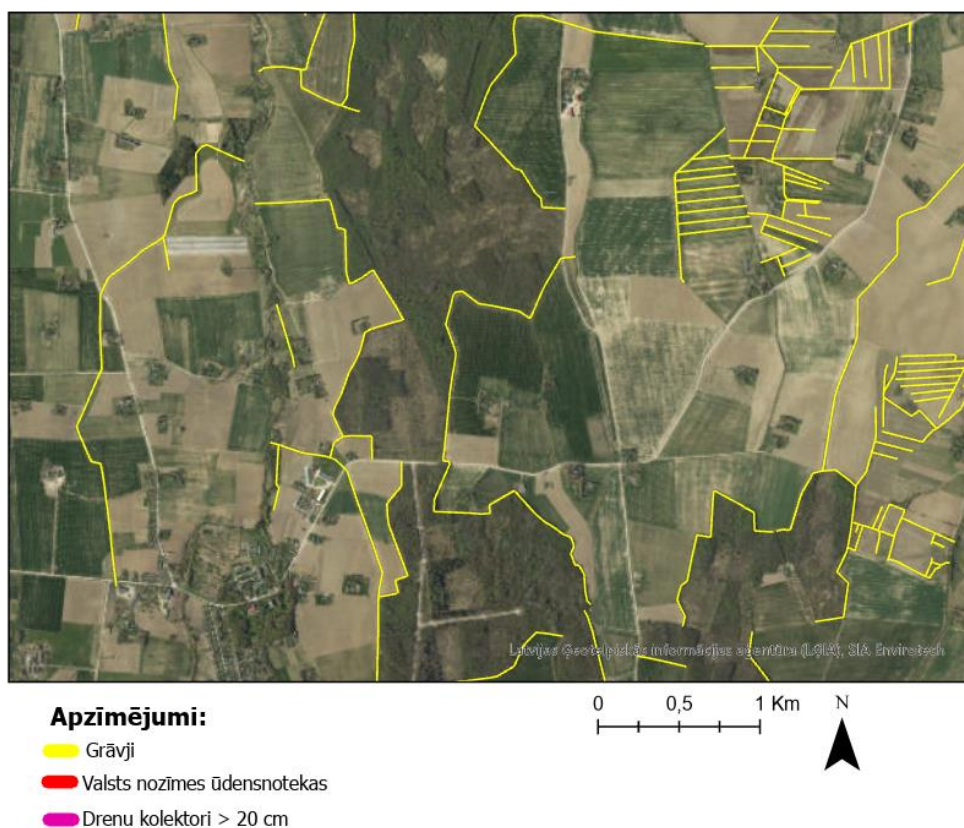
Šajā nodaļā ir sniegti vizuāli piemēri ģeotelpiskās datu bāzes elementiem un konsolidētam skatam pēc topoloģiskās savienošanas darbu pabeigšanas. Šajā posmā topoloģiskā savienošana ir veikta trim meliorācijas sistēmu pamatelementu grupām: drenu kolektoriem ar diametru virs 20 cm, grāvjiem un valsts nozīmes ūdensnotekām.

Drenu kolektori ar diametru virs 20 cm ir uzskatāmi par novadkolektoriem, kuram tieši pievienot var tikai papildkolektorus. Šādu drenu kolektoru ir nosacīti maz un tie tiek veidoti vietās, kur ir nepieciešami vienlaidu lauki, lai izmantotu lielgabarīta lauksaimniecības tehniku. Drenu kolektori ar diametru virs 20 cm ir drenu sistēmu noslēdzošais posms, kas novada ūdeni atvērtā gultnē. Visā Latvijas teritorijā ir veikta topoloģiskā savienošana drenu kolektoriem ar diametru virs 20 cm un iekļauta ģeotelpiskajā datu bāzē (16.att.).



16.attēls. Drenu kolektoru ar diametru virs 20 cm piemērs.

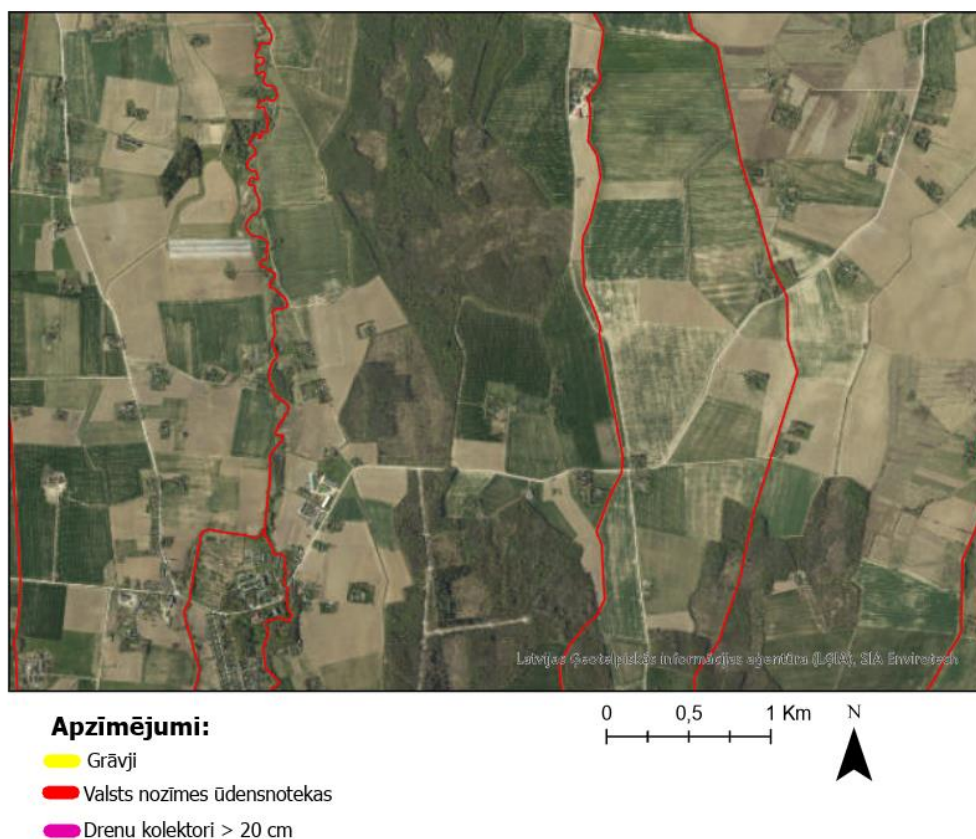
Grāvju sistēma sastāv no kontūrgrāvjiem, susinātājgrāvjiem, ceļa grāvjiem un novadgrāvjiem. Kontūrgrāvji veido norobežojošo tīklu, kuru galvenais uzdevums ir platību norobežošana no uzplūstošas virszemes noteces. Susinātājgrāvji veic lauksaimniecības zemju susināšanu, galvenokārt pļavās un ganībās. Ceļa grāvji nodrošina ceļa klātnes susināšanu un virsūdeņu novadīšanu no ceļa virsmas. Novadgrāvji ir nosusināšanas sistēmas būve, kas uztver ūdens pieteici no viena īpašuma 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 grāvju tīklam un iekļauta ģeotelpiskajā datu bāzē (17.att.).



17. attēls. Grāvju tīkla piemērs.

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 savienošana valsts nozīmes ūdensnotekām un iekļauta ģeotelpiskajā datu bāzē (18.att.).



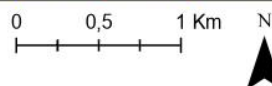
18.attēls. Valsts nozīmes ūdensnoteku piemērs.

Veidojot ģeotelpiskās informācijas sistēmu, topoloģiskās savienošanas veikšana tika sadalīta soļos, saskaņā ar meliorācijas sistēmu pakārtotību. Pirmkārt, valsts nozīmes ūdensnotekas tika savienotas, iekļautas datu bāzē un verificētas. Pēc tam valsts nozīmes ūdensnotekām tika pievienota grāvju sistēma, pirms tam veicot visu grāvju (kontūrgrāvju, susinātājgrāvju, ceļa grāvju, novadgrāvju) topoloģisko savienošānu un verifikāciju. Noslēdzošajā solī drenu kolektori ar diametru virs 20 cm tika pievienoti novadgrāvjiem vai valsts nozīmes ūdensnotekām (19.att.). Nākamajos soļos ir paredzēts veikt drenu kolektoru ar diametru no 10 līdz 20 cm topoloģisko savienošānu.



Apzīmējumi:

- Grāvji
- Valsts nozīmes ūdensnotekas
- Drenu kolektori > 20 cm



19. attēls. Nosusināšanas tīkla piemērs

SECINĀJUMI

Programmatūra ArcGIS Pro nodrošina rīkus, kas sekmīgi izmantojami topoloģijas kļūdu identificēšanai un labošanai.

Apskatītā metodika valsts nozīmes ūdensobjektu, grāvju tīkla savienošanai ir pielietota, lai savienotu valsts nozīmes ūdensnotekas, grāvjus un drenu kolektoros ar diametru virs 20 cm.

Kā vienu no galvenajiem trūkumiem, izmantotajai metodikai, var minēt, ka salīdzinoši daudz laika ir jāvelta manuālai kļūdu labošanai, ja konstatētas daudzas topoloģijas kļūdas. Kļūdu risinājumi ir vairāki, īpaši attiecībā uz kļūdas "Nedrīkst būt nesavienotas līnijas" labošanu. Šobrīd izmantotā risinājuma ietvaros lietotājam ir jāpieņem lēmums par labākā kļūdas risinājuma izmantošanu.

Lai uzlabotu kļūdas risinājumu kvalitāti, nepieciešams definēt papildu nosacījumus, kas jāņem vērā, lai pieņemtu lēmumu par konkrēta kļūdas risinājuma izmantošanu. Piemēram, par izmantotajiem attālumiem, kuru ietvaros jebkura līnija tiek pievienota citai līnijai.

Lai mazinātu patērētā laika apjomu, ieteicams pārdomāt iespējas darbību automatizācijai un meklēt iespējamus risinājumus.

Realizētais kļūdu risinājums būtu jāvalidē, izveidoto slāni salīdzinot ar situāciju dabā, jākonstatē biežāk novērotās novirzes un, ja nepieciešams, jāpārdefinē papildu nosacījumi kļūdu labošanai.