



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS:

Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu
(plūdu riska) mazināšanā

LĪGUMA NR.:

20-00-SOINV05-000004

IZPILDĪTĀJI:

Inga Grīnfelde

Raitis Meļņiks

Laima Bērziņa

Jānis Ivanovs

Kristīne Valujeva

Jovita Pilecka

Olga Frolova

Raivis Intlers

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdīņš

Jelgava 2020



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTA 1.DARBA UZDEVUMA 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
Laima Bērziņa
Kristīne Valujeva
Jovita Pilecka
Olga Frolova
Raivis Intlers
Linda Šterna

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2020

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	12
2.1. Pētījuma objektu izvēle SEG emisiju mērījumiem un to raksturojums	12
2.1.1. Bērzes monitoringa stacija	14
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija	16
2.1.3. Auces monitoringa stacija	18
2.1.4. Lafloras pētījumu vieta	20
2.1.5. Mārupes pētījumu vieta	20
2.1.6. Pēterlauku pētījumu vieta	21
3.1. Mērījumu veikšana ar Picarro	24
3.1.1. Iekārtas un aprīkojums	24
3.1.2. Datu analīzes metodes	26
3. Rezultāti	29
3.1. SEG un amonjaka emisiju rezultāti Auces, Bērzes, Mellupītes, Lafloras un Mārupes pētījumu vietās	29
3.1.1. Metāna mērījumu rezultāti	31
3.1.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti	33
3.1.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti	36
3.1.4. Amonjaka mērījumu rezultāti	39
3.2. Augsnes organiskā saturs, augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme	42
3.3. SEG mērījumu rezultāti dažādu slāpekļa saturošu mēslojumu izmēģinājuma vietā	47
Secinājumi	52
Literatūras avoti	53

ATTĒLU SARAKSTS

1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2018. gadā (NIR, 2020).....	8
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2018. gadā (NIR, 2020).	8
3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2018. gadā (NIR, 2018).	9
4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2018. gadā (NIR, 2020).	9
5.att. SEG emisiju mērījumu vietas.	12
6. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Bērzes monitoringa stacijā.	15
7. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Mellupītes monitoringa stacijā.	17
8. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Auces monitoringa stacijā.	19
9. att. SEG emisiju mērījumu vieta Lafloras pētījumu vietā.	20
10. att. SEG emisiju mērījumu vieta Mārupes pētījumu vietā.	21
11. att. SEG emisiju mērījumu vieta Pēterlauku pētījumu vietā.	22
12. att. Picarro G2508 (autors: K.Valujeva).....	25
13. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: J.Pilecka).....	25
14. att. Augsnes mitruma mērītājs un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka).	26
15. att. Diver barometriskā spiediena mērītājs, datu nolasīšanas iekārta un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka).....	26
16. att. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematisks attēlojums.	26
17.att. CH ₄ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.	32
18. att. CH ₄ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.	33
19.att. N ₂ O emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.	34
20. att. N ₂ O emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.	36
21. att. CO ₂ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.	37
22.att. CO ₂ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.	39
23.att. NH ₃ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.	40
24. att. NH ₃ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.	41
25.att. CH ₄ emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	44

26.att. N ₂ O emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).	45
27.att. CO ₂ emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).	46
28.att. NH ₃ emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).	47
29.att. CH ₄ emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.....	48
30.att. N ₂ O emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.	49
31.att. N ₂ O emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.	50
32.att. NH ₃ emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.....	51

TABULU SARAKSTS

1. tab. Agronomiskās darbības pētījuma teritorijās. Dati tiks papildināti pētījuma beigās.....	13
2. tab. Bērzes monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.....	14
3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Bērzes monitoringa stacijas drenu laukā. Dati tiks papildināti pētījuma beigās.	16
4. tab. Mellupites monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.	16
5. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās. Dati tiks papildināti pētījuma beigās.	17
6. tab. Auces monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.	18
7. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Auces monitoringa stacijas sateces baseinā. Dati tiks papildināti pētījuma beigās.	19
8. tab. Dažādu slāpekļa saturošu mēslojumu izmēģinājums ziemas kviešos. 2019–2020. gads.....	22
9.tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Pēterlauku pētījuma vietā.	24
10.tab. N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju statistiskie rādītāji 2020. gadā.....	30
11. tab. CH ₄ emisijas statistiskie rādītāji 2020. gadā.....	31
12. tab. N ₂ O emisijas statistiskie rādītāji 2020. gadā.....	34
13.tab. CO ₂ emisijas statistiskie rādītāji 2020. gadā.....	37
14. tab. NH ₃ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.....	39
15. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām 2020. gadā.	42
16. tab. Kendala korelācijas koeficienti minerālaugsnes kamerām 2020. gadā. ..	43
17. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām 2020. gadā.	43
18. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām laika posmam no 2017. līdz 2020. gadam.	43
19. tab. CH ₄ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.	47
20. tab. N ₂ O emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.....	49
21. tab. CO ₂ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.....	50
22. tab. NH ₃ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.	51

IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI

SEG – siltumnīcefekta gāzes;

CO₂ – oglekļa dioksīds;

N₂O – dislāpekļa oksīds;

CH₄ – metāns;

NH₃ – amonjaks;

NO – slāpekļa oksīds;

NO₃ – nitrāti;

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

N – slāpeklis;

C – ogleklis;

ppm – tilpuma miljondaļas;

LVĢMC – Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs;

SOC – augsnes organiskais ogleklis.

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

1. IEVADS

Siltumnīcefekta izraisošo gāzu (SEG) koncentrācijas samazināšana atmosfērā līdz tādām līmenim, kas novērš bīstamu antropogēnu 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 pielāgošanās 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.

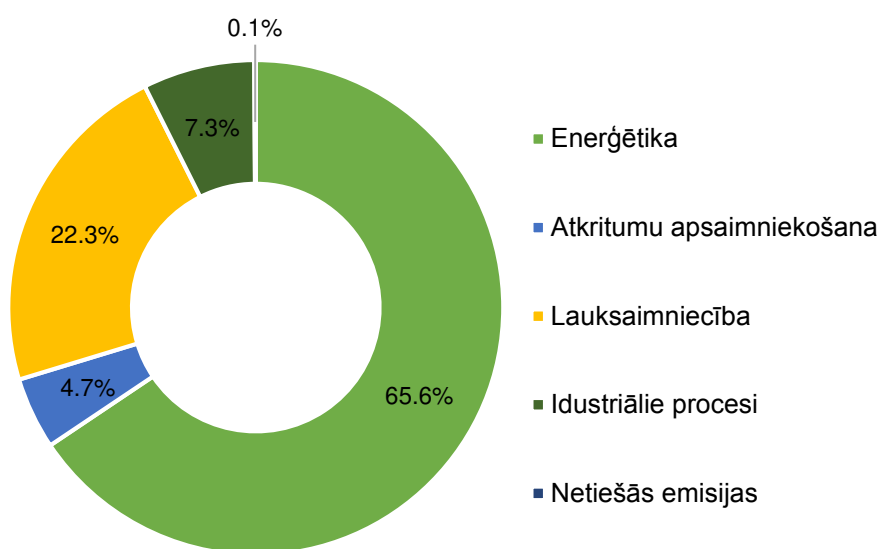
Projekta mērķis ir noteikt un analizēt SEG emisijas no lauksaimniecībā izmantotām teritorijām, kurās veikti hidrotehniskās meliorācijas pasākumi.

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.

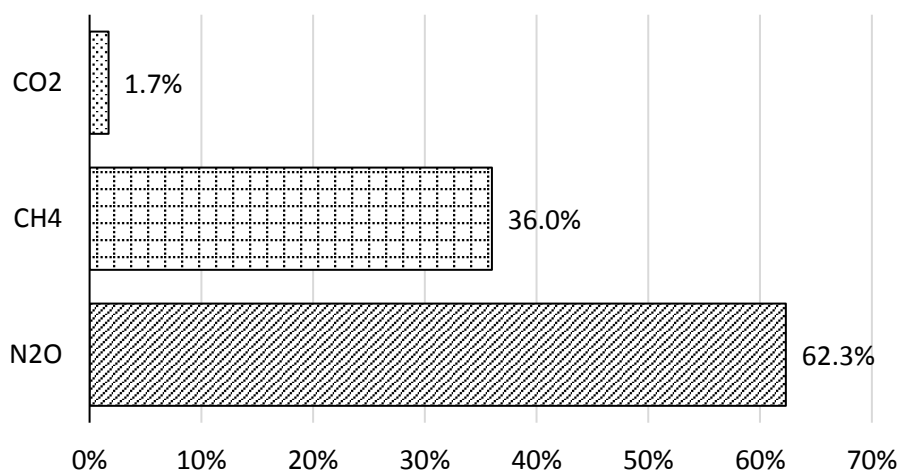
1.1. SEG emisijas Latvijā

Katru gadu, saskaņā ar ANO Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām, katrai dalībvalstij ir jāsniedz inventarizācija par SEG emisijām un to piesaisti valstī. SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķināšanā un nacionālā inventarizācijas ziņojuma sagatavošanā izmantotas Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (IPCC) izstrādātās vadlīnijas. Lauksaimniecības sektors 2018. gadā bija atbildīgs par 22.3% SEG emisiju no kopējā emisiju apjoma valstī (skat. 1. att.).



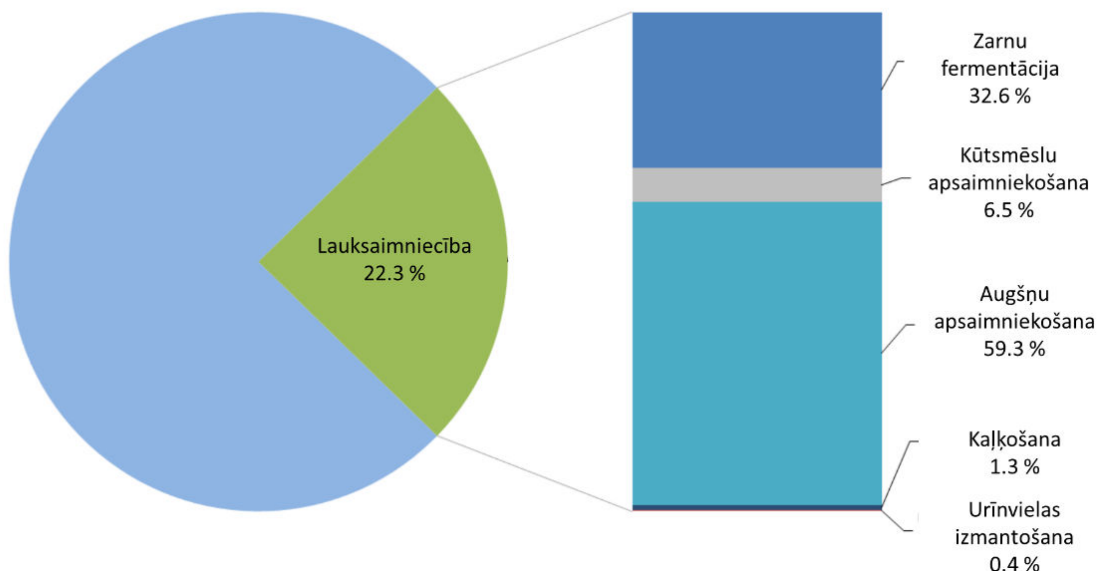
1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2018. gadā (NIR, 2020).

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



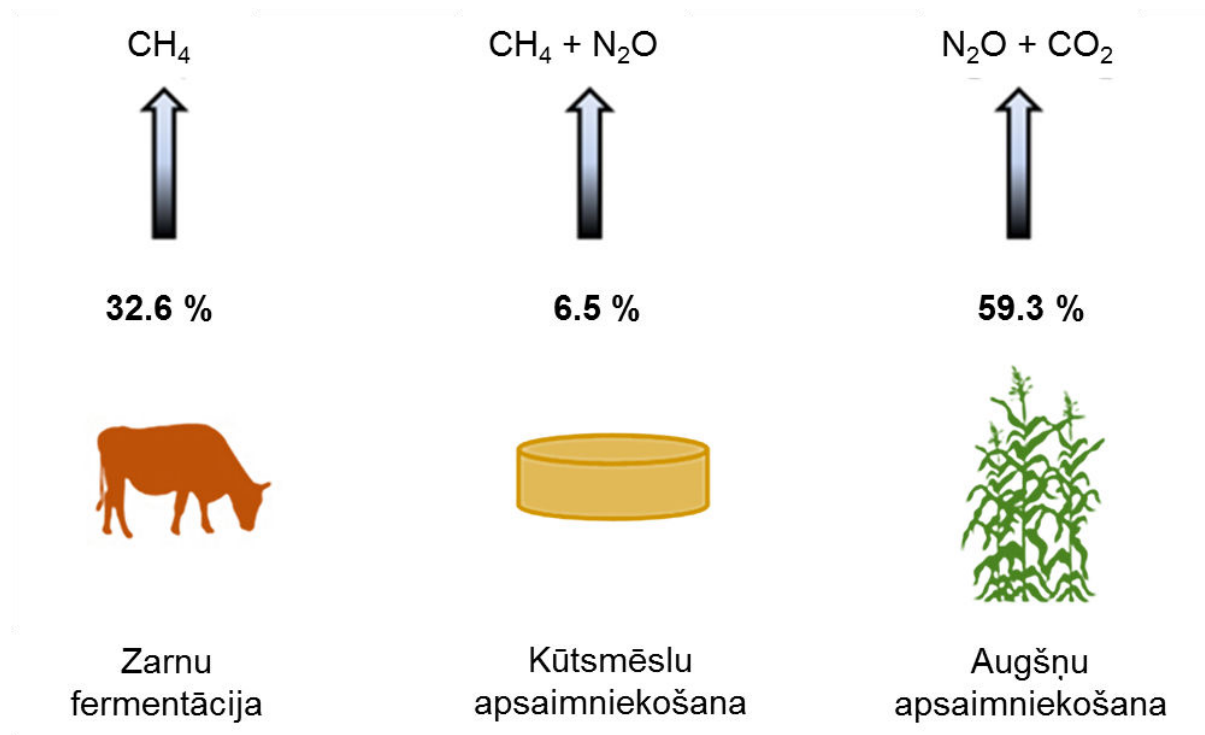
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2018. gadā (NIR, 2020).

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



3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2018. gadā (NIR, 2018).

Procentuāli vislielākās emisijas lauksaimniecības sektorā rada augšņu apsaimniekošana (59.3%) un zarnu fermentācijas procesi (32.6%) (skat. 4.att.).



4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2018. gadā (NIR, 2020).

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 sakņu aktivitāte, mikrobioloģiskie procesi, augu atliekas, kā arī mikroklimats, reljefs un katalītiskās īpašības māla koloīdos šķīdumos. Augsnes apstrāde ietekmē augsnes emisijas, piemēram, kalķošana palielina CO₂ emisijas (Muñoz et al., 2010).
3. Augsti gruntsūdens līmeņi, sliktas augsnes drenēšanas īpašības un augsnes sablīvēšanās veicina denitrifikācijas procesu un N₂O veidošanos (Bouwman et al., 2002). 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).
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).
7. Pēc lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas un lauku pamešanas, no organiskajām augsnēm gadu desmitiem turpina izdalīties augstas CO₂ un N₂O emisijas (Kløve et al., 2017).
8. 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).

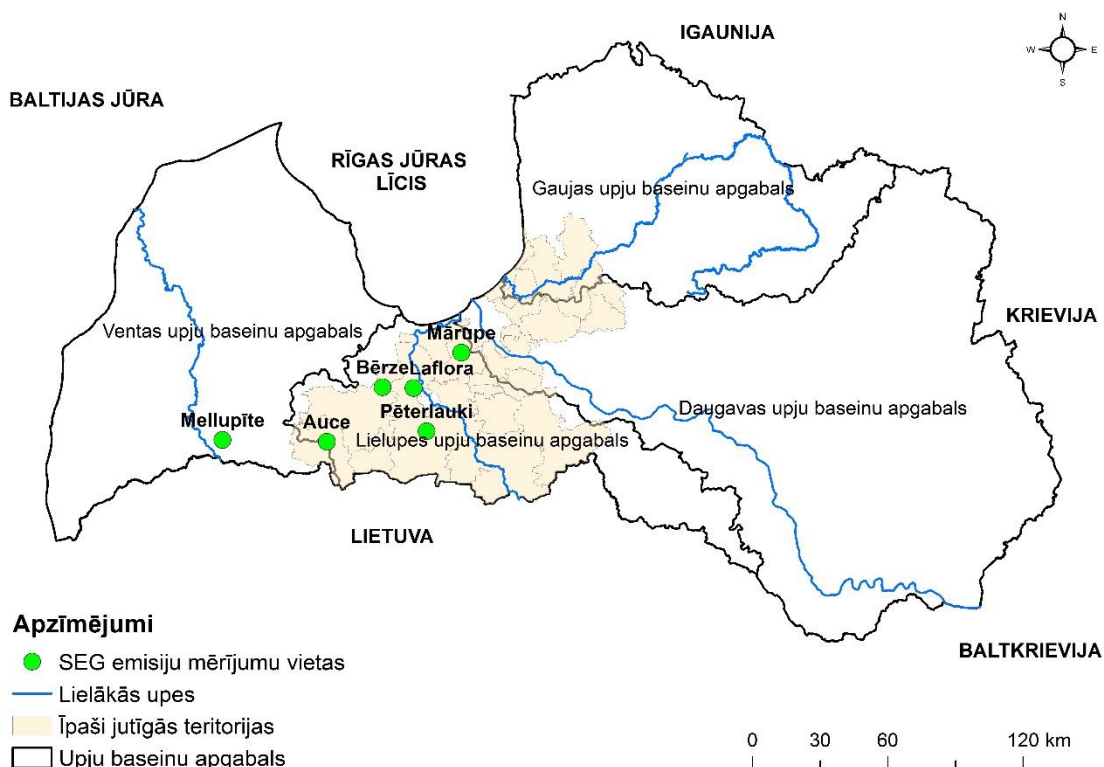
9. Lauksaimniecības prakses var samazināt SEG emisijas, mainot augsnes fizikālās, ķīmiskās un mikrobioloģiskās īpašības, jo SEG emisijas no augsnes ir saistītas ar vairākām augsnes īpašībām. CO₂ emisija no augsnes ir saistīta ar augsnes mitrumu, temperatūru un augsnes nitrātu saturu, bet N₂O emisija ir saistīta ar augsnes ūdens saturu un augsnes temperatūru, bet CH₄ emisija no augsnes ir ļoti zema un to ir sarežģīti saistīt ar kādu no augsnes rādītājiem (Chalco Vera et al., 2020).
10. SEG emisiju samazinošo pasākumu efektivitāti ietekmē augsnes īpašību mainība laikā un telpā, kas apgrūtina emisiju samazinošo pasākumu izmantošanas efektivitātes novērtēšanu. Samazinošo pasākumu radīto SEG emisiju samazinājumu ir sarežģīti novērtēt, jo 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).
11. Salmu un slāpekļa minerālmēslu 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).
12. 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, minerālmēslu 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).

2. MATERIĀLI UN METODES

Šajā nodaļā pirmajā apakšnodaļā ir sniegts SEG emisiju mērījumu veikšanas vietu raksturojums un 2020. 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 objektu izvēle SEG emisiju mērījumiem un to raksturojums

2020. gadā projekta īstenošanas gaitā N_2O , CH_4 , CO_2 , NH_3 , un H_2O mērījumi lauka apstākļos tika 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. SEG emisiju mērījumu atrašanās vietas norādītas 5.att.



5.att. SEG emisiju mērījumu vietas.

Izkliedētā 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. Visas pētījumu vietas, izņemot monitoringa staciju Mellupīte, atrodas īpaši jutīgās teritorijās, kas noteiktas saskaņā ar ES Nitrātu direktīvas kritērijiem (91/676/EEC, 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 informācija 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	Augsne netika apstrādāta, sēts rugainē	Arts	Arts	N/a	N/a
Sēja	29.04.2020	16.09.2019	02.09.2019	N/a	N/a
Kultūraugs	Vasaras mieži	Ziemas kvieši	Ziemas mieži	Kukurūza	Krūmmellenes
Ražas novākšana	01.09.2020	08.08.2020	12.07.2020	N/a	N/a
Augsnes apstrāde	Papuve	Diskots	Tiešā sēja rugainē	N/a	N/a
Sēja	Papuve	20.08.2020	02.08.2020	N/a	N/a
Kultūraugs	Papuve	Ziemas rapsis	Ziemas rapsis	N/a	N/a

N/a – 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 Lauksaimniecības universitātes Vides un ūdenssaimniecības katedras 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 objektā ir 7.5 – 7.9.



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

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

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

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums dd.mm.yyyy	Slāpeklis tīrvielā kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	27.04.2020	13.7
Papildmēslojums	16.06.2020	31.5

Bērzes monitoringa stacija atrodas īpaši jutīgās teritorijās, kas noteiktas saskaņā ar ES Nitrātu direktīvas kritērijiem. Uz šīm teritorijām attiecas paaugstinātas prasības ūdens un augsnes aizsardzībai no lauksaimnieciskās darbības izraisīta piesārņojuma ar nitrātiem, tai skaitā, maksimāli pieļaujamās minerālmēslu slāpekļa izkliedes normas (kg ha⁻¹) kultūraugiem.

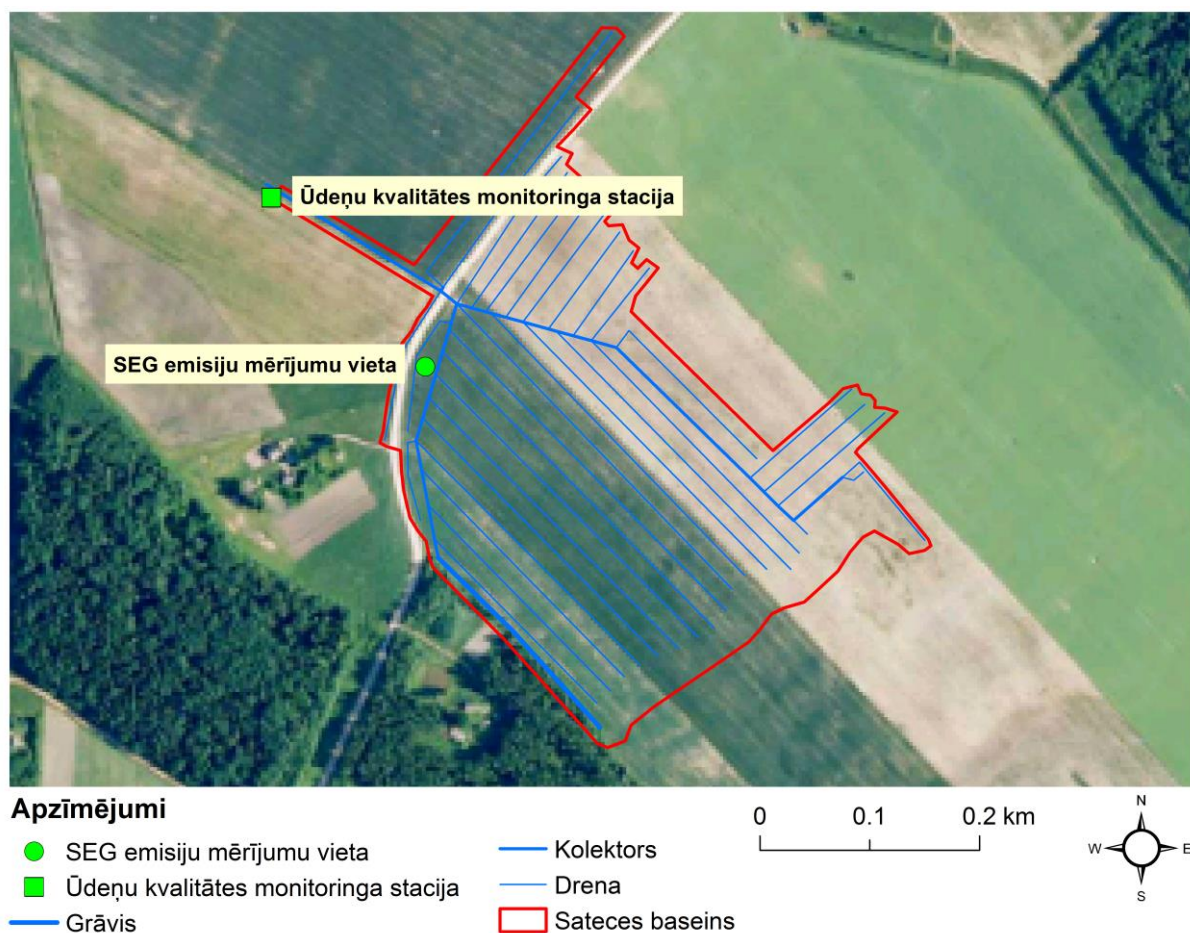
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija

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

4. tab. Mellupītes monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.

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

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



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

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

5. tab.

5. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās.

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpekļis tīrvielā
	dd.mm.yyyy	kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	16.09.2019	37
Papildmēslojums	26.03.2020	73
Papildmēslojums	30.04.2020	60
Papildmēslojums	25.05.2020	32
Pamatmēslojums	20.08.2020	30
Papildmēslojums	30.09.2020	27

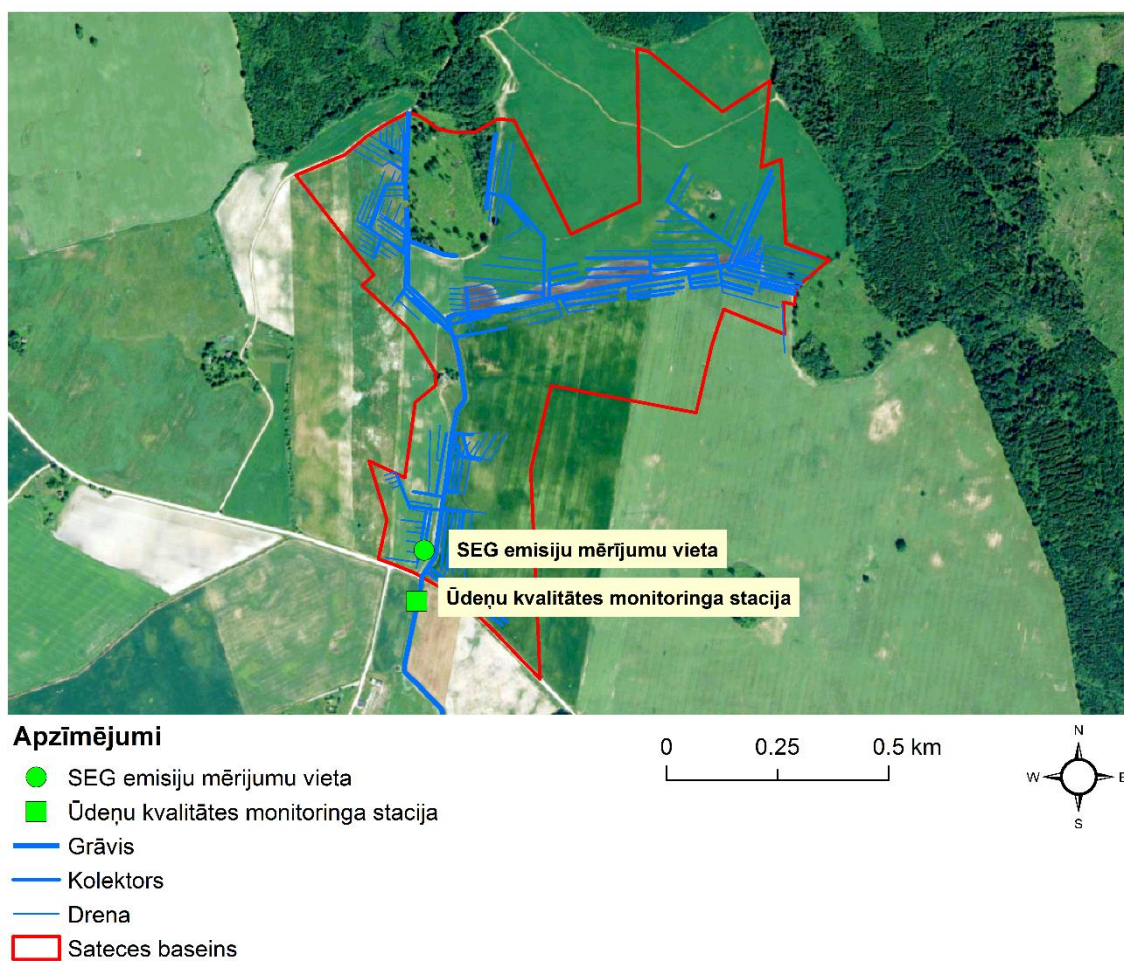
2.1.3. Auces monitoringa stacija

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 šķīdrmēslu 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. Stikāku informāciju par urbuma slāņa dziļumiem un biezumiem skatīt 6. tab.

6. tab. Auces monitoringa stacijas ģeoloģijas urbuma apraksts.

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

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



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

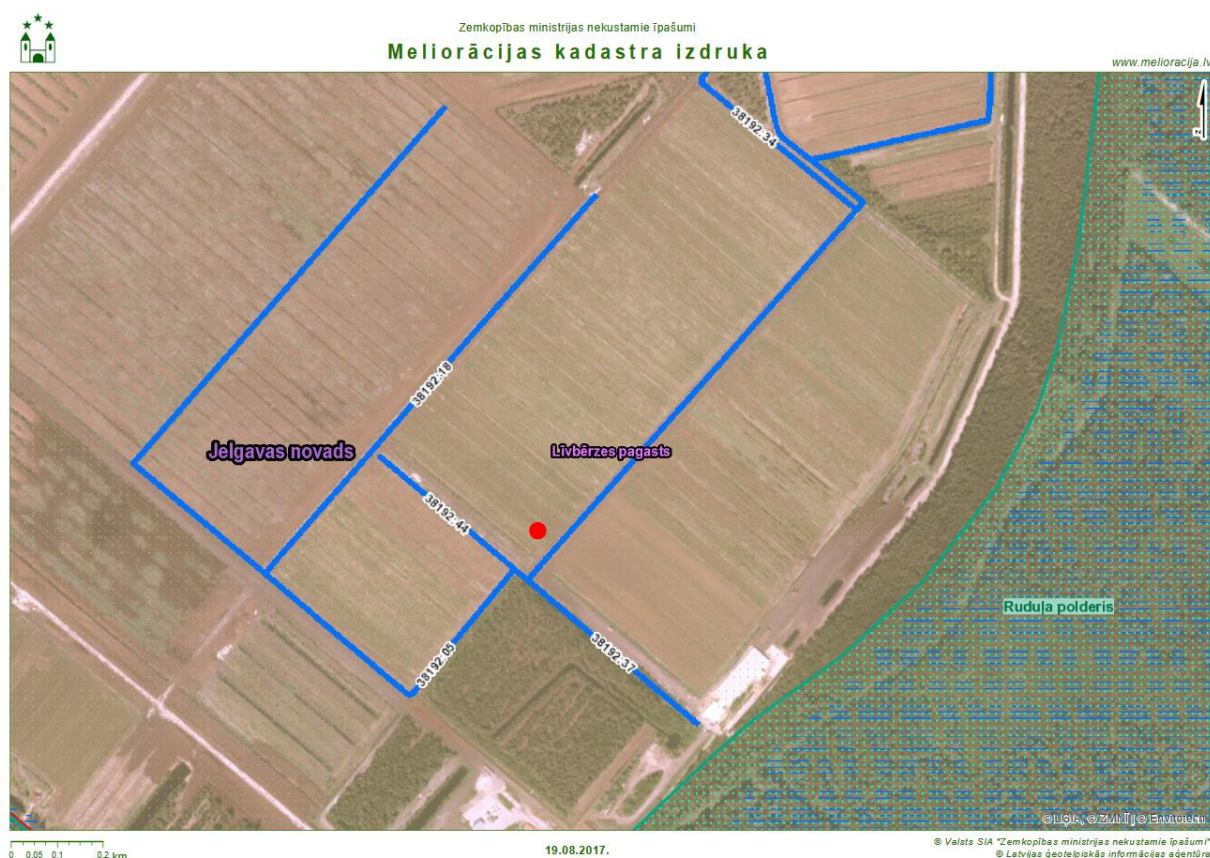
Auces monitoringa stacijas sateces baseina teritorijā iestrādātais slāpekļa daudzums tīrvielā ir apkopots 7. tab.

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

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums dd.mm.yyyy	Slāpeklis tīrvielā kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	30.08.2019	18 (digestāts 45 t ha ⁻¹)
Papildmēslojums	28.03.2020	64
Papildmēslojums	23.04.2020	68.8
Pamatmēslojums	02.08.2020	12

2.1.4. Lafloras pētījumu vieta

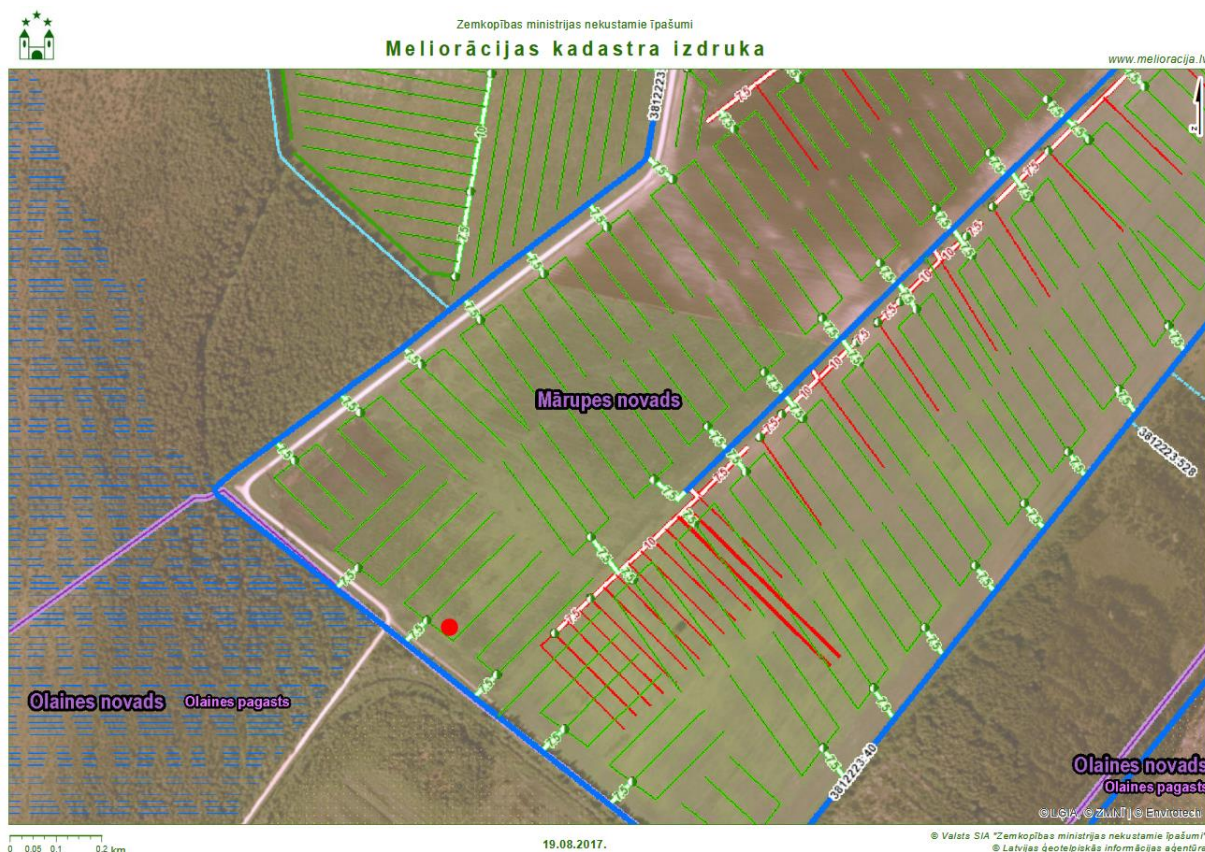
Lafloras pētījumu vieta atrodas Kaigu kūdras purvā, kurā rūpnieciski tiek iegūta un ražota kūdras produkcija. SEG emisiju mērījumu vietā tiek audzētas krūmmellenes, teritorija ir meliorēta, izmantojot plašu grāvju sistēmu, regulāri tiek veikti nokaltušo zaru un zāles plaušana. Nav pieejama informācija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

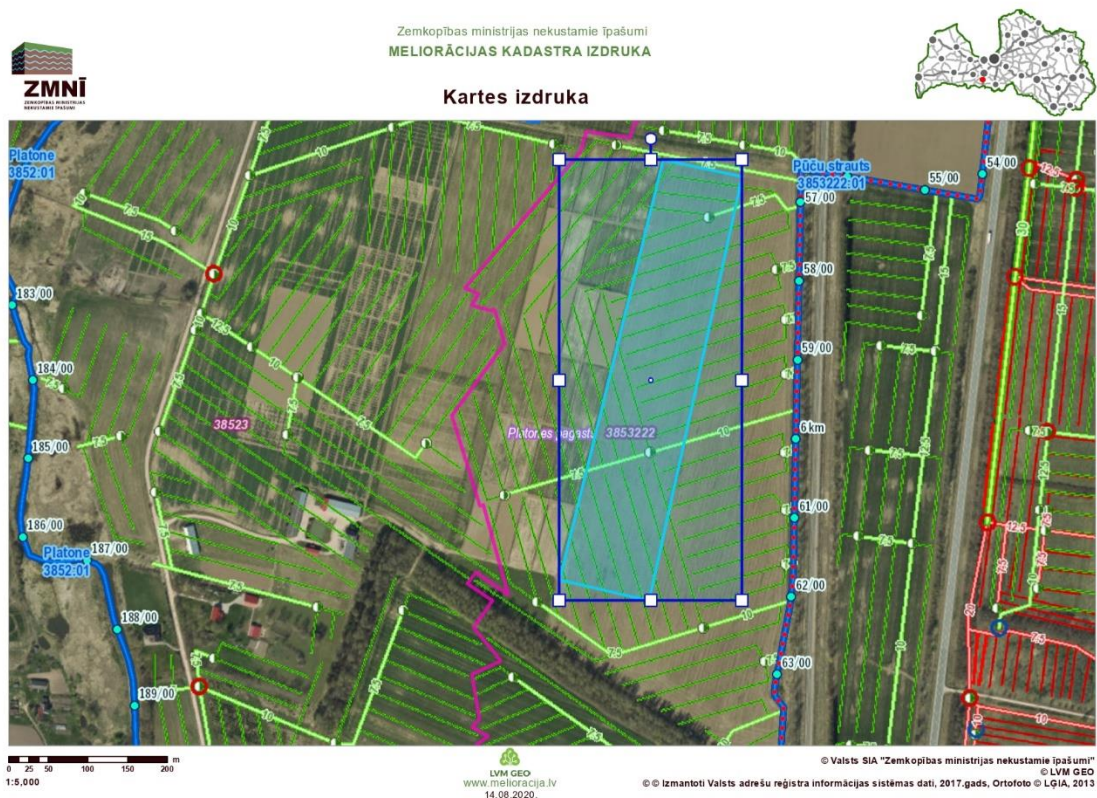


10. att. SEG emisiju mērījumu vieta Mārupes pētījumu vietā.

2.1.6. Pēterlauku pētījumu vieta

2020. gadā SEG emisiju mērījumi tiek veikti arī Pēterlauku ziemas kviešu izmēģinājumu stacijas eksperimentālajos lauciņos, kuros tiek pētīta dažādu slāpekli saturošo minerālmēslojumu veidu ietekme uz ziemas kviešu ražu un kvalitāti. Pēterlauku pētījuma vieta attēlota 11. att.

Slāpekļa minerālmēslos ir 2 veidu slāpekļa formas: amonija slāpekļis (NH_4^+) un nitrātus slāpekļis (NO_3^-). Amonija slāpekļis augsnē ir mazāk kustīgs nekā nitrātu slāpekļis. Tas tiek piesaistīts pie māla un trūdvielu daļiņu virsmas, kas izskaidro lēno, palēnināto slāpekļa pieejamību un ļauj amonija uzņemšanai caur saknēm noritēt nepārtraukti un vienmērīgi. Nitrātu slāpekļis ir ievērojami kustīgāks par amonija jonu augsnē, jo nonākot augsnēs šķīdumā, kļūst ātrāk pieejams augu saknēm, tomēr nitrāti tādejādi tiek pakļauti izskalošanai. Nitrātu formā slāpekļis viegli izskalojas, ja ir lieli nokrišņi. Augi var izmantot abas slāpekļa formas, kas labvēlīgi ietekmē augu augšanu. Uzreiz uzņemama ir nitrātu forma.



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

SEG mērījumi tiek veikti 4 dažādu minerālmēslojumu veidu lauciņos, katrā no šiem izmēģinājumu variantiem tiek uzkaisīti 170 kg N uz hektāru (skat. 8. tab., 9.tab.). Mērījumi tiek veikti arī kontroles lauciņā, kurš netiek mēslots.

8. tab. Dažādu slāpekļa saturošu mēslojumu izmēģinājums ziemas kviešos.
2019–2020. gads.

Rekomendācija	Apstrādes	Lietošanas laiks	Produkts	Deva kg ha ⁻¹	Tīrviela N, kg
Kontrole	kontole	kontole	kontole	0	0
1. variants	Top 1	Atsākoties veģetācijai AS 25-27	AN 33.5 %	264	88.4
	Top 2	AE 29-31	AS 21%, S 24%	150	31.5
	Top 3	AE 37-40 karoglapas stadija	AN 33.5 %	150	50.3
				KOPĀ N, kg	170.0
2. variants	Top 1	Atsākoties veģetācijai AS 25-27	N30 + 7S	247	74.0
	Top 2	AE 29-31	N30 + 7S	160	48.0
	Top 3	AE 37 - 40 karoglapas stadija	N30 + 7S	160	48.0

Rekomendācija	Apstrādes	Lietošanas laiks	Produkts	Deva kg ha ⁻¹	Tīrviela N, kg
				KOPĀ N, kg	170.0
3. variants	Top 1	Atsākoties veģetācijai	N30 + 7S	300	90.0
	Top 2	AE 30 stiebrošanas sākums	N30 + 7S	267	80.0
				KOPĀ N, kg	170
4. variants (Eurochema)	Top 1	Atsākoties veģetācijai AS 25-27	Karbamīds N46% (parastais)	200	92.0
	Top 2	AE 29-31	AS 21%, S 24%	150	31.5
		AE 37-40 karoglapas stadija	AN 33.5%	140	47.0
				KOPĀ N, kg	170

1.variantā izmantotie minerālmēsļu produkti ir amonija nitrāts (amonija slāpeklis 16.8 %; nitrātu slāpeklis 16.7 %) un amonija sulfāts (amonija slāpeklis 21%; sērs 24 %) un amonija nitrāts (N88.4+N31.5+N50.3). Šis minerālmēsļu variants ir viens no tipiskākajiem standarta mēslošanas variantiem ziemas kviešos Latvijā. Amonija nitrāts ir visbiežāk lietotais slāpekļa papildmēslojums Latvijā, jo satur gan amonija, gan nitrātu slāpekli. Galvenā slāpekļa deva tiek nodrošināta pirmajā mēslošanas reizē, kas ir nepieciešams augu augšanai, attīstībai un ražas veidošanai. Otrajā mēslošanas reizē tiek izmantots sēru saturošs papildmēslojums. Sēru saturoši minerālmēsli veicina slāpekļa uzņemšanu un proteīnu sintēzi, tāpēc tas ir nozīmīgs ne tikai ražas, bet arī augstas kvalitātes graudu ieguvei. Proteīnu sintēzi veicina arī slāpekļa mēslojums vārpošanas fāzē, kas konkrētajā variantā ir amonija nitrāts.

2.variantā lietotais minerālmēsļu produkts ir sulfonitrāts (N74+N48+N48). Sulfonitrāts satur slāpekli 30% (amonija slāpeklis 18%; nitrātu slāpeklis 12%, sērs 7%). Papildus tiek nodrošināts arī sērs. Sērs veicina N uzņemšanu, proteīnu sintēzi un veicina graudu kvalitātes rādītāju uzlabošanos. Slāpekļa lietojums līdz vārpošanai vairāk ietekmē graudu ražu, bet pēc vārpošanas – tieši graudu kvalitāti. Tā kā graudu kvalitāte (īpaši proteīns) veidojās tieši vārpošanas fāzē, sēru saturošu minerālmēsļu lietošana trešajā papildmēslošanā pozitīvi ietekmē kvalitāti.

3. variantā izmantotais minerālmēsļu produkts ir sulfonitrāts (N90+N80). Šī mēslošanas shēma ir ļoti līdzīga 2. variantam, vienīgi atšķiras tas, ka sulfonitrāts lietots tikai 2 reizes veģetācijas sezonā.

4. variantā izmantotie produkti ir karbamīds (amīdu slāpeklis 46.2%), amonija sulfāts (amonija slāpeklis 21%, sērs 24%) un amonija nitrāts (amonija slāpeklis 16.8%; nitrātu slāpeklis 16.7%) (N92+N31.5+N47). Karbamīdu jeb parasto urīnvielu iesaka lietot agri pavasarī (līdz +10°C), jo pie augstākām temperatūrām ļoti liels procents slāpeklis izgaist, tāpēc parasto karbamīdu parasti izmanto tikai kā pirmo mēslojumu. Šajā variantā otrajā mēslošanas reizē tiek izmantots sēru saturošs papildmēslojums, kas veicina slāpekļa uzņemšanu un proteīnu sintēzi, tāpēc tas ir nozīmīgs ne tikai ražas, bet arī augstas kvalitātes graudu ieguvei. Proteīnu sintēzi veicina arī slāpekļa mēslojums vārpošanas fāzē, kas konkrētajā variantā ir amonija nitrāts.

9.tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Pēterlauku pētījuma vietā.

Mēslojums	Iestrādes datums	Produkts	Deva, kg ha ⁻¹
Pamatmēslojums	12.09.2019.	NPK 10-26-26	280
N1 papildmēslojums	30.03.2020	Pēc shēmas	Pēc shēmas
N2 papildmēslojums	22.04.2020.	Pēc shēmas	Pēc shēmas
N3 papildmēslojums	27.05.2020	Pēc shēmas	Pēc shēmas

3.1. 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 objektā tika veikti mērījumi trīs kamerās.

3.1.1. Iekārtas un aprīkojums

Lauksaimniecības augšņu emitēto gāzu mērījumi tika veikti izmantojot mobilo spektrofotometru Picarro G2508 (skat. 12. att.), kas ļauj vienlaikus veikt piecu gāzu mērījumus N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, un H₂O ar vienas sekundes vidējo intervālu. Sīkāk par iekārtas tehniskajiem parametriem un tās izmantošanas iespējām ir aprakstīts Fleck et al., (2013) pētījumā. Gāzu mērījumi tika veikti 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 savienojumus ar iekārtu Picarro G2508 tika 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 tika 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).

Pirms augsnes gāzu emisiju mērījumiem tika veikti augsnes mitruma mērījumi, izmantojot mitruma mērītāju gruntīm Soil Moisture Nerer PMS-714, kas veic augsnes mitruma mērījumus augsnes virsējā slānī (skat. 14. att.). Augsnes mitruma dati tiek saglabāti datu nolasīšanas iekārtā un ierakstīti datu lapās.

Gaisa temperatūras mērījumus, gaisa temperatūras mērījumus kamerā un augsnes temperatūras mērījumus veica, izmantojot barometriskā spiediena mērītājus Diver DI 500, Eijkelkamp (skat. 15. att.), kur gaisa temperatūras mērītājs tika novietots ēnas pusē, kameras gaisa temperatūras mērītājs tika novietots kamerā tieši pirms kupola nostiprināšanas un augsnes temperatūras mērīšanai iekārta tika ierakta augsnē 20 cm dziļumā.



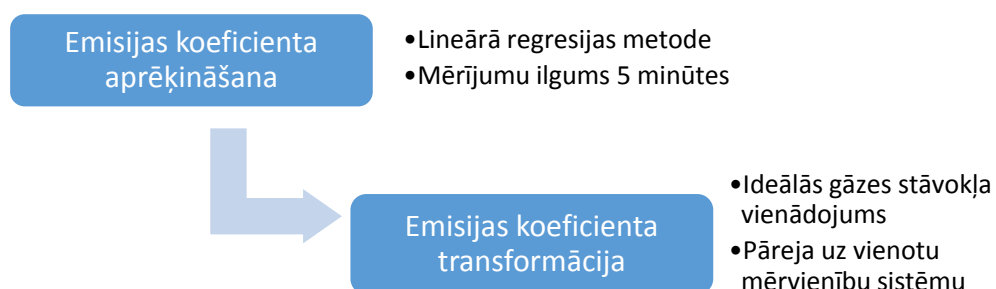
14. att. Augsnes mitruma mēritājs un gāzu mērījumu kamera (autors: J.Pilecka).



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

3.1.2. Datu analīzes metodes

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



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

3.1.2.1. 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 pirmās piecas mērījumu minūtes.

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

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

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

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

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

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

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

R^2 - determinācijas koeficients

y – koncentrācija
x – laiks sekundēs
n – mērījumu skaits

3.1.2.2. Emisijas koeficienta transformācijas

Emisiju koeficienta pārrēķinam uz koncentrāciju diennaktī no hektāra tika 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 m^3 ;

A – kameras laukums m^2 ;

$\Delta c/\Delta T$ – vidējā koncentrācijas izmaiņa laikā ppm/s ;

T – kameras temperatūra $^{\circ}\text{C}$.

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

3. REZULTĀTI

Pētījuma rezultāti ir sastrukturēti trijās galvenajās grupās, kur pirmajā apskņnodaļā analizēti SEG un amonjaka mērijumu rezultāti Auces, Bēzēs, Mellupītes, Lafloras un Mārupes pētījumu vietās 2020. gadā, kā arī sniegts 2017., 2018., 2019. un 2020. gadu gāzu emisiju salīdzinājums katrai pētījumu vietai. Otrajā apakšnodaļā ir analizēta organiskās vielas satura ietekme uz gāzu emisijām, kur Auces, Bēzēs un Mellupītes pētījumu vietas raksturo minerālaugsi, savukārt Lafloras un Mārupes pētījumu vietas – organisko augsni. Trešajā apakšnodaļā ir sniegta Pēterlauku mērijumu vietā veikto pētījumu rezultāti, kur analizēta dažādu slāpekļa mēslojuma veidu ietekme uz gāzu emisijām.

3.1. SEG un amonjaka emisiju rezultāti Auces, Bēzēs, Mellupītes, Lafloras un Mārupes pētījumu vietās

2020. gadā Aucē, Bēzē un Mārupē ir veiktas 9 mērijumu kampaņas, bet Mellupītē un Laflorā ir veiktas 10 mērijumu kampaņas. Katrā objektā tika veikti N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 mērijumi 3 kamerās, augsnes mitruma un augsnes temperatūras mērijumi. Kopā visās pētījumu vietās līdz 30. septembrim ir veikti 141 mērijumi, kuros noteiktas N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 koncentrācijas, no kurām aprēķinātas emisijas gramos vai kilogramos no hektāra diennaktī. Aprakstošās statistikas rādītāji ir attēloti 10.tab.

CH_4 emisiju mērijumi apstiprina līdzšinējās atziņas, ka augsnes mikroorganismi lauksaimniecības zemēs patērē metānu. Metāna emisiju datu mediānas vērtība ($-1.711 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$) ir uz pusi mazāka nekā aritmētiskā vidējā emisijas vērtība ($-2.858 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), kas norāda datu nevienmērīgu sadalījumu. Savukārt minimālā metāna emisiju vērtība ir $-17.873 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ un maksimālā metāna emisiju vērtība ir $5.210 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kas liecina par anaerobu apstākļu esamību augsnē pie noteiktiem klimatiskajiem apstākļiem, kā rezultātā aktivizējas metanogēnie mikroorganismi.

CO_2 emisijas svārstās robežās no $14.336 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ līdz $431.227 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kur mediāna ($81.872 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$) un aritmētiskā vidējā vērtība ($111.646 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$) ir nosacīti tuvu, kas liecina par vienmērīgu ogļskābās gāzes emisiju apjomu visā novērojumu periodā. Lielā avārstību amplitūda ir cieši saistīta ar

augšnes temperatūru un augšnes mitrumu, kas mainās veģetācijas periodā un kas ir galvenie CO₂ emisijas ietekmējošie faktori.

N₂O emisiju apjomi uzrāda nevienmērīgu sadalījumu, par ko liecina mediānas (3.461 g ha⁻¹ dnn⁻¹) un aritmētiskās vidējās vērtības (11.284 g ha⁻¹ dnn⁻¹) atšķirības un norāda uz izteiktu ekstrēmu vērtību eksitenci datu rindā, kur konstatētā minimālā dislāpekļa oksīda vērtība ir -2.054 g ha⁻¹ dnn⁻¹, savukārt maksimālā vērtība sasniedz 189.374 g ha⁻¹ dnn⁻¹. Negatīva minimālā vērtība norāda uz denitrifikācijas procesa klātesamību, kura rezultātā mikroorganismi patērē N₂O sastāvā esošo skābekli un atmosfērā izdala slāpekli (N₂), savukārt maksimālās vērtības parādās siltā laikā, pie optimāla augšnes mitruma.

NH₃ emisiju statistiskā analīze uzrāda vēl izteiktāku maksimālo vērtību klātbūtni datu kopā, kur mediāna (0.038 g ha⁻¹ dnn⁻¹) ir četrdesmit reizes zemāka kā vidējā aritmētiskā amonjaka emisiju vērtība (1.540 g ha⁻¹ dnn⁻¹), iepriekšminētie fakti norāda uz izteiktu ekstrēmu vērtību eksitenci datu rindā, kur konstatētā minimālā amonjaka vērtība ir -13.118 g ha⁻¹ dnn⁻¹, savukārt maksimālā vērtība sasniedz 77.954 g ha⁻¹ dnn⁻¹. Minimālā vērtība norāda uz augu fizioloģisko spēju piesaistīt un izmantot amonjaku, savukārt maksimālās vērtības parādās dienās, kad mērījumi tika veikti pēc papildmēslojuma iestrādes.

10.tab. N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju statistiskie rādītāji 2020. 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	141	141	141	141
	Missing	0	0	0	0
Mean		-2.858	11.284	111.646	1.540
Std. Error of Mean		0.301	2.229	6.578	0.692
Median		-1.711	3.461	81.872	0.038
Std. Deviation		3.574	26.467	78.109	8.222
Variance		12.775	700.480	6101.089	67.601
Minimum		-17.873	-2.054	14.336	-13.118
Maximum		5.210	189.374	431.227	77.954
Percentiles	25	-4,430	0.838	58.581	-0.305
	50	-1,711	3.461	81.872	0.0384
	75	-0.452	8.213	151.918	0.497

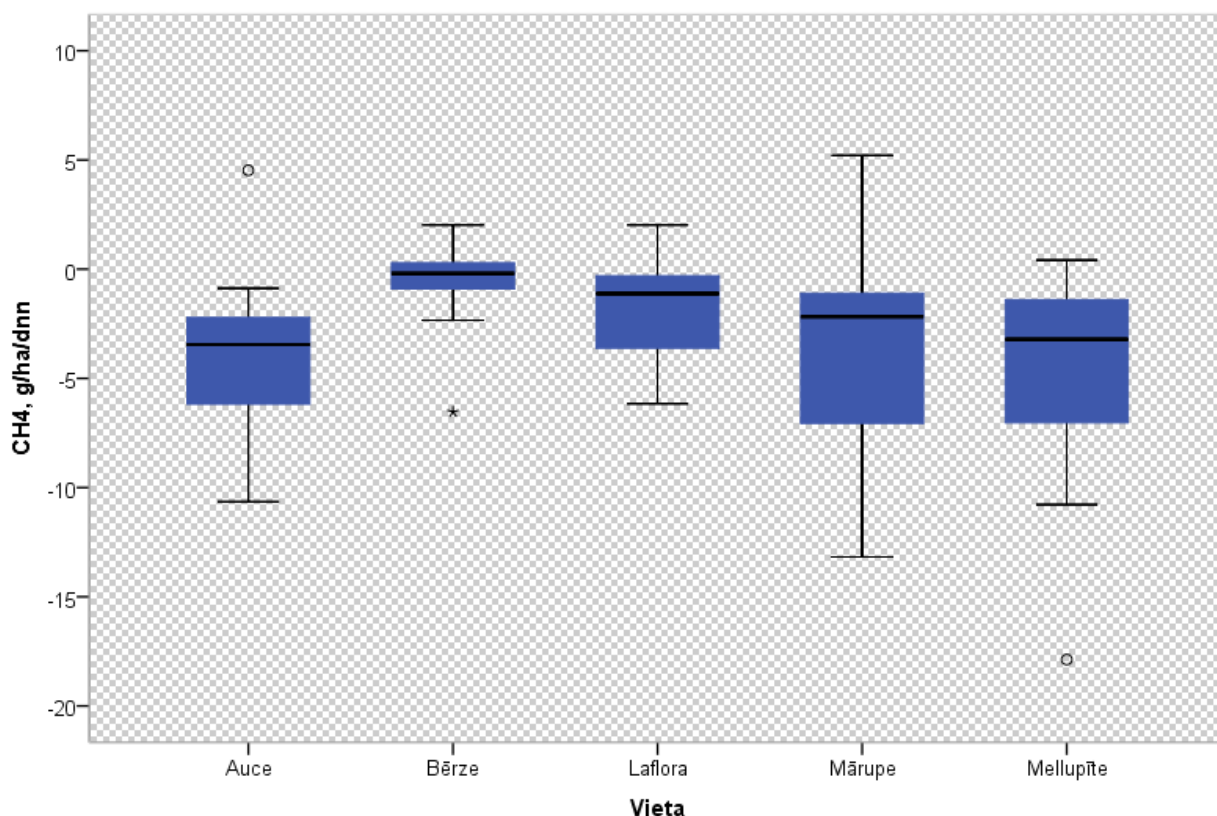
3.1.1. Metāna mērījumu rezultāti

Visās mērījuma vietās ir novērota gan metāna asimilācija no gaisa, gan arī metāna emisija, kas nozīmē, ka augsnē dominējošos aerobos apstākļus kādā no mērījumu veikšanas reizēm ir nomainījuši anaerobi apstākļi. Vislielākā metāna emisijas izkliede ir novērojama Mellupītes objektā (skat. 11. tab. un 17.att.).

11. tab. CH₄ emisijas statistiskie rādītāji 2020. gadā.

CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Auce	Bērze	Laflora	Mārupe	Mellupīte
N	Valid	27	27	30	27	30
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		-4.181	-0.371	-1.818	-3.455	-4.406
Std. Error of Mean		0.643	0.296	0.378	0.830	0.758
Median		-3.456	-0.194	-1.122	-2.182	-3.212
Std. Deviation		3.342	1.540	2.071	4.314	4.153
Variance		11.167	2.371	4.287	18.614	17.244
Minimum		-10.646	-6.540	-6.161	-13.174	-17.873
Maximum		4.526	2.016	2.016	5.210	0.418
Percentiles	25	-6.996	-0.950	-3.623	-7.234	-7.168
	50	-3.456	-0.194	-1.122	-2.182	-3.212
	75	-2.030	0.343	-0.305	-1.027	-1.354

Izvērtējot metāna emisiju vērtību izkliedi mērījumu vietās, var secināt, ka Auces mērījumu vietā emisijas ir stabilākas un svārstās amplitūdā ap mediānu (25 percentile: -6.996 g ha⁻¹ dnn⁻¹, 75 percentile: -2.030 g ha⁻¹ dnn⁻¹) (skat. 17.att.).

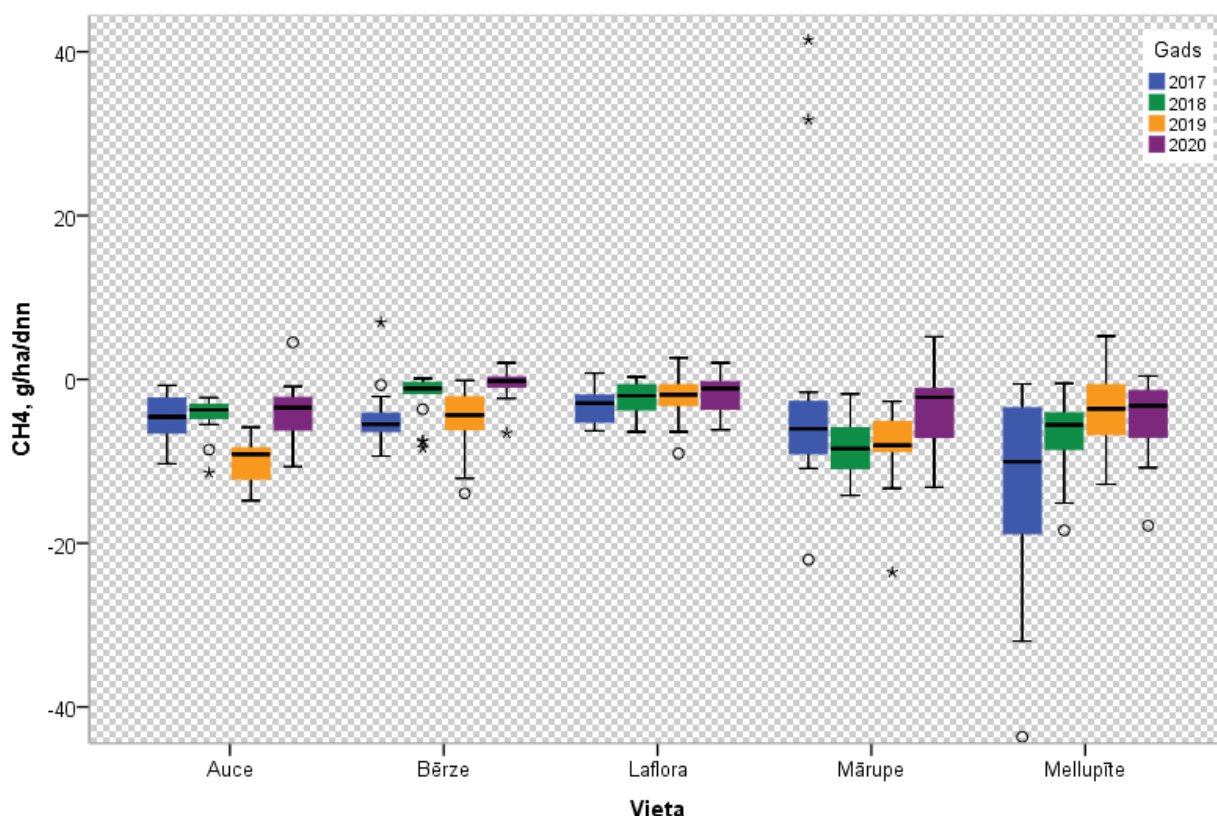


17.att. CH₄ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.

Salīdzinot metāna emisiju pa gadiem visās mērījumu veikšanas vietās, varam secināt, ka metāna emisija visnestabilākā ir bijusi Auces un Bērzes monitoringa punktos (skat. 18. att.).

Analizējot metāna emisijas pēdējo četru monitoringa gadu griezumā, 2017. gadā bija izteikta metāna emisiju svārstību amplitūda visās piecās mērījumu veikšanas vietās, tomēr jāmin, ka pozitīvas metāna emisijas ir nosacīti maz, jo visos mērījumu objektos mediānai ir negatīva vērtība, un pozitīvas ir tikai ekstrēmās vērtības Mārupes un Bērzes mērījumu veikšanas vietās (skat. 18. att.). Visās mērījuma veikšanas vietās 2020. gadā, metāna emisijas bija ar relatīvi augstākām vērtībām, kas izskaidrojams ar regulāriem nokrišņiem šajos gados. Savukārt analizējot izkliedi, ir redzams, ka Lafloras un Mārupes mērījumu veikšanas vietās izkļedes amplitūda saglabājas 2019. gada līmenī, savukārt pārējās mērījumu veikšanas vietās metāna emisiju izkļedes amplitūda ir būtiski samazinājusies Bērzes mērījuma vietā, bet pieaugusi Aucē un Mārupē. 2020. gadā Auces mērījumu veikšanas vietā metāna emisiju apjoms ir būtiski augstāks nekā 2019. gadā, bet mediānas vērtība ir atgriezusies 2017. un 2018. gada līmenī. Bērzes mērījumu

veikšanas vietā metāna emisiju amplitūda ir atgriezusies 2018.gada līmenī, bet emisiju apjoms ir būtiski samazinājies pret 2019. gadu. Lafloras mērījumu veikšanas vietā mērījumu amplitūda ir stabila visu četru monitoringa gadu ietvaros ar pozitīvām vērtībām 75-100 procentilē. Mārupes mērījumu veikšanas vietā visos četros gados metāna emisijas ir ar līdzīgu svārstību amplitūdu, taču jāmin, ka Mārupes mērījumu veikšanas vietā ir vērojamas visaugstākās metāna emisiju vērtības 2020. gadā. Mellupītes mērījumu veikšanas vietā, vērtējot pēdējos trīs monitoringa gadus, ir vērojama neliela pozitīva tendence metāna emisiju mediānas vērtībām.



18. att. CH₄ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.

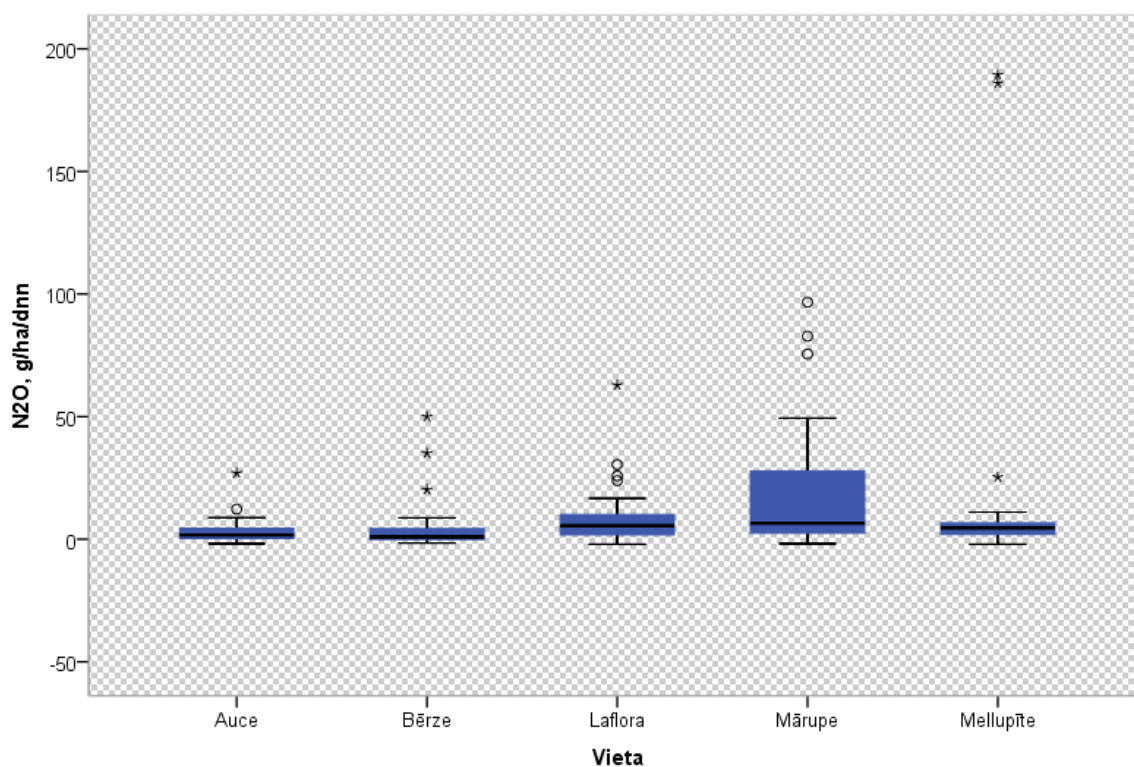
3.1.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti

Izvērtējot N₂O emisiju vērtību izkliedi mērījumu vietās, var secināt, ka Mārupes un Lafloras mērījumu veikšanas vietās emisijas ir ar visizteiktāko svārstību amplitūdu (skat. 12. tab. un 19.att.). Auces mērījumu veikšanas vietā minimālā novērotā dislāpekļa oksīda vērtība ir -1.788 g ha⁻¹ dnn⁻¹, savukārt maksimālā novērotā vērtība ir 26.962 g ha⁻¹ dnn⁻¹. Bērzes mērījumu veikšanas vietā novērotā minimālā vērtība ir -1.560 g ha⁻¹ dnn⁻¹, bet maksimālā 49.968 g ha⁻¹ dnn⁻¹. Mellupītes

mērījumu veikšanas vietā novērotā minimālā dislāpekļa oksīda vērtība ir $-2.054 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, bet maksimālā $189.374 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$. Mārupes objektā novērotā minimālā vērtība ir $-1.826 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, bet maksimālā novērotā vērtība ir $96.703 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$. Lafloras objektā novērotā minimālā vērtība ir $-2.016 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, bet maksimālā novērotā vērtība ir $62.858 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$.

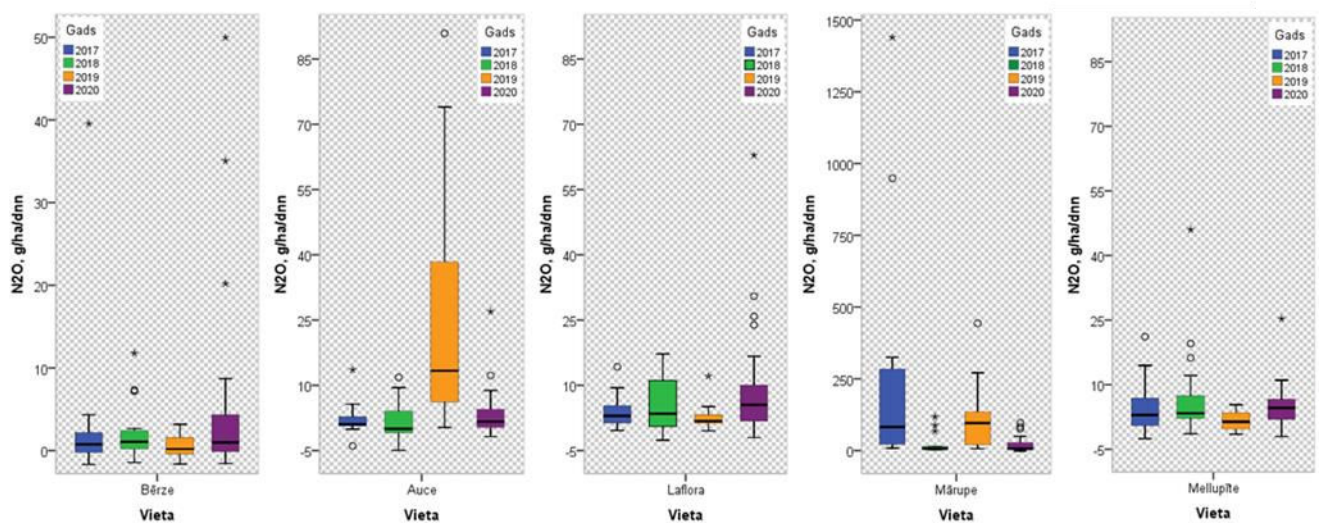
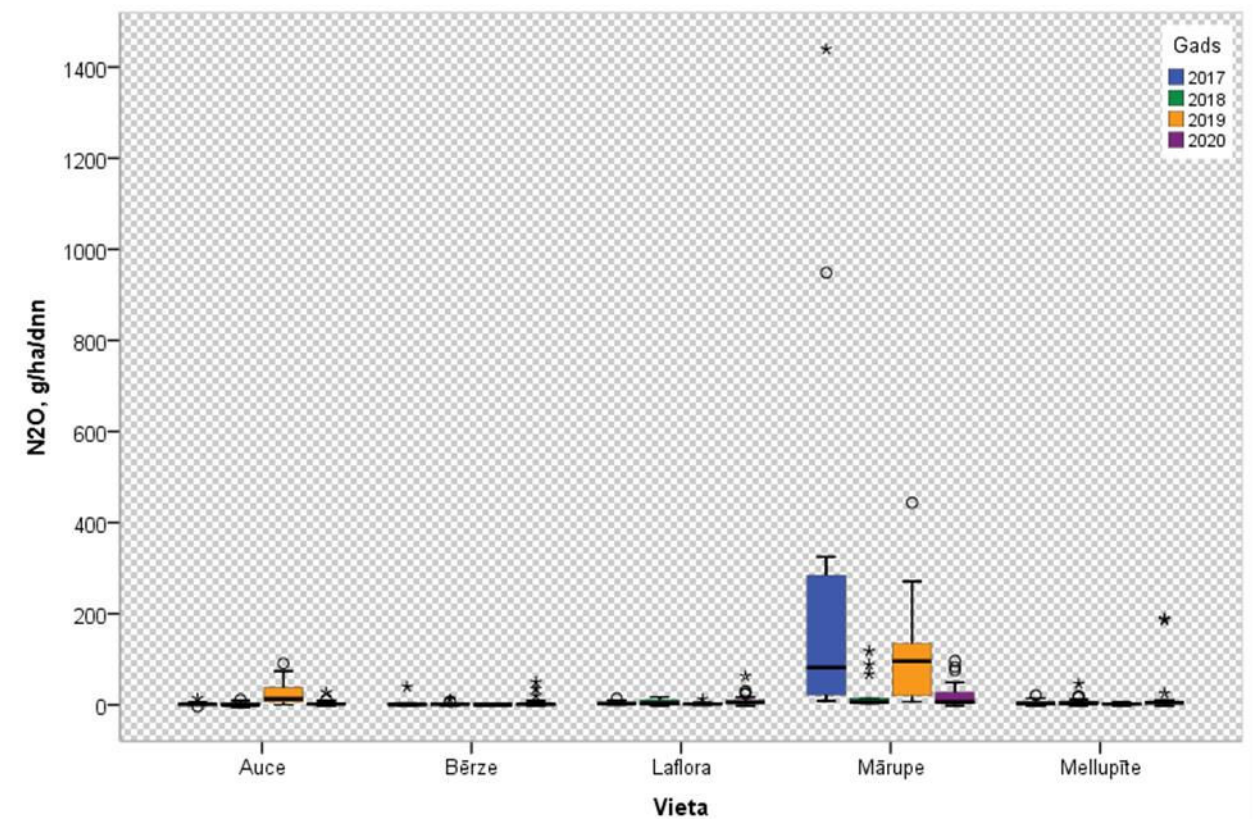
12. tab. N_2O emisijas statistiskie rādītāji 2020. gadā.

$\text{N}_2\text{O}, \text{g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$		Auce	Bērze	Laflora	Mārupe	Mellupīte
N	Valid	27	27	30	27	30
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		3.355	5.295	9.286	20.932	17.125
Std. Error of Mean		1.102	2.269	2.359	5.259	8.5112
Median		1.673	0.989	5.532	6.502	4.602
Std. Deviation		5.725	11.790	12.920	27.326	46.618
Variance		32.774	138.996	166.937	746.722	2173.205
Minimum		-1.788	-1.560	-2.016	-1.826	-2.054
Maximum		26.962	49.968	62.858	96.703	189.374
Percentiles	25	0.228	-0.305	1.712	2.321	1.901
	50	1.673	0.989	5.532	6.502	4.602
	75	4.562	5.323	11.171	28.330	6.883



19.att. N_2O emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.

Analizējot novērotā maksimālā dislāpekļa oksīda vērtības monitoringa objektos pādējos četros monitoringa gados (skat. 20. att.), jāmin, ka dislāpekļa oksīda emisijas parāda ļoti nevienmērīgus emisiju apjomus pa gadiem un par nosacīti stabiliem mērījumu rezultātiem var nosaukt mērījumus Mellupītes un Bērzes mērījumu veikšanas vietās, kur emisijas ir nosacīti ar vismazāko svārstību amplitūdu visu triju gadu griezumā. Bērzes mērījumu veikšanas vietā dislāpekļa oksīda emisiju vērtības svārstās līdzīgi kā Mellupītes mērījumu veikšanas vietā. Emisiju nestabilais raksturs norāda uz klimata un citiem faktoriem, kas rada būtisku ietekmi uz dislāpekļa emisiju apjomu. Auces mērījumu veikšanas vietā 2020. gadā emisiju apjoms ir būtiski samazinājies, salīdzinot ar 2019. gadu, un atgriezies 2017. un 2018. gada līmenī, savukārt Bērzes mērījumu veikšanas vietā dislāpekļa oksīda emisijas ir nosacīti augstākas 2020. gadā nekā iepriekšējos gados. Īpaši jāpiemin Mārupes mērījumu vieta, kur dislāpekļa oksīda ekstrēmā vērtība aptuveni piecpadsmit reizes pārsniedz pārējās mērījumu veikšanas vietās novēroto dislāpekļa emisiju ekstrēmās vērtības.



20. att. N₂O emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.

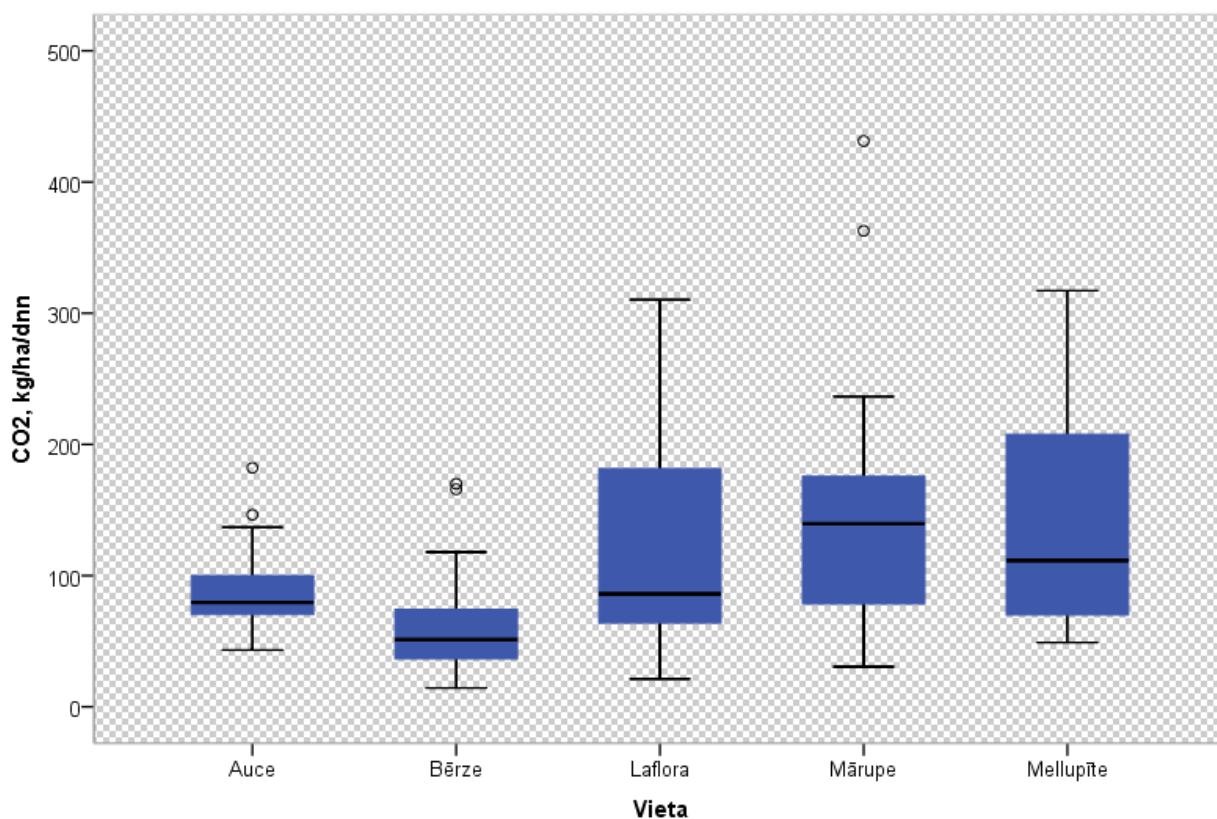
3.1.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti

Ogļskābās gāzes emisijas ir visvienmērīgākās, bez izteikti ekstrēmām vērtībām, par ko liecina mediānas un vidējās vērtību salīdzinoši tuvā sakritība. Piemēram, Mellupītes mērījumu veikšanas vietā mediānas un aritmētiskās vidējās vērtības atšķirības ir 1% robežās (skat. 13.tab.). Mellupītes, Lafloras un Mārupes

mērījumu veikšanas vietās ir vērojamas relatīvi viaugstākās ogļskābās gāzes emisijas (skat. 13.tab., 21. att.).

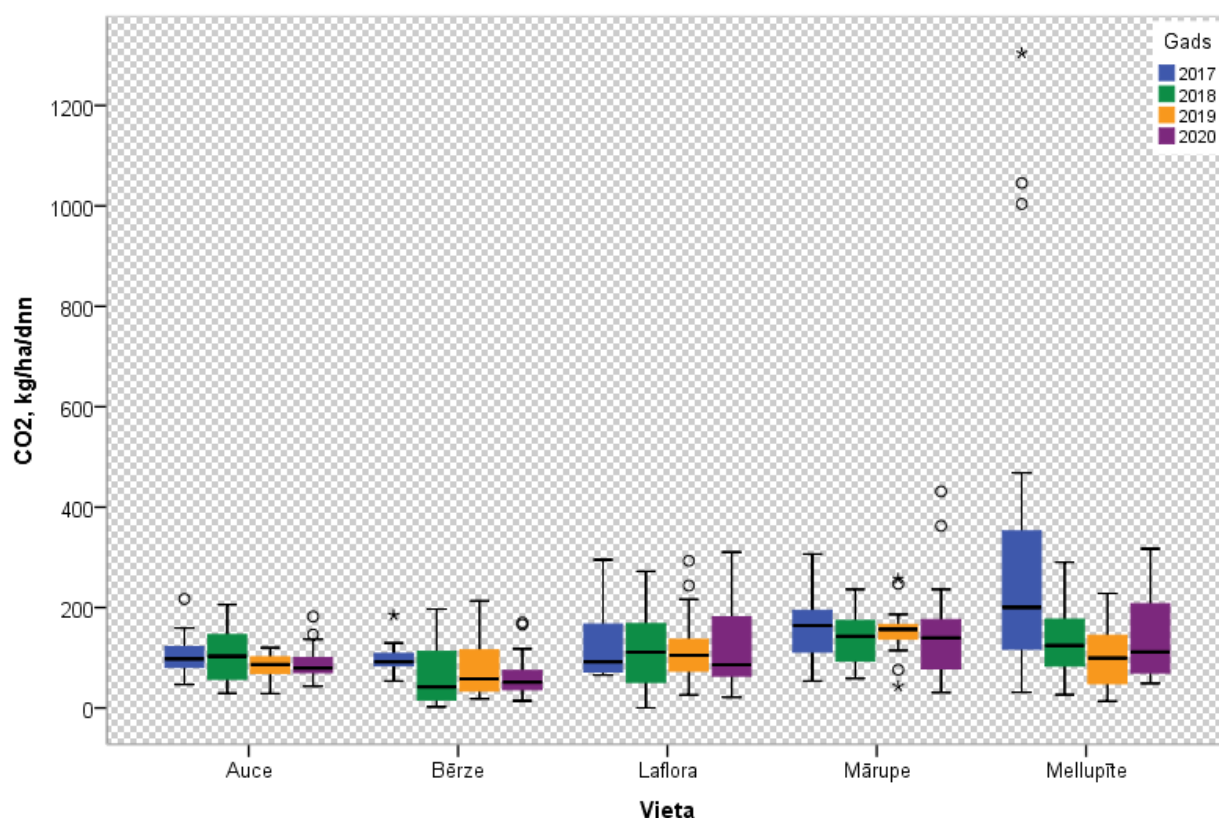
13.tab. CO₂ emisijas statistiskie rādītāji 2020. gadā.

CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Auce	Bērze	Laflora	Mārupe	Mellupīte
N	Valid	27	27	30	27	30
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		90.242	60.977	121.481	139.182	141.894
Std. Error of Mean		5.978	7.713	15.751	18.379	15.230
Median		79.477	51.260	86.131	139.559	111.419
Std. Deviation		31.064	40.080	86.274	95.500	83.420
Variance		964.969	1606.368	7443.172	9120.335	6958.874
Minimum		43.351	14.336	21.143	30.536	49.055
Maximum		182.150	169.981	310.301	431.227	317.146
Percentiles	25	70.350	35.898	62.393	77.499	69.437
	50	79.477	51.260	86.131	139.559	111.419
	75	100.772	79.857	190.040	180.629	207.628



21. att. CO₂ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.

CO₂ emisija visos gados visos objektos rāda nevienmērīgu novēroto oglekļa dioksīda vērtību svārstību amplitūdu, gan objektu, gan novērojumu veikšanas gadu ietvaros (skat. 22.att.). Auces mērījumu veikšanas vietā visizteiktākā oglekļa dioksīda svārstību amplitūda ir novērota 2018. gadā, savukārt pārējos gados svārstību amplitūda ir relatīvi mazāka. Bērzes mērījumu veikšanas vietā nosacīti līdzīga ogļskābās gāzes emisija ir 2018. gadā un 2019. gadā, savukārt 2017. un 2020. gadā ir relatīvi mazāka emisijas vērtības svārstību amplitūda, bet 2017. gadā ir izteikti augstākas ogļskābās gāzes emisiju vērtības, kur minimālā 2017. gadā novērotā vērtība ir augstāka nekā 2018., 2019. un 2020. gada novēroto vērtību mediānas. Lafloras mērījumu veikšanas vietā 2020. gada mērījumu mediāna ir zemāka nekā iepriekšējos gados novēroto ogļskābās gāzes emisiju mediānas, taču jāmin, ka 2020. gadā ir visaugstākā 100 procentīles vērtība, kas norāda uz datu kopas relatīvo kompakturno 0 līdz 50 procentīlei un relatīvo izkliedi no 50 līdz 100 procentīlei. Mārupes mērījumu veikšanas vietā novērotās ogļskābās gāzes emisijas vērtības 2020. gadā ir ar līdzīgu izkliedi kā 2017. un 2018. gadā, taču ar izteiktiem maksimālajiem ekstrēmiem. Mellupītes mērījumu veikšanas vietā 2017. gadā ogļskābās gāzes emisiju apjoms bija ar izteikti lielāku izkliedes amplitūdu un trim maksimālajām pozitīvajām vērtībām, kas četras reizes pārsniedz pārējos objektos novērotās maksimālās oglekļa emisiju vērtības.



22.att. CO₂ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.

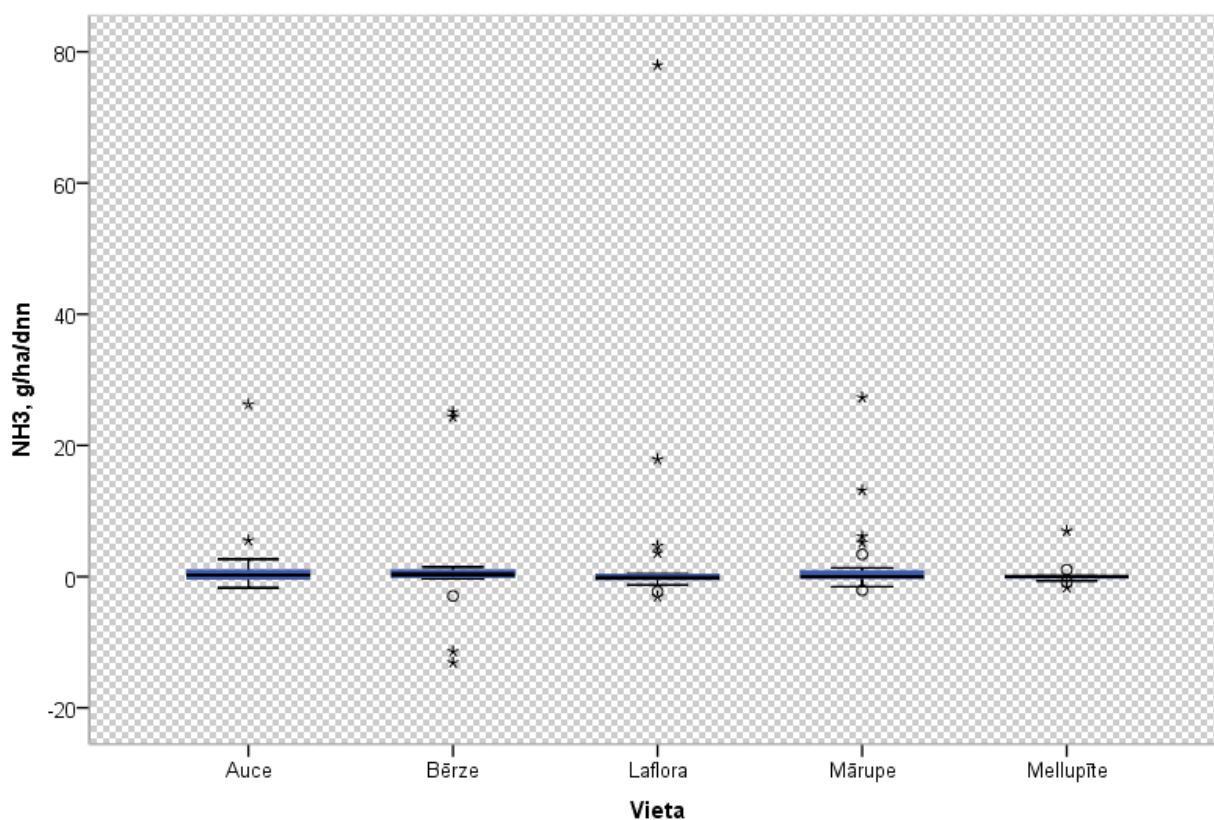
3.1.4. Amonjaka mērījumu rezultāti

Amonjaka emisiju mērījumu rezultāti uzrāda nosacīti zemu amonjaka emisiju apjomu, ja analizējam mediānas vērtības, kur visās mērījumu veikšanas vietās amonjaka emisiju mediānas vērtība svārstās no $-0.014 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ līdz $0.326 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ (skat. 14. tab.).

14. tab. NH₃ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.

NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Auce	Bērze	Laflora	Mārupe	Mellupīte
N	Valid	27	27	30	27	30
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		1.354	1.168	3.106	1.948	0.111
Std. Error of Mean		0.993	1.465	2.662	1.135	0.249
Median		0.2424	0.326	-0.182	-0.014	0.023
Std. Deviation		5.160	7.614	14.575	5.896	1.365
Variance		26.629	57.966	212.508	34.767	1.863
Minimum		-1.711	-13.118	-3.046	-2.090	-1.666
Maximum		26.239	25.097	77.954	27.302	6.960
Percentiles	25	-0.425	-0.130	-0.451	-0.305	-0.247

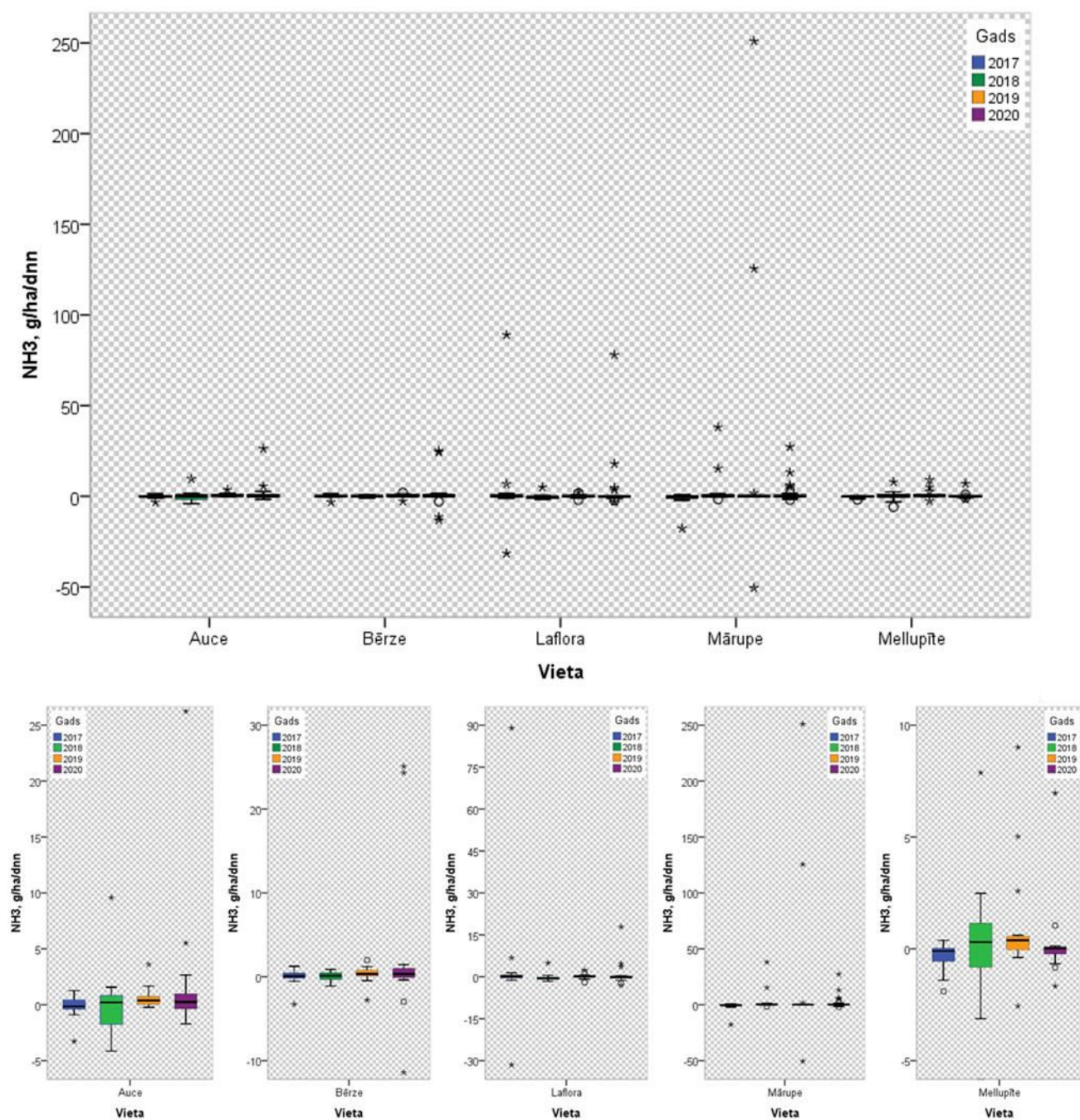
NH_3 , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	Auce	Bērze	Laflora	Mārupe	Mellupīte
50	0.242	0.326	-0.182	-0.014	0.023
75	1.027	1.008	0.339	1.236	0.091



23.att. NH_3 emisiju novērojumi pētījumu objektos 2020. gadā.

Analizējot amonjaka emisijas pēdējo trīs gadu griezumā, ir jāmin, ka visos gados visās mērījuma veikšanas vietās ir vērojamas ekstrēmās vērtības, kas raksturo amonjaka emisiju nevienmērīgo dabu (skat. 24. att.). Auces mērījumu veikšanas vietā amonjaka emisiju mediānas vērtības ir nosacīti līdzīgas, taču jāmin 2018. gadā novērotās izteikti negatīvās vērtības, kas liecina par augu spēju uzņemt amonjaku no gaisa. Bērzes mērījumu veikšanas vietā amonjaka emisiju vērtības ir ar ļoti līdzīgu izkliedi, taču 2019. gada mediānas nobīde ir pozitīvu amonjaka emisiju virzienā, bet izteikti ekstrēmu pozitīvu amonjaka emisiju vērtības ir novērotas 2020. gadā. Lafloras mērījumu veikšanas vietā 2017. gadā ir novēroti gan maksimālo vērtību, gan minimālo vērtību ekstrēmi, taču 2020. gadā ir novērojamas ekstrēmas maksimālās vērtības. Mārupes mērījumu veikšanas vietā amonjaka emisijas ir ar nosacīti mazu savārstību amplitūdu, taču ekstrēmo maksimālo vērtību apjomam ir tendence pieaugt. Mellupītes mērījumu veikšanas vietā amonjaka emisijas 2020.

gadā ir ar mazāku izkliedes amplitūdu, bet ar pozitīvām un negatīvām ekstrēmām vērtībām.



24. att. NH₃ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017.-2020. gadam.

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

Augsnes organiskās vielas saturs ir viens no nozīmīgākajiem SEG emisiju ietekmējošajiem faktoriem. Šajā apakšnodaļā ir analizētas gāzu savstarpējās sakarības, kā arī augsnes mitruma un augsnes temperatūras ietekme uz SEG emisiju koeficientiem. SEG emisiju koeficienti 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 visos objektos visās kamerās ir parādīta 15. tab. Statistiski nozīmīga negatīva korelācija ir starp CO₂ un CH₄ emisijām, kas nozīmē, ka, palielinoties CO₂ emisijai, samazinās N₂O emisija, bet statistiski nozīmīga pozitīva korelācija ir starp augsnes mitrumu un CH₄, N₂O un NH₃ emisijām, kas apstiprina literatūras atziņas, ka viens no galvenajiem metāna, N₂O un amonjaka emisiju ietekmējošajiem faktoriem ir augsnes mitrums, kā arī statistiski nozīmīga pozitīva korelācija ir starp augsnes temperatūru un augsnes mitrumu, CH₄, CO₂ un NH₃. Statistiski nozīmīga pozitīva korelācija ir arī starp N₂O un CO₂.

15. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām 2020. 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	0.149**	0.021	0.187**	0.145*	0.123*
Augsnes mitrums, %	0.149**	1	0.130*	0.285**	-0.096	0.047
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.021	0.130*	1	-0.022	0.188**	0.013
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.187**	0.285**	-0.022	1	-0.320**	0.024
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.145*	-0.096	0.188**	-0.320**	1	-0.109
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.123*	0.047	0.013	0.024	-0.109	1

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Analizējot atsevišķi organisko augšņu un minerālaugšņu kameru gāzu emisijas 2020. gadā, ir redzams, ka minerālaugsnēs veidojas negatīva statistiski nozīmīga sakarība starp CO₂ un augsnes mitrumu un CH₄, kā arī pozitīva statistiski nozīmīga sakarība starp N₂O. CH₄ veido statistiski nozīmīgu pozitīvu korelāciju ar

augšnes temperatūru un augšnes mitrumu, bet negatīvu korelāciju ar CO₂. NH₃ veido statistiski nozīmīgu pozitīvu korelāciju ar augšnes mitrumu (skat. 16. tab.).

16. tab. Kendala korelācijas koeficienti minerālaugšnes kamerām 2020. 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	0.140	-0.061	0.187*	-0.021	0.260**
Augsnes mitrums, %	0.140	1	0.132	0.427**	-0.211**	0.048
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.061	0.132	1	-0.055	0.155*	0.043
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.187*	0.427**	-0.055	1	-0.487**	0.008
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.021	-0.211**	0.155*	-0.487**	1	-0.093
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.260**	0.048	0.043	0.008	-0.093	1

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Organiskajās augsnēs starp N₂O un CO₂ gāzēm ir vērojama statistiski nozīmīga pozitīva korelācija (skat. 17. tab.), kā arī starp CH₄ un augšnes temperatūru un CO₂ un augšnes temperatūru ir vērojama pozitīva korelācija.

17. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augšnes kamerām 2020. 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	0.166	0.157	0.188*	0.417**	-0.077
Augsnes mitrums, %	0.166	1	0.143	0.013	0.084	0.077
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.157	0.143	1	0.004	0.198*	-0.004
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.188*	0.013	0.004	1	-0.143	0.026
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.417**	0.084	0.198*	-0.143	1	-0.116
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.077	0.077	-0.004	0.026	-0.116	1

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

Laika posmam no 2017. līdz 2020. gadam statistiski nozīmīga pozitīva korelācija ir starp augšnes temperatūru un CO₂, NH₃ emisiju, starp augšnes mitrumu un N₂O, CH₄, CO₂ emisiju, N₂O un CO₂ emisiju. Statistiski nozīmīga negatīva korelācija ir starp CH₄ un N₂O emisiju, CH₄ un CO₂ emisiju (skat. 18. tab.).

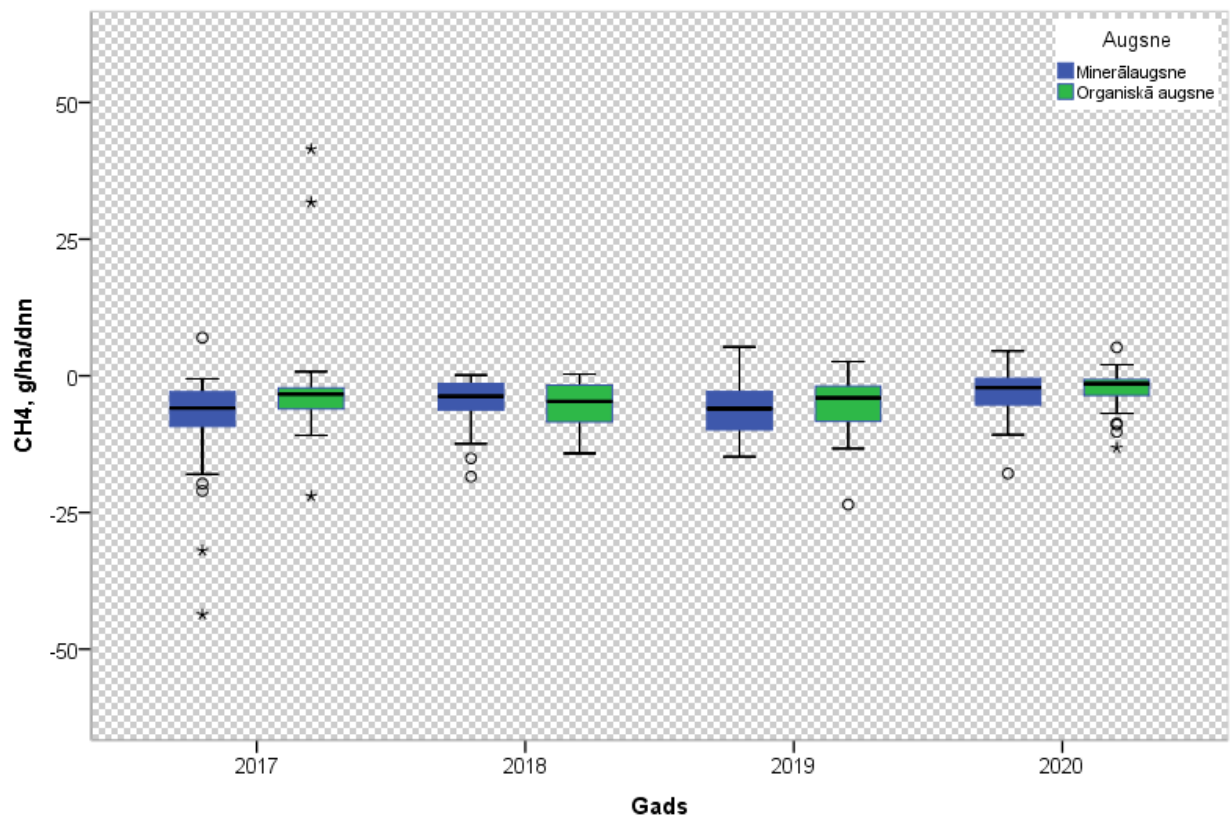
18. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām laika posmam no 2017. līdz 2020. gadam.

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	0.041	0.004	-0.021	0.125**	0.159**

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 mitrums, %	0.041	1	0.123**	0.132**	0.103**	-0.046
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.004	0.123**	1	-0.118**	0.196**	0.003
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.021	0.132**	-0.118**	1	-0.324**	-0.043
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.125**	0.103**	0.196**	-0.324**	1	-0.036
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.159**	-0.046	0.003	-0.043	-0.036	1

** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

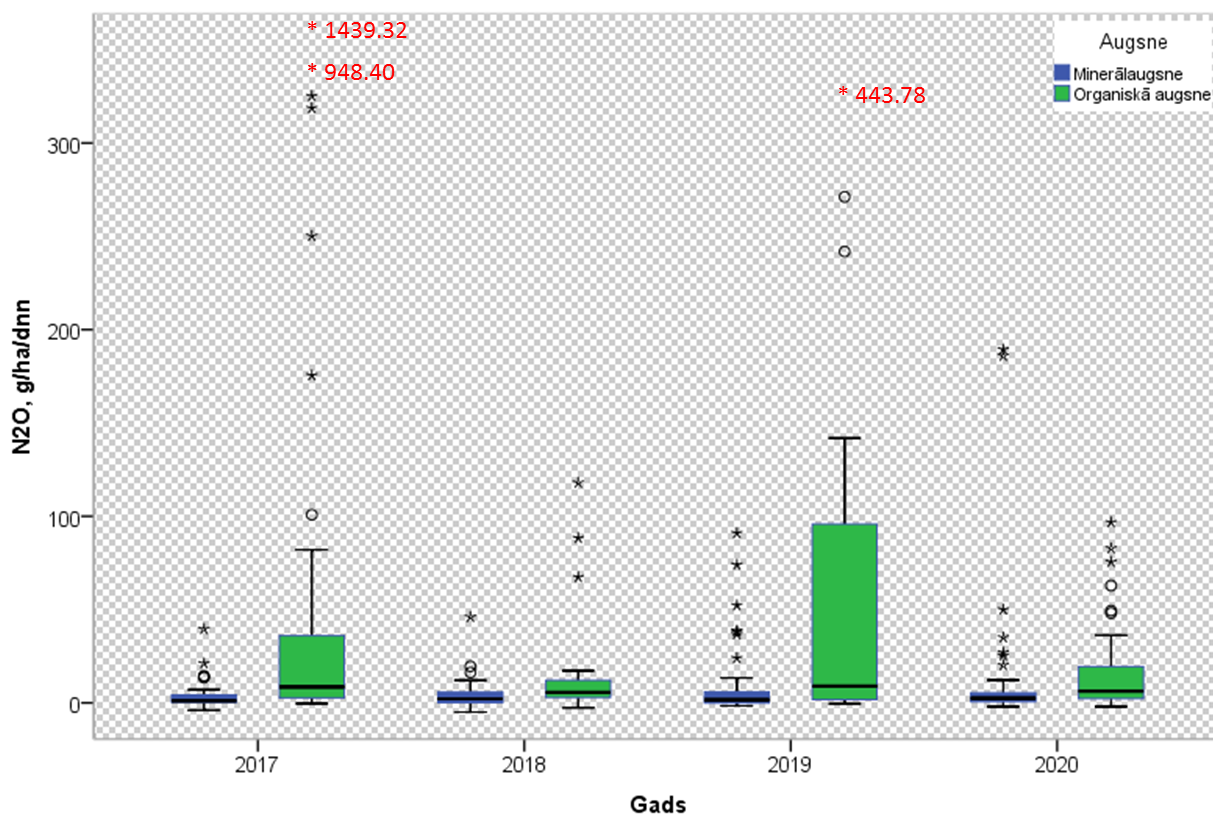
Analizējot organiskajās un minerālaugsnēs novērotās metāna emisijas no 2017. līdz 2020. gadam ir vērojamas augstākas mediānas vērtības organiskajās augsnēs, taču 2018. gadā ir vērojams pretējs efekts. 2017. gadā ir vērojamas ekstrēmi pozitīvas metāna emisiju vērtības organiskajās augsnēs, bet izteikti negatīvas ekstrēmas metāna emisijas vērtības minerālaugsnēs (skat. 25.att.).



25.att. CH₄ emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

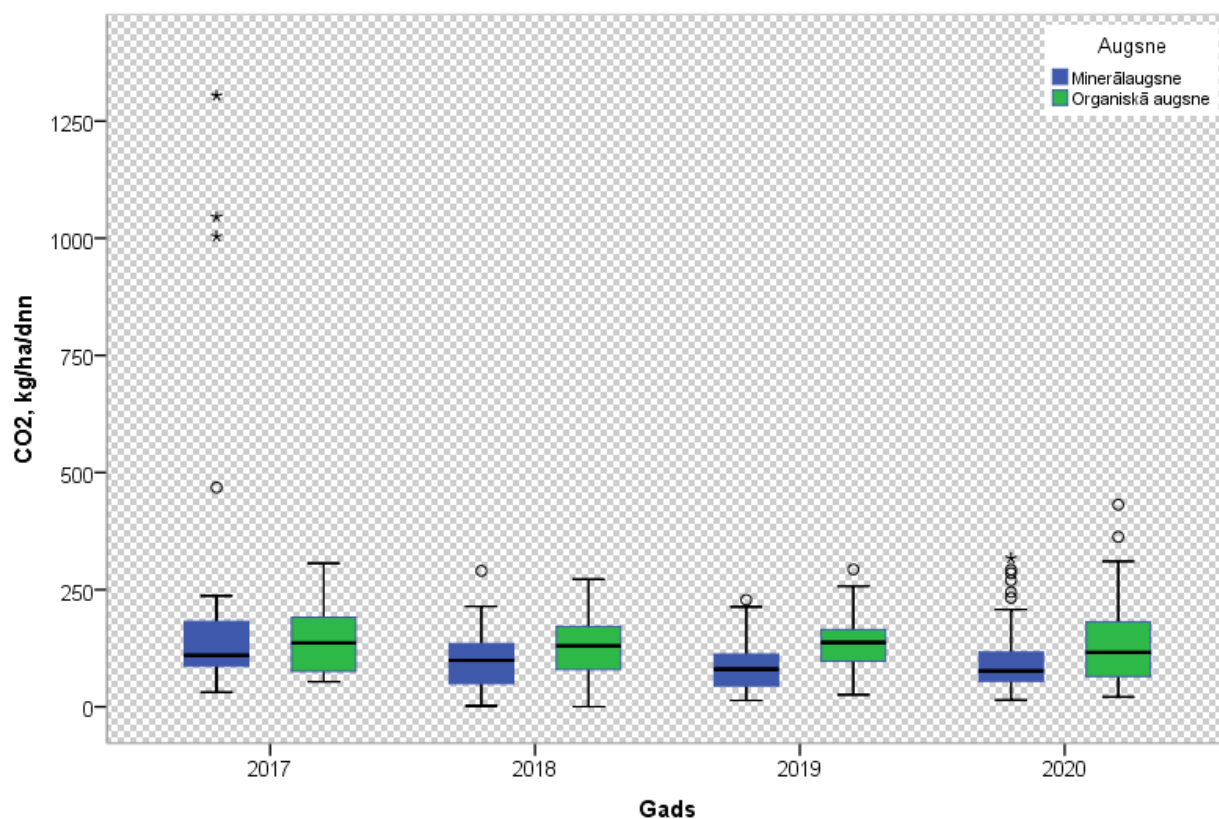
Analizējot dislāpekļa oksīda emisijas vērtības, organiskajās augsnēs ir vērojama izteiktāka dislāpekļa oksīda emisiju vērtību izkliede visos gados ar relatīvi izteiktāku pozitīvu mediānas vērtību, kur ekstrēmo maksimālo vērtību apjoms ir

izteikts 2017. un 2018. gadā. Organiskajās augsnēs novērotā maksimālā ekstrēmālā vērtība vairāk nekā 14 reizes pārsniedz minerālaugsnēs novēroto maksimālo dislāpekļa oksīda vērtību. 2020. gadā ir novērojamas augstākas ekstrēmās vērtības minerālaugsnēs nekā citos gados (skat. 26.att.).



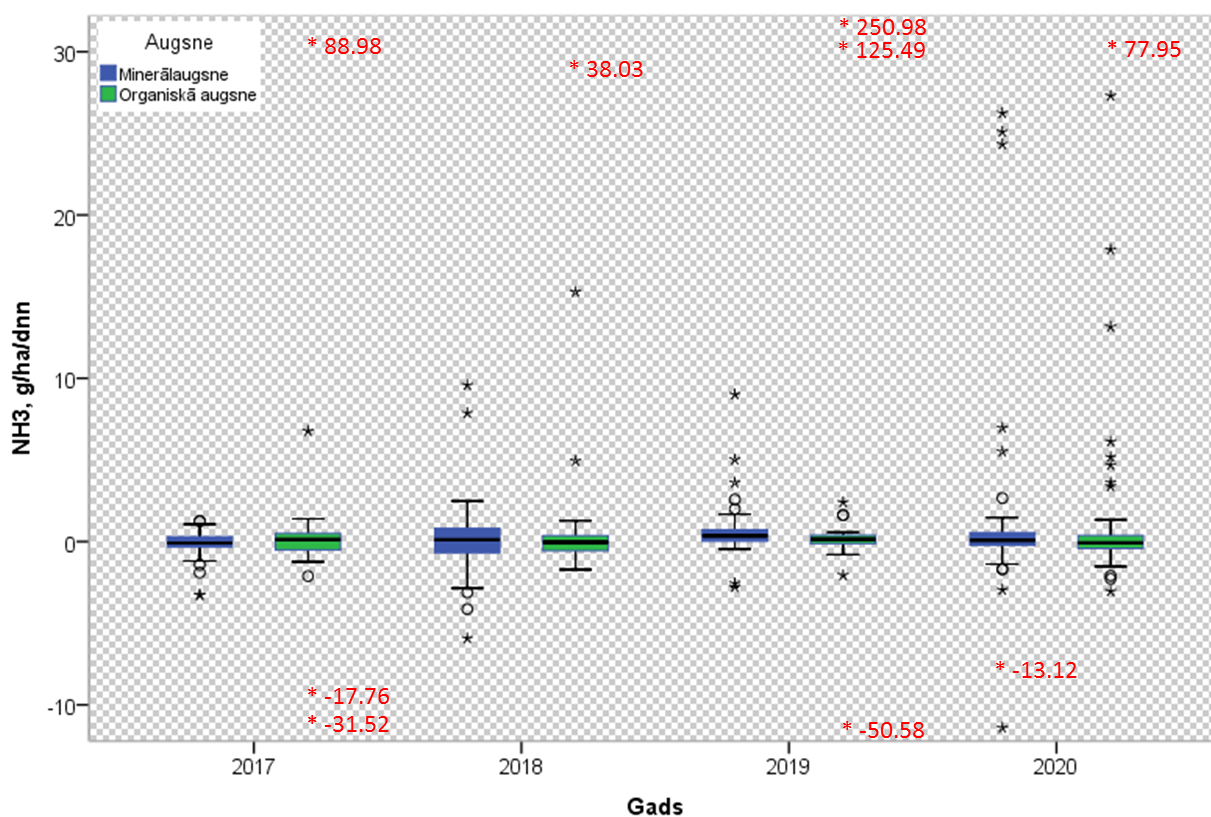
26.att. N₂O emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

Oglekļa emisiju vērtības minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs, vērtējot gadu griezumā, ir ar līdzīgu emisiju izkliedes amplitūdu. Īpaši jāpiemin, ka, neraugoties uz indikācijām, ka organiskajās augsnēs ir palielinātas ogļskābās gāzes emisijas, ekstrēmās maksimālās vērtības ir vairāk novērotas minerālaugsnēs, kur maksimālā ekstrēmā vērtība 2017. gadā vairāk nekā četras reizes pārsniedz 2018. un 2019. gadā novērotās maksimālās ogļskābās gāzes emisijas vērtības (skat. 27.att.).



27.att. CO₂ emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

Amonjaka emisiju mediānas vērtība 2017. gadā ir augstāka organiskajās augsnēs, bet 2018. gadā mediānas vērtības minerālaugsnēm ir ļoti tuvu organisko augšņu mediānai, bet 2019. un 2020. gadā organiskajās augsnēs mediānas vērtība ir nosacīti zemāka nekā minerālaugsnēs (skat. 28.att.).



28.att. NH₃ emisiju novērojumi minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm 2017., 2018. un 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

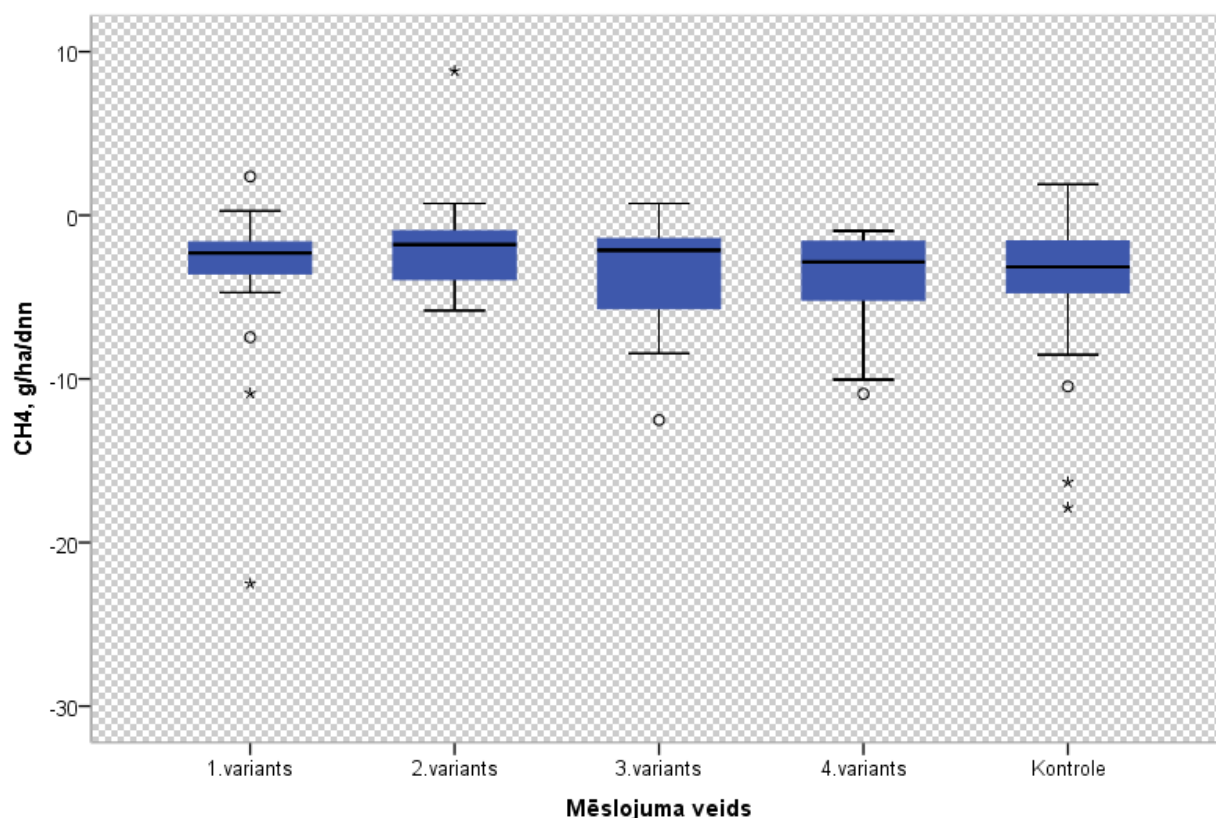
3.3. SEG mērījumu rezultāti dažādu slāpekļa saturošu mēslojumu izmēģinājuma vietā

CH₄ emisija, veicot mērījumus pētījumu vietā, bija ar negatīvu tendenci, kas arī atspoguļojas rezultātos (skat. 19. tab.un 29.att.) un norāda, ka augsnē ar optimālu mitruma daudzumu un pietiekamu skābekļa daudzumu, aktīvi ir mikroorganismi, kuriem ir nepieciešami aerobi apstākļi. Tie nerada metāna emisijas, bet patērē to metānu, kas ir gaisa sastāvā, tāpēc kamerā esošais metāna daudzums samazinās.

19. tab. CH₄ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.

CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kontrole	1.variants	2.variants	3.variants	4.variants
N	Valid	21	21	21	21	21
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		-4.462	-3.696	-1.767	-3.319	-3.805
Std. Error of Mean		1.095	1.107	0.666	0.689	0.654

CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kontrole	1.variants	2.variants	3.variants	4.variants
Median		-3.156	-2.297	-1.788	-2.136	-2.851
Std. Deviation		5.016	5.073	3.050	3.157	2.997
Variance		25.164	25.732	9.303	9.964	8.981
Minimum		-17.873	-22.512	-5.818	-12.511	-10.913
Maximum		1.901	2.369	8.822	0.722	-0.950
Percentiles	25	-4.906	-3.872	-3.938	-5.724	-5.950
	50	-3.156	-2.297	-1.788	-2.136	-2.851
	75	-1.565	-1.406	-0.696	-1.321	-1.517

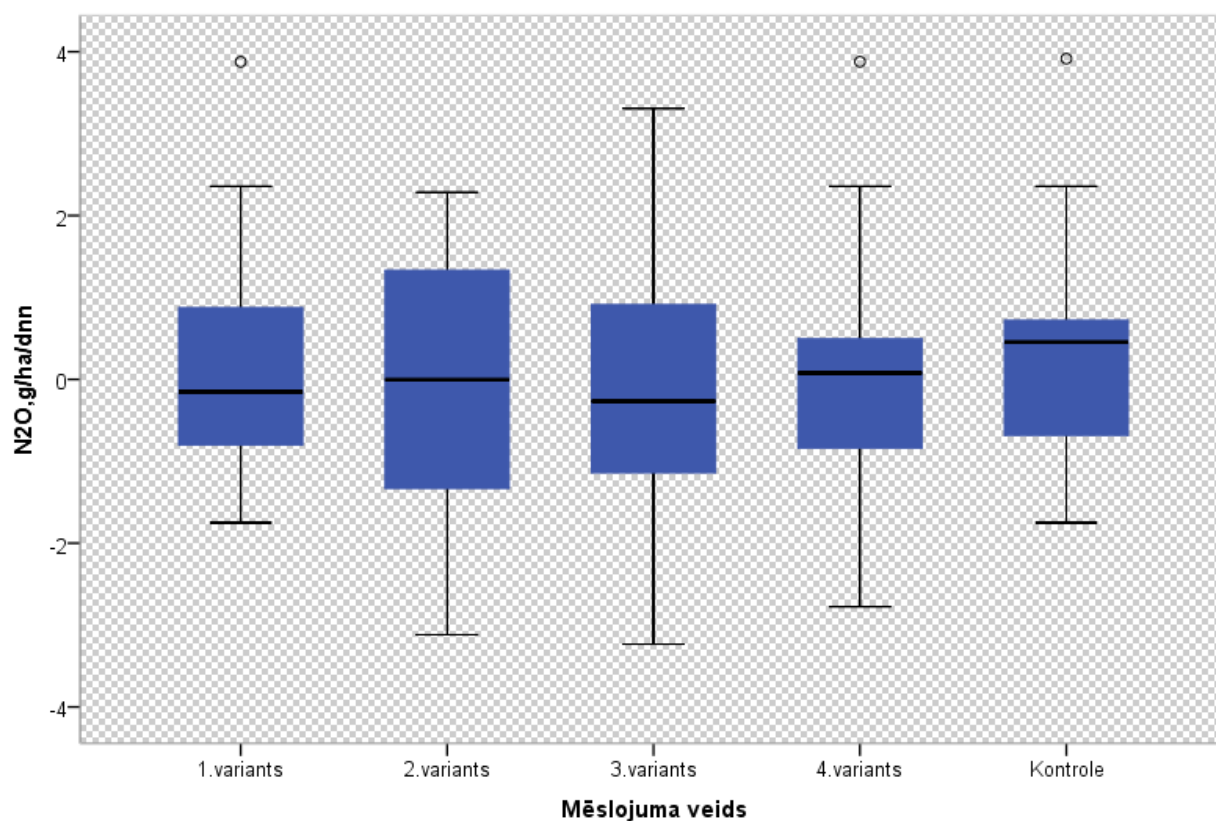


29.att. CH₄ emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.

Mērījumu rezultāti Pēterlauku minerālā rāda, ka N₂O koncentrācijas nozīmīgi atšķiras, salīdzinot mēslojuma variantus ar kontroli, kā arī nozīmīgi atšķiras emisija 2., 3. un 4. mēslojuma variantos ar emisiju kontroles un 1.varianta mēslojuma lauciņos. Vislielākā mērījumu rezultātu amplitūda ir novērojama 2. un 3. variantā, bet maksimālā vērtība tika novērota kontroles lauciņā. Visos variantos un kontroles lauciņā, kādā no mērījumu reizēm ir novērota arī N₂O asimilācija augsnē no gaisa (skat. 20. tab.un 30.att.).

20. tab. N₂O emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.

N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kontrole	1.variants	2.variants	3.variants	4.variants
N	Valid	21	21	21	21	21
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		0.264	0.156	-0.047	-0.190	-0.049
Std. Error of Mean		0.285	0.302	0.348	0.361	0.339
Median		0.456	-0.151	-0.002	-0.266	0.077
Std. Deviation		1.304	1.382	1.597	1.656	1.554
Variance		1.701	1.911	2.550	2.743	2.415
Minimum		-1.750	-1.750	-3.118	-3.233	-2.777
Maximum		3.917	3.878	2.282	3.307	3.878
Percentiles	25	-0.703	-0.913	-1.446	-1.540	-0.894
	50	0.456	-0.151	-0.002	-0.266	0.077
	75	0.780	1.159	1.408	0.950	0.666

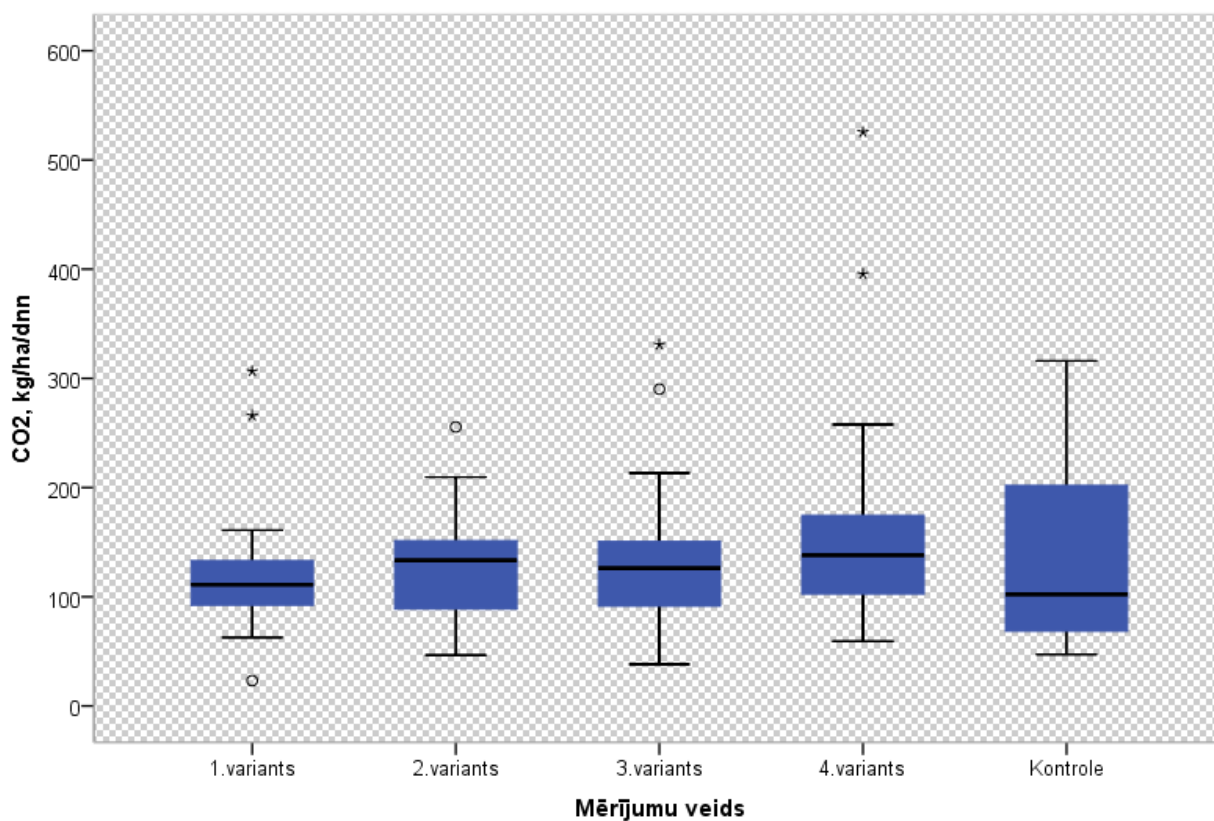


30.att. N₂O emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.

CO₂ emisijas izkliede ir lielāka kontroles lauciņā (skat. 21. tab. un 31.att.). Lielākā vidējā CO₂ emisijas vērtība ir novērojama 4.varianta mēslošanas lauciņā, bet mazākā vidējā vērtība ir novērota 1.variantā.

21. tab. CO₂ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.

CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kontrole	1.variants	2.variants	3.variants	4.variants
N	Valid	21	21	21	21	21
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		142.489	121.976	132.211	136.289	171.335
Std. Error of Mean		18.476	13.791	11.105	15.270	24.308
Median		102.293	111.039	133.475	126.250	138.038
Std. Deviation		84.666	63.198	50.889	69.978	111.394
Variance		7168.395	3993.968	2589.644	4896.879	12408.684
Minimum		47.078	23.197	46.621	38.179	59.322
Maximum		316.005	306.498	255.542	330.835	525.534
Percentiles	25	67.802	87.538	88.280	89.535	99.251
	50	102.293	111.039	133.475	126.250	138.038
	75	215.708	135.566	155.036	150.891	204.966



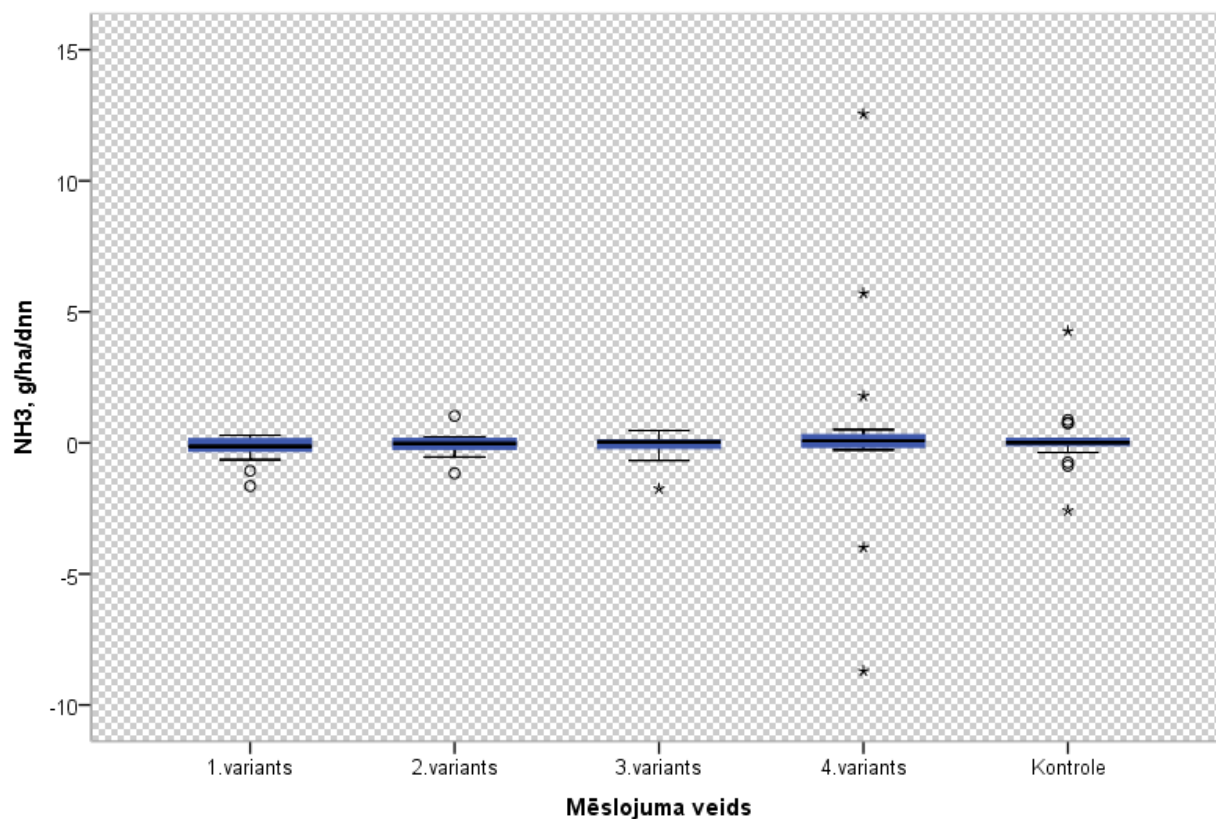
31.att. N₂O emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.

Amonjaka koncentrācijas visu mērījumu laiku bija svārstīgas, taču, kā redzams 22. tab., ir vērojamas atšķirības starp mēslošanas variantiem, piemēram, 4.varianta lauciņā un kontroles lauciņā ir novērotas ekstremālas vērtības. Negatīvas

amonjaka vērtības norāda uz augsnes aktīvā slāņa un veģetācijas iesaisti amonjaka patēriņā (skat. 32.att.).

22. tab. NH₃ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā Pēterlaukos.

NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kontrole	1.variants	2.variants	3.variants	4.variants
N	Valid	21	21	21	21	21
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		0.102	-0.209	-0.057	-0.107	0.402
Std. Error of Mean		0.259	0.101	0.089	0.103	0.820
Median		0.005	-0.132	-0.019	0.041	0.084
Std. Deviation		1.186	0.462	0.409	0.473	3.758
Variance		1.408	0.214	0.167	0.224	14.119
Minimum		-2.585	-1.646	-1.159	-1.750	-8.707
Maximum		4.260	0.293	1.027	0.470	12.550
Percentiles	25	-0.167	-0.349	-0.269	-0.222	-0.175
	50	0.005	-0.132	-0.019	0.041	0.084
	75	0.163	0.160	0.173	0.130	0.322



32.att. NH₃ emisiju novērojumi Pēterlaukos 2020. gadā.

SECINĀJUMI

1. Zemes izmantošanas veids un apsaimniekošana nosaka, vai organiskā augsne ir oglekļa krātuve vai emisiju radītājs. Nosusinātas organiskās augsnes ir galvenais SEG emisiju avots, jo lauksaimniecības vajadzībām izmantotajā organiskajā augsnē veidojas slāpekļa uzkrājums, kas izraisa augstas N_2O emisijas pēc lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas.
2. SEG emisiju mērījumu rezultātus ietekmē klimatiskie, hidroloģisko un ģeoloģiskie faktori, piemēram, gaisa temperatūra, augsnes temperatūra, augsnes mitruma daudzums, augsnes veids utt. Katra faktora svārstības diennakts griezumā atstāj ietekmi uz iegūto rezultātu.
3. SEG emisijas no augsnēm četru gadu griezumā parāda augsnes un audzēto kultūru ietekmi uz emisiju apjomiem, kā arī SEG emisiju mainīgo dabu klimatisko apstākļu ietekmē. Pētījuma rezultāti izgaismo augsnes mitruma režīma būtisko lomu SEG emisiju veidošanās procesā.
4. Nākotnes pētījumu virzieni būtu jāorientē SEG emisiju, augsnes granulometriskā sastāva, dažādu meliorācijas sistēmu elementu, augsnes apstrādes veida un mēslojuma savstarpējo sakarību pētījumiem, kas sniegtu fundamentālu pamatu klimata pārmaiņu samazinošo pasākumu identifikācijai un samazinošā efekta kvantifikācijai, kas ir īpaši aktuāli Klimata politikas kontekstā.
5. Meliorācijas sistēmu modernizācija un precīza darbība ir viens no galvenajiem stūrakmeņiem SEG emisiju samazināšanai, jo pētījums izgaismo augsnes mitruma režīma būtisko ietekmi uz emisiju apjomiem un augsnes mitruma optimizācijas nepieciešamību saskaņā ar augsnes granulometriskā sastāva īpatnībām, kas sevī no vienas puses ietver nosusināšanu pavasara mēnešos un intensīvu lietusgāžu gadījumā un no otras puses apūdeņošanu, kas ir vitāli nepieciešama optimālas ražas nodrošināšanai.

LITERATŪRAS AVOTI

- 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.
- 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.
- 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>
- 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., Kārkliņš A., Kļaviņš M., Melecis V., (2009). *Augsnes ilgspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga: Latvijas Universitāte.
- NIR (2019) Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol 1990 – 2017. Pieejams: <https://unfccc.int/documents/194812>
- Oertel, C., Matschullat J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde* 76 327–352.

- Roßkopf, N., Fell, H., Zeitz, J. (2015). Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena* 133 (2015) 157–170.
- 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.



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTA 2. DARBA UZDEVUMA IZPILDI

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

DARBA UZDEVUMS: Esošo meliorācijas sistēmu identifikācija un tehniskā stāvokļa novērtēšana, izmantojot ģeotelpisko informāciju

IZPILDĪTĀJI: Raitis Meļņiks
Jānis Ivanovs

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdīņš

Jelgava 2020

SATURS

1. Ievads.....	3
2. Materiāli un metodes	4
2.1. Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes novērtēšanas metodikas izstrādāšana un pielietojums.....	5
2.2. Prioritāri renovējamo vai rekonstruējamo meliorācijas sistēmu identificēšana	9
3. Rezultāti.....	12
3.1. Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes modelēšana un vizualizācija ietekmes uz hidroloģisko režīmu prognozēšanai	12
3.2. Prioritāri renovējamo meliorācijas sistēmu identificēšana.....	14
4. Diskusija	18
Secinājumi	20
Literatūras saraksts	21

ESOŠO MELIORĀCIJAS SISTĒMU IDENTIFIKĀCIJA UN TEHNISKĀ STĀVOKĻA NOVĒRTĒŠANA, IZMANTOJOT ĢEOTELPISKO INFORMĀCIJU

1. IEVADS

Informācija un zināšanas par grāvju tīklu, tā funkcijām, stāvokli un morfoloģiju ir nepieciešamas plūdu riska un sateces baseina apsaimniekošanas plānošanā. Līdz ar to, kvalitatīvi dati par hidrogrāfisko tīklu, tā stāvokli, caurtekām un savienojamību ir ļoti būtiski plānojot pasākumus ar mērķi pielāgoties klimata pārmaiņām un mazināt plūdu risku (Levasseur et al. 2014). Esošais grāvju tīkls ir būvēts atbilstoši normatīviem, kas atbilst meteoroloģiskajiem apstākļiem, kādi Latvijā valdīja pirms 50-100 gadiem, tādēļ ir būtiski precīzi novērtēt esošā grāvju tīkla piemērotību sagaidāmajām klimata izmaiņām. Grāvju un savienojumu ar pārējo hidrogrāfisko tīklu identificēšana var palīdzēt pieņemt lēmumus saistībā ar ūdens resursu apsaimniekošanu, kvalitātes kontroli un riskiem, kā arī šāda veida datus var izmantot vides procesu modelēšanā (Roelens et al. 2017). Grāvji samazina plūdu risku pavasara palu periodā, kā arī pēc intensīva lietus, uzkrājot sevī ūdeni un novadot to uz lejtecē esošiem ūdensobjektiem, kuros var veidoties pretējs efekts – pārplūšana, ja to kapacitāte vai notece ir ierobežota. Šī iemesla dēļ grāvjus un to elementus, piemēram, caurtekas nepieciešams uzturēt, nodrošinot to funkcionēšanu (Moussa et al. 2002).

Pētījuma mērķis ir veikt esošo meliorācijas tehniskā stāvokļa un apauguma novērtēšanu atsevišķās izmēģinājumteritorijās, uzmanību pievēršot meliorācijas sistēmu funkcionalitātes novērtēšanai, izmantojot ģeotelpisko informāciju.

Darba uzdevumi:

1. Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes novērtēšanas metodikas izstrādāšana un pielietojums.
2. Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes modelēšana (vizualizācija) ietekmes uz hidroloģisko režīmu prognozēšanai.
3. Metodikas izstrādāšana un pielietojums mērķtiecīgai prioritāri renovējamo vai rekonstruējamo meliorācijas sistēmu identificēšanai.
4. Secinājumu un ieteikumu sagatavošana par esošo meliorācijas sistēmu identifikācijas un tehniskā stāvokļa novērtēšanas metodikas izmantošanas iespējamību reģionālā un valsts mērogā un darba uzdevumu noteikšana turpmākajiem pētījuma posmiem.

2. MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma paraugteritorijas atrodas Latvijas dienvidu daļā, objektos, kuros izpēte veikta arī 2019. gada pētījuma posmā (2.1. att.). Tās izvietotas gan valsts nozīmes ūdensnoteku tuvumā (Mellupīte, Bērze), kā arī Ailes straucha un Tērvetes upes apkārtnē. Katra no pētījuma teritorijām ir 10 (Mellupīte) - 12 km² (Bērze, Ailes strauchs) plaša un sevī ietver dažādus vides fizikālos apstākļus un zemes lietojumveidus.



2.1. attēls. Pētījuma paraugteritorijas.

Digitālā reljefa modeļa (DEM) un digitālā virsmas modeļa (DSM) izveidei nepieciešamie LiDAR (Light detection and ranging) dati iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA). Izmantotajiem LiDAR datiem vertikālā precizitāte ir 12 cm un horizontālā precizitāte ir 36 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni pret Valsts ģeodēzisko tīklu). Minimālās prasības pret punktu blīvumu ir 4 p m⁻², un vidējais zemes punktu blīvums ir 1,5 p 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).

Lai iegūtu pēc iespējas aktuālākus datus par grāvju apaugumu un veģetācijas augstumu tajos, Bērzes paraugteritorijas pētījumu objektos 2020. gada septembrī veikta to apsekošana izmantojot dronu DJI Mavic 2. Tādā veidā iegūti augstas izšķirtspējas RGB attēli, lidojot 100 m augstumā, ar 80% attēlu savstarpēju pārklāšanos gan horizontāli, gan vertikāli, lai tos varētu apstrādāt fotogrammetriski. Iegūto attēlu apstrāde veikta Agisoft Metashape Pro programmā, iegūstot punktu mākoņus un, attiecīgi, fotogrammetriskus DSM ar horizontālo izšķirtspēju 0,1 m, kuru apstrāde veģetācijas augstuma analīzei veikta pēc tādiem pašiem principiem kā LiDAR datu analīze.

2.1. Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes novērtēšanas metodikas izstrādāšana un pielietojums

Hidroloģiskā modelēšana, lai novērtētu meliorācijas sistēmu funkcionalitāti veikta izmantojot GRASS GIS modelēšanas rīku *r.sim.water* (Mitasova et al. 2004), kura darbības princips ļauj modelēt nokrišņu virszemes plūsmu un akumulāciju, tādā veidā sniedzot priekšstatu par lietus ūdens uzkrāšanos, grāvjos un citās vietās, piemēram, līdzenumos, kur ir vāja vai traucēta dabiskā notece. Identificējams arī ūdens virszemes plūsmas pārvietošanās ceļš, tādā veidā ļaujot noteikt vietas, kur būtu vērtīgi veidot mikromeliorāciju vai lemt par augsnes erozijas novēršanas pasākumu ieviešanu. Modelis ņem vērā tādus faktorus kā reljefs, virsmas ekspozīcija, Maninga virsmas raupjuma koeficients atkarībā no zemes seguma veida, grunts infiltrācijas spēja (mm h^{-1}) un nokrišņu intensitāte (mm h^{-1}) ar laika izšķirtspēju. Modelī nav paredzēta iespēja integrēt evapotranspirāciju, tādēļ tā jāņem vērā interpretējot iegūtos rezultātus, atkarībā no zemes seguma veida un sezonas. Izmantojot šo rīku, var modelēt un vizualizēt situāciju jebkurā vietā, kur nav pieejamas hidroloģisko mērījumu datu rindas, balstoties uz meteostaciju datiem par nokrišņu daudzumu teritorijā.

Manninga virsmas raupjuma koeficientam nepieciešamie dati iegūti, klasificējot Sentinel-2 multispektrālās satelītainas, kuras uzņemtas 01.07.2019, ar ArcMap nepārraudzītās klasifikācijas rīku *Iso Unsupervised Classification*. Satelītainas klasificētas pēc zemes seguma veida 12 klasēs, izmantojot infrasarkanā, zaļā un zilā spektra kombināciju (B02, B03 un B08 kanāli). Manninga virsmas raupjuma vērtības, kuras attēlotas 2.2. attēlā, piešķirtas balstoties uz līdzīgos pētījumos izmantotām (2.1. tabula).

2.1. tabula

Maninga virsmas raupjuma koeficients (pēc van der Sande et al. 2003)

Zemes seguma veids	Maninga virsmas raupjuma koeficients
Parks/dārzs	0,1
Asfalts, bruģis	0,05
Atsegta augsne	0,05
Kāpas, smilts	0,12
Autoceļš	0,013
Labība, ziemājs	0,13
Zālājs, dabiska veģetācija	0,1
Jauktu koku mežs	0,18
Bieza mežaudze	0,2
Ūdens virsma	0,03

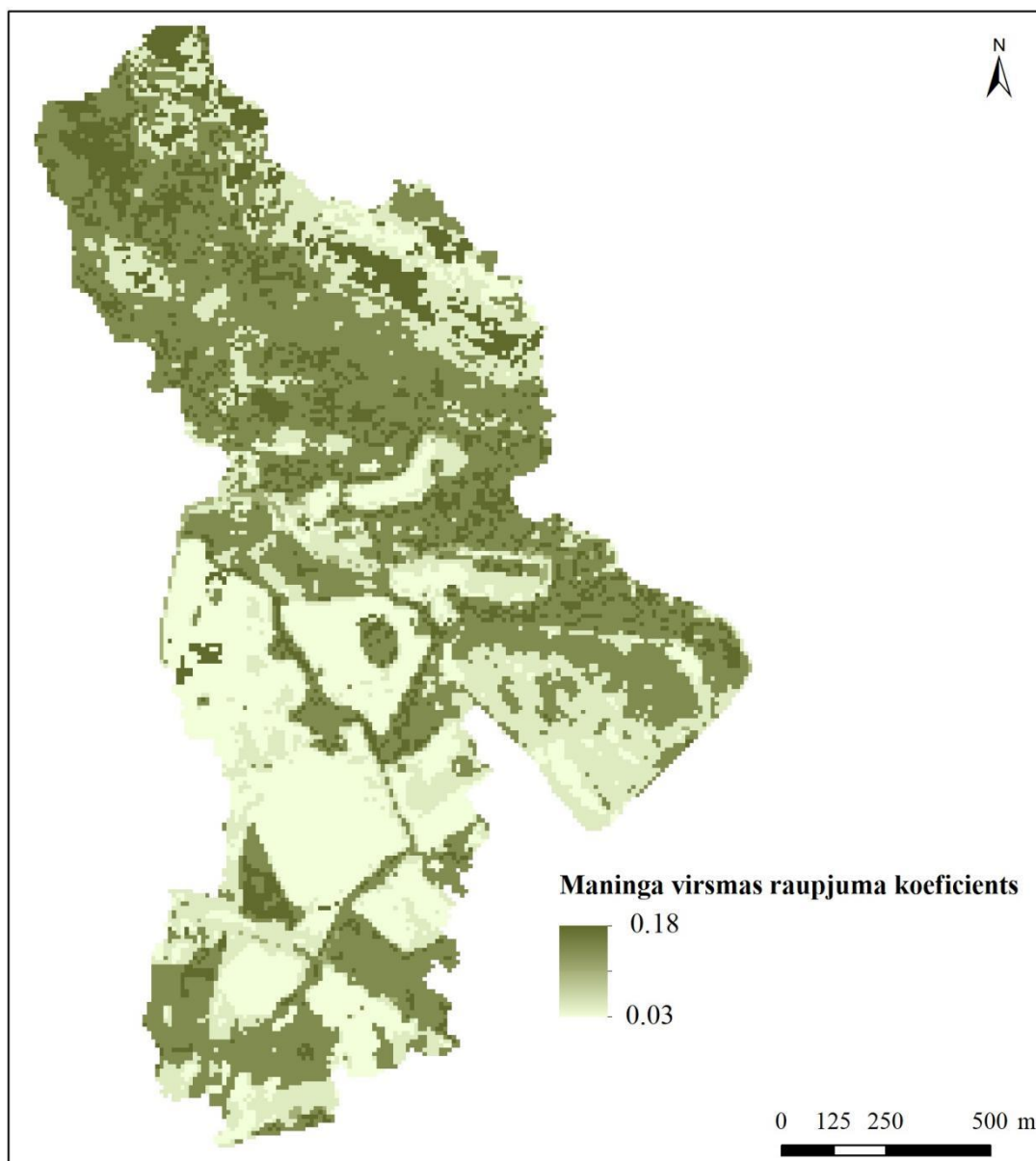
Grunts infiltrācijas spējas faktoram izmantota Kvartāra nogulumu karte (Meirons 2002), kurai, atkarībā no nogulumu veida un granulometriskā sastāva, piešķirta infiltrācijas spējas absolūtā vērtība balstoties uz vairāku pētījumu datiem (2.2 tabula).

2.2 tabula

Grunts infiltrācijas aptuvenās vērtības, mm h⁻¹ (pēc Suleiman 2008; Hwang et al. 2017).

Nogulumu veids	Aptuvenā infiltrācija, mm h ⁻¹
Māls	0,004 - 0,04
Smilšmāls	0,4 - 4
Mālsmilts	4,0 - 20,0
Aleirītisks māls, smilts	21,0 - 41,0
Smilts, smalkgraudaina	41,0 - 208,0
Smilts, vidējgraudaina	208,0 - 833,0
Smilts, rupjgraudaina	833,0 - 2083,0
Grants, oļi	2083,0 - 20833,0
Kūdra, atkarībā no sad. pak.	0,4 - 625,0

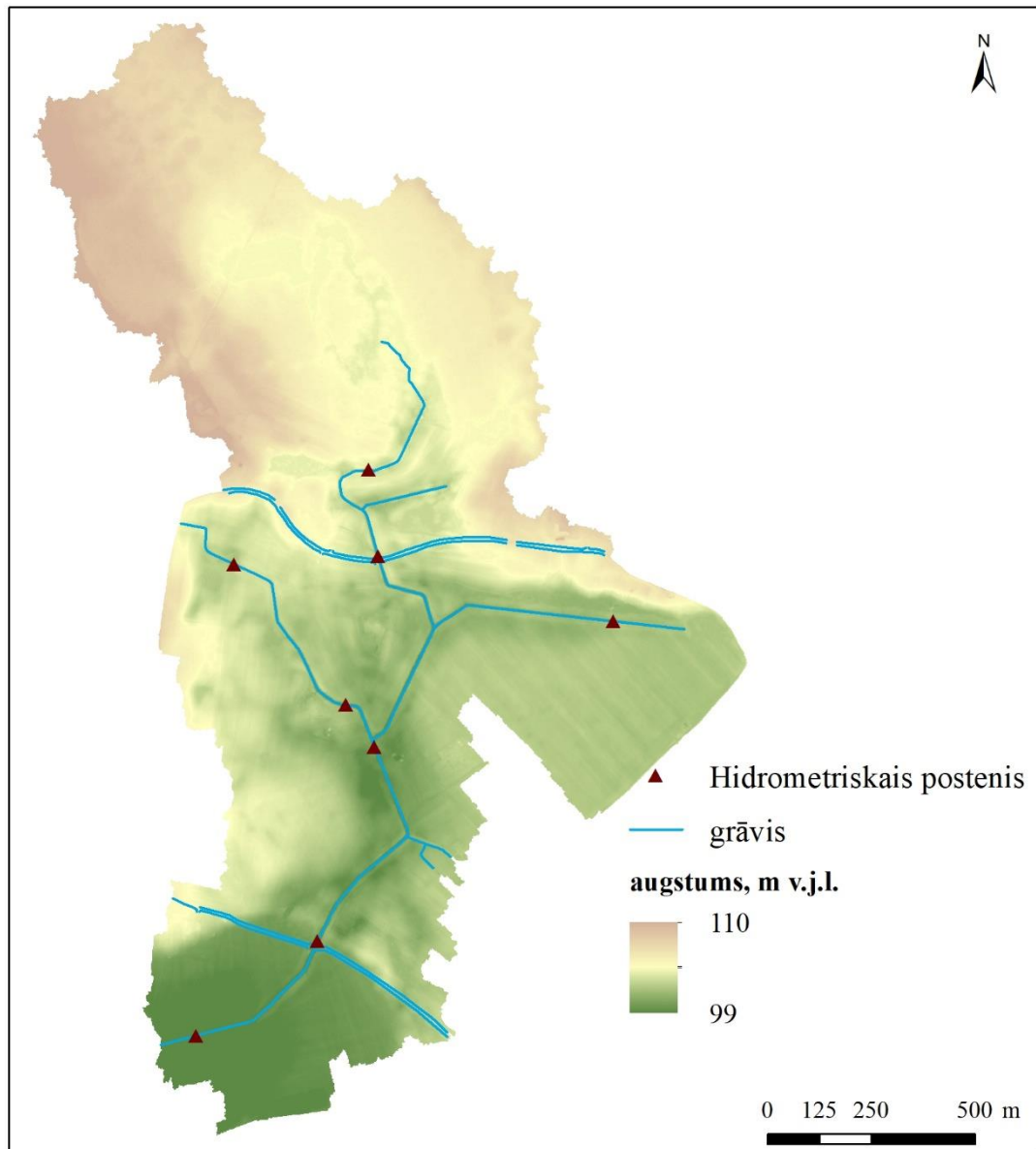
Modelēšanai izmantotās nokrišņu daudzuma vērtības iegūtas izmantojot VSIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” veidoto Klimata pārmaiņu analīzes rīku (LVĢMC 2017), kā arī ziņojumus par standartizētā nokrišņu daudzuma indeksa (SPI) pārmaiņu scenārijiem Latvijai (LVĢMC 2019) un klimata pārmaiņu scenārijiem Latvijai (LVĢMC 2017). Modelēšana veikta pie ekstrēmu nokrišņu daudzuma scenārija - 15 mm h^{-1} , 10 stundas.



1.1. attēls. Maninga virsmas raupjuma koeficienta kartes piemērs.

Modelēšana veikta pētījuma paraugteritorijās, izmantojot DEM ar 1 m horizontālo izšķirtspēju, grāvju sateces baseinu ietvaros, ņemot vērā, ka izmantotā modeļa darbība ir ierobežota 7 000 000 rastra šūnām. Sateces baseinu robežas iegūtas ar GRASS GIS rīku *r.watershed*. Augstuma modelis koriģēts ar iepriekšējās nodaļās aprakstītajām metodēm.

Nokrišņu ūdens uzkrāšanās grāvjos novērtēta izvietojot virtuālus hidrometriskos posteņus. Vienā paraugteritorijā kopā, pēc nejaušības principa izvēlētās vietās izvietoti 8 šādi posteņi, izmantojot iepriekšējās nodaļās iegūtos grāvju datus, kas attēlots 2.3. attēlā.



2.3. attēls. Grāvja sateces baseina piemērs.

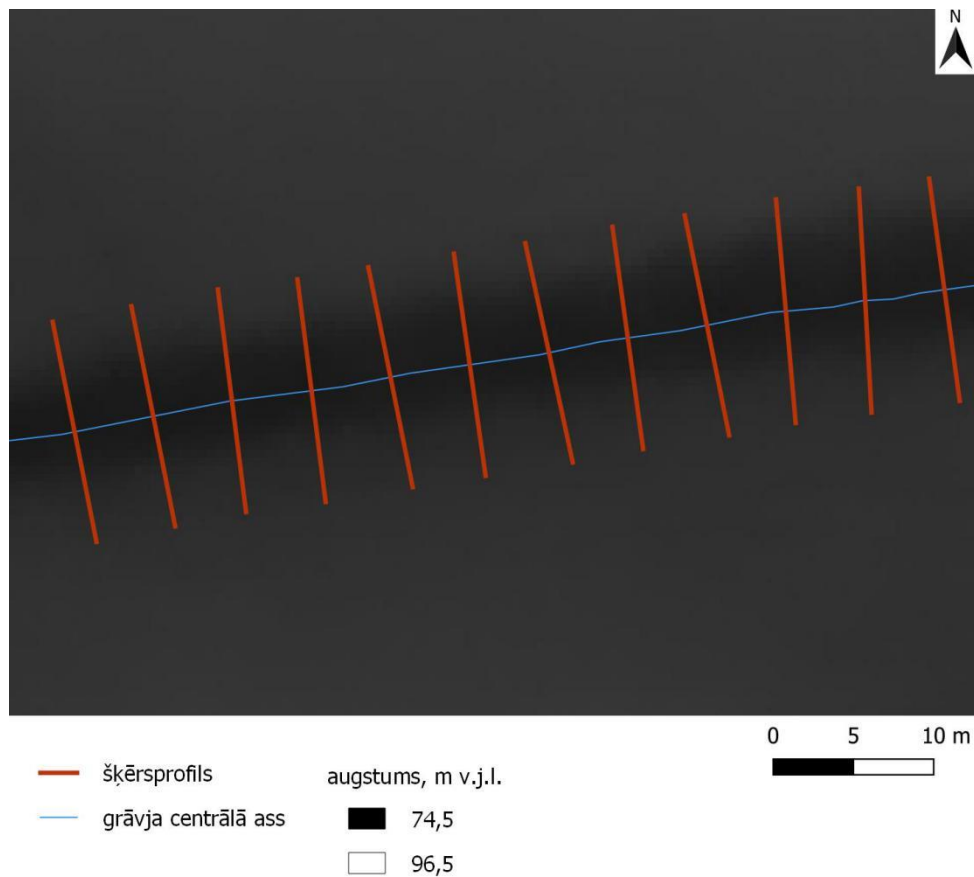
Ūdens uzkrāšanās un mitru augšņu izplatība beznoteces ieplakās reljefā, arī meliorācijas sistēmu kontekstā, analizēta jau iepriekš vairākos pētījumos Latvijā (Ivanovs, Lupikis 2018; Stals, Ivanovs 2019; Melniks et al. 2019).

2.2. Prioritāri renovējamo vai rekonstruējamo meliorācijas sistēmu identificēšana

Meliorācijas sistēmu klasifikācija pēc to tehniskā stāvokļa un apauguma veikta balstoties uz iepriekšējā pētījuma etapā iegūtajām atziņām un izmantojot metodi automātiskai grāvju tīkla identificēšanai. Izmantoti DEM un DSM ar 0,5 m izšķirtspēju, kuru analīze veikta, izmantojot iepriekš automātiski identificētu grāvju tīkla vektordatus. Lai spriestu par grāvju tīkla funkcionalitāti un prioritāri renovējamiem to posmiem, tieši tā pat kā iepriekšējā nodaļā, analīze veikta grāvju sateces baseinu ietvaros.

Izmantojot šādu pieeju, iegūstami trīs dažādi grāvja tehnisko stāvokli un apaugumu raksturojoši parametri – grāvja dziļums, grāvja dibena augstumatzīme un veģetācijas klātbūtne, tās augstuma klasifikācija. Šie trīs parametri ir iegūstami ar lietotāja izvēlētu soļa attālumu, kas šī pētījuma ietvaros ir 5 m.

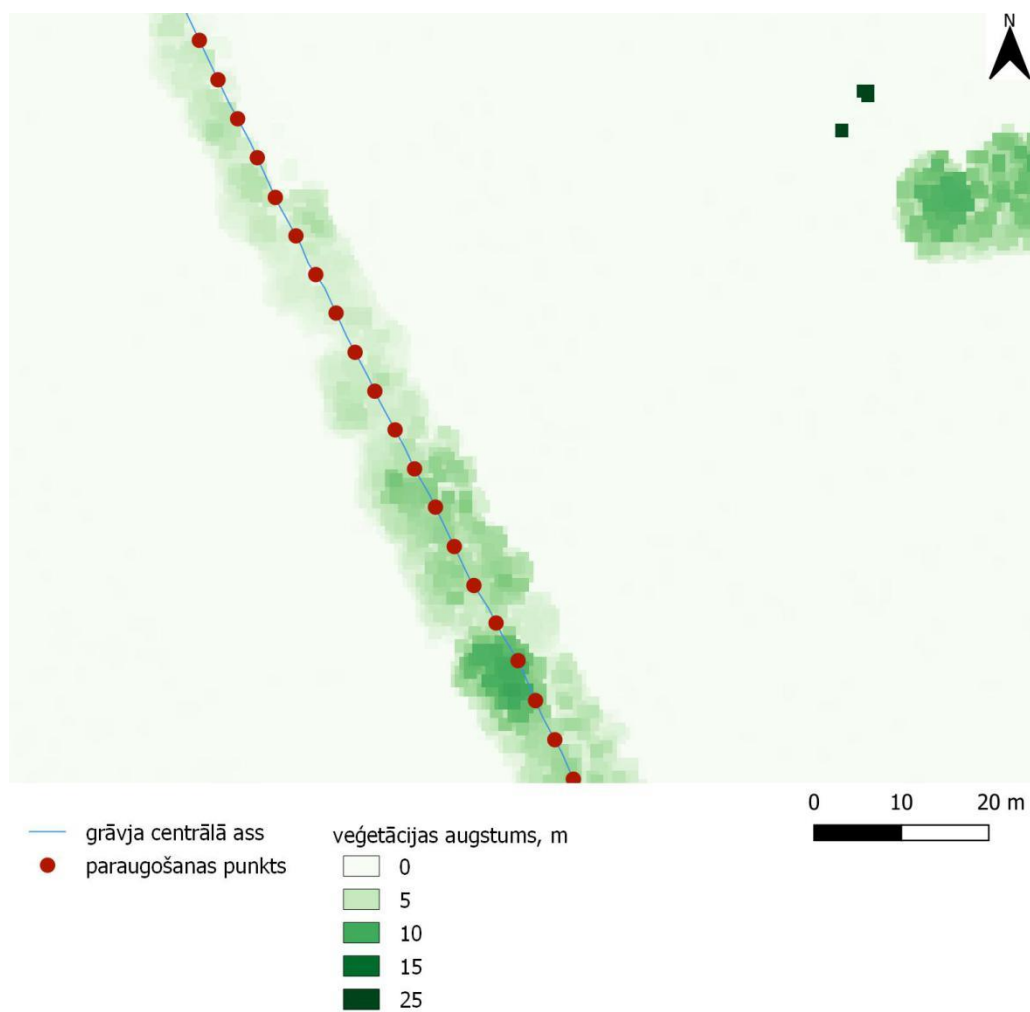
Lai novērtētu grāvju posmu dziļumu atšķirības visā to garumā, ar 5 m soli izvietoti virtuāli šķēršporfili, kuri sniedz informāciju par dziļāko vietu grāvī, kā arī par abu grāvju malu augstumu. Šīs darbība veikta izmantojot SAGA GIS rīku *Cross Profiles* QGIS vidē, kā ieejas datus izmantojot DEM un grāvju vektorus (2.4. att.). Izmantojot iegūto informāciju par grāvja dziļāko vietu un tā malas augstumu, grāvja dziļums aprēķināts, ņemot vērā tā zemāko malu. Katram grāvja objektam aprēķināts tā vidējais dziļums, kā arī dziļuma mediāna. Analīze veikta ņemot vērā šos divus rādītājus un grāvja aktuālā dziļuma nobīdi no tiem, katrā no šķēršprofiliem.



2.4. attēls. Šķēršprofilu izvietojuma grāvjos piemērs.

Grāvju apauguma un veģetācijas augstuma novērtēšanai nepieciešamais veģetācijas augstuma modelis (CHM) veidots GRASS GIS vidē, izmantojot LĢIA LiDAR datu klases 4 un 5, kurās iekļauta, attiecīgi vidēji augstā un augstā veģetācija. Ar vidēji augsto veģetāciju saprot apaugumu, kura augstums pārsniedz 0,3 m. Iegūtais CHM interpolēts izmantojot tuvākā kaimiņa metodi (*Nearest neighbor*) izmantojot GRASS GIS rīku *r.neighbors*.

Grāvju dibena augstumatzīme, veģetācijas klātbūtne un tās augstums vērtēts izmantojot QGIS rīku *Points along lines*, ar kura palīdzību uz grāvja centrālās ass izvietoti virtuāli paraugošanas punkti ik pēc 5 m. Izmantojot GRASS GIS rīku *v.waht.rast* šiem punktiem tiek piešķirtas DEM un CHM apkārt esošo četru šūnu vidējās vērtības. Tādā veidā iegūstama informācija gan par grāvja gultnes raksturlielumiem, gan veģetācijas augstumu grāvī un šo lielumu mainību konkrētos grāvju posmos (2.5. att.).



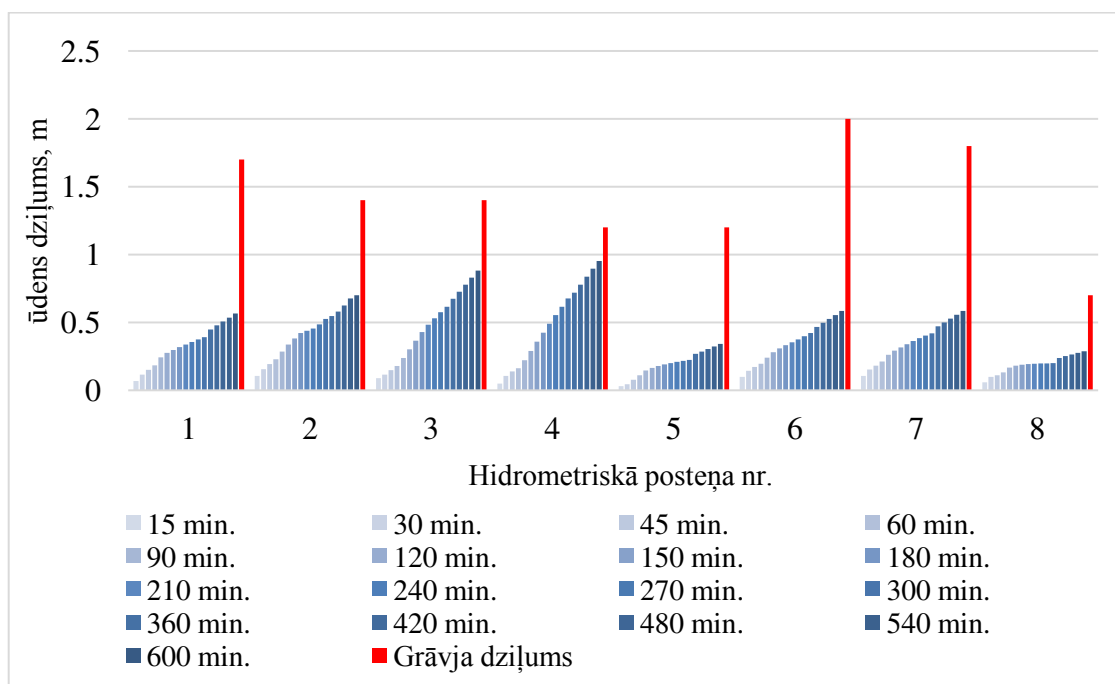
2.5. attēls. Veģetācijas augstuma novērtēšanas piemērs grāvjos.

3. REZULTĀTI

3.1. Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes modelēšana un vizualizācija ietekmes uz hidroloģisko režīmu prognozēšanai

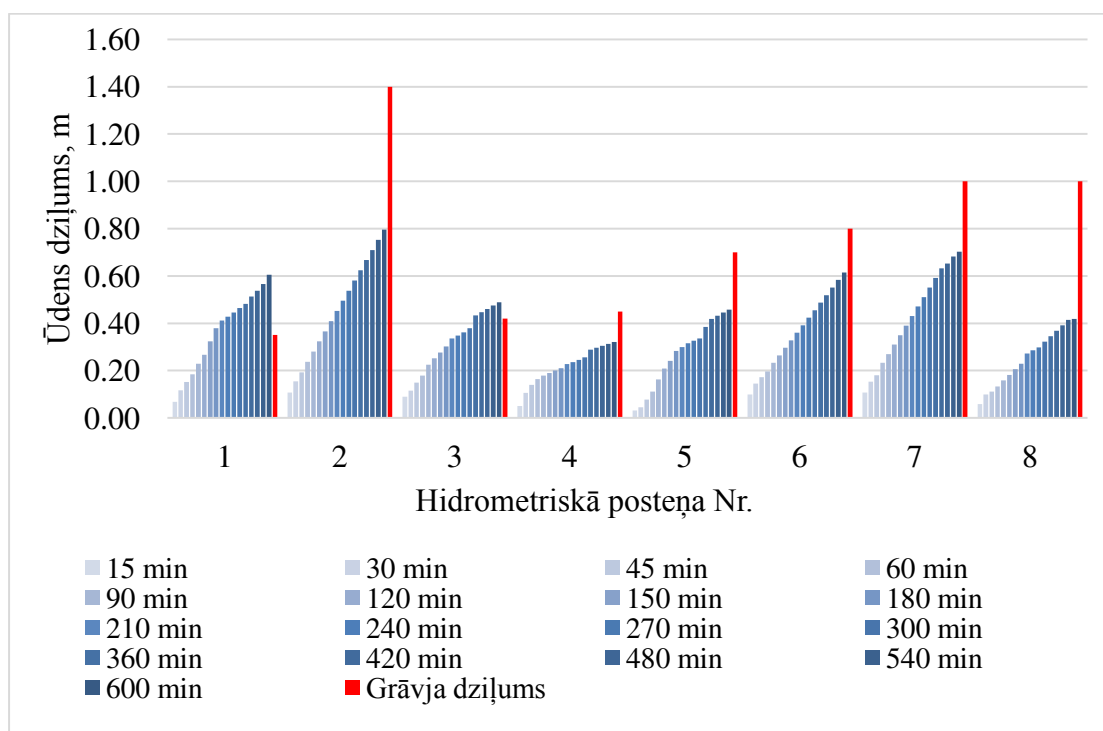
Meliorācijas sistēmu funkcionalitātes modelēšana un vizualizācija veikta divos grāvju sateces baseinos paraugteritorijās, visās modelēšanu veicot pie viena nokrišņu daudzuma (15 mm h^{-1}) un vienā laika intervālā (10 h). Modelēšanas rezultātā iegūtas nokrišņu ūdens dziļuma kartes, kurās, iepriekš izvietotajos virtuālajos hidrometriskajos posteņos veikts ūdens dziļuma pieraksts ik pēc 10 vai 15 minūtēm. Katrs postenis laika vienībā reprezentē vidējo ūdens dziļuma vērtību no tuvākajām četrām rastra šūnām, kas samazina varbūtību, ka postenis ir izvietots lokālā vienas šūnas pazeminājumā vai paaugstinājumā.

Mellupītes paraugteritorijā dominē lauksaimniecībā izmantojamās zemes, ar attiecīgi zemu virsmas raupjuma koeficientu un augsnes uz mālsmilts un smilšmāla cilmiežiem. Līdz ar to, secināms, ka šajā teritorijā nokrišņu ūdens aizture un infiltrācija ir zema un ir veicinoši apstākļi tā notecei uz beznoteces ieplakām un grāvjiem. Modelēšanas rezultāti parāda, ka ļoti stipru nokrišņu laikā grāvju maksimālā kapacitāte netiek sasniegta nevienā no posteņiem (3.1. att.). Ūdens dziļums, turpinoties nokrišņiem, pieaug visos posteņos, kas skaidrojams ar to, ka nokrišņu ūdens pieplūde ir straujāka nekā notece, vai arī grāvju tīklā ir kāds traucējums, piemēram, caurteka, kuru nav izdevies automātiski identificēt, līdz ar to arī koriģēt. Jāņem vērā arī tas, ka izmantotajā reljefa modelī caurtekas izmērs ir vienāds ar tā izšķirtspēju – 1 m.



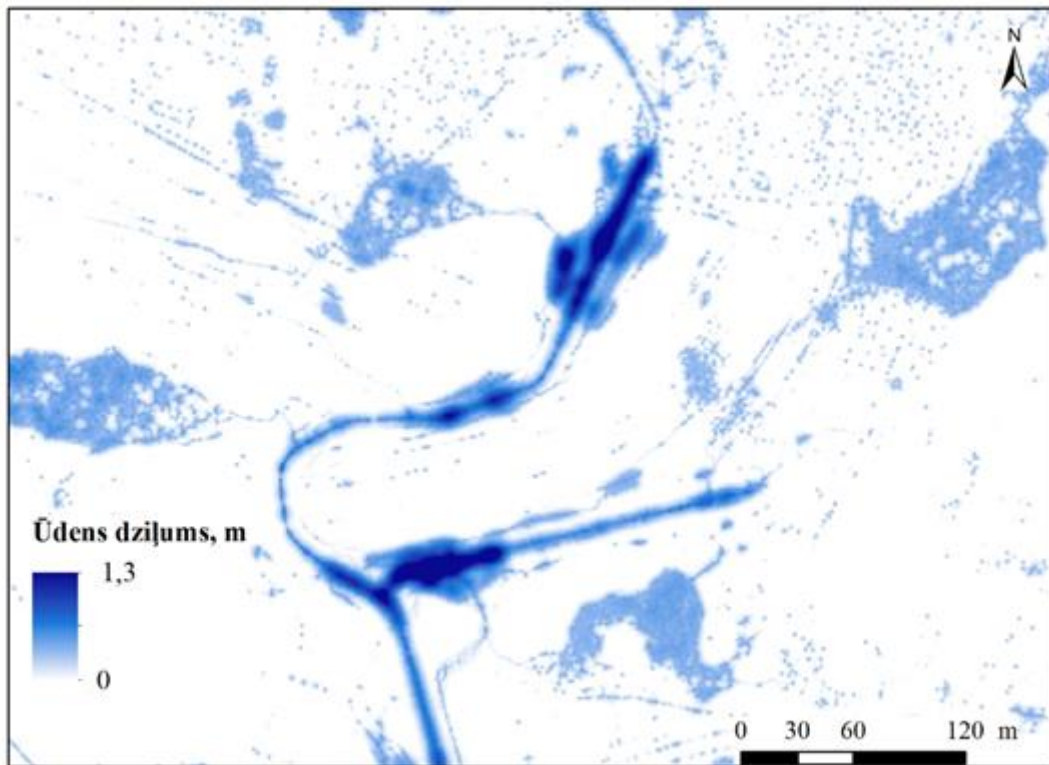
3.1. attēls. Ūdens dziļums hidrometriskajos posteņos Mellupītes paraugteritorijā.

Bērzes paraugteritorijā dominē lauksaimniecībā izmantojamās zemes un vides fizikālie apstākļi ir līdzīgi kā Mellupītes teritorijā. Šajā teritorijā vairākos posteņos grāvju maksimālā kapacitāte ekstrēmu nokrišņu laikā ir pārsniegta un notiek piegulošo teritoriju applūšana (3.2. att.). Šajā gadījumā jāņem vērā tas, ka posteņi ir izvietoti grāvjos, kuri ir ar ievērojami mazāku dziļumu, attiecīgi, arī caurplūdumu, nekā iepriekš aplūkotajā Mellupītes teritorijā, bet ūdens maksimālais dziļums ir līdzīgs.



3.2. attēls. Ūdens dziļums hidrometriskajos posteņos Bērzes paraugteritorijā.

Teritorijas daļa, kurā atrodas Bērzes paraugteritorijas hidrometriskais postenis Nr. 1, attēlota 3.3. attēlā. Šajā paraugteritorijā 6 no 8 posteņiem modelētais ūdens dziļums grāvjos ir tuvu maksimālajai kapacitātei un turpina pieaugt, vai to pārsniedz, kas ļauj secināt, ka šajā gadījumā virszemes notece grāvju tīklā ir traucēta un to ir izdevies konstatēt ar izvēlēto metodi.

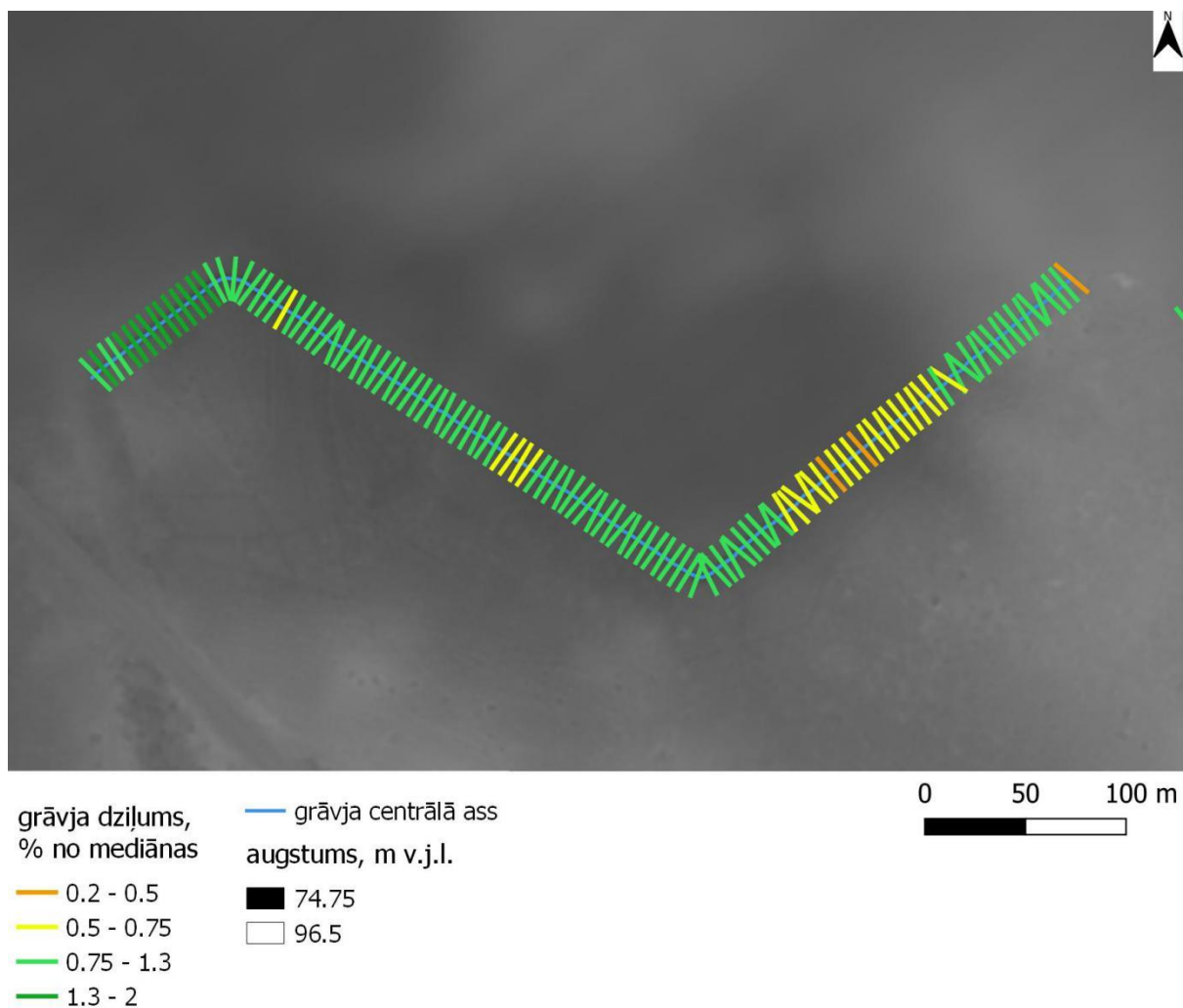


3.3. attēls. Modelētā (15 mm h^{-1} , 10 h) nokrišņu ūdens akumulācija Bērze teritorijā.

3.2. Prioritāri renovējamo meliorācijas sistēmu identificēšana

Meliorācijas sistēmu šķēršprofilu, apauguma un veģetācijas augstuma analīze veikta tajos pašos grāvju sateces baseinos, kuros iepriekšējā nodaļā analizēta grāvju funkcionalitāte ekstrēmu nokrišņu epizožu laikā. Šādas pieejas izmantošana ļauj minētos rādītājus aplūkot kontekstā vienam ar otru.

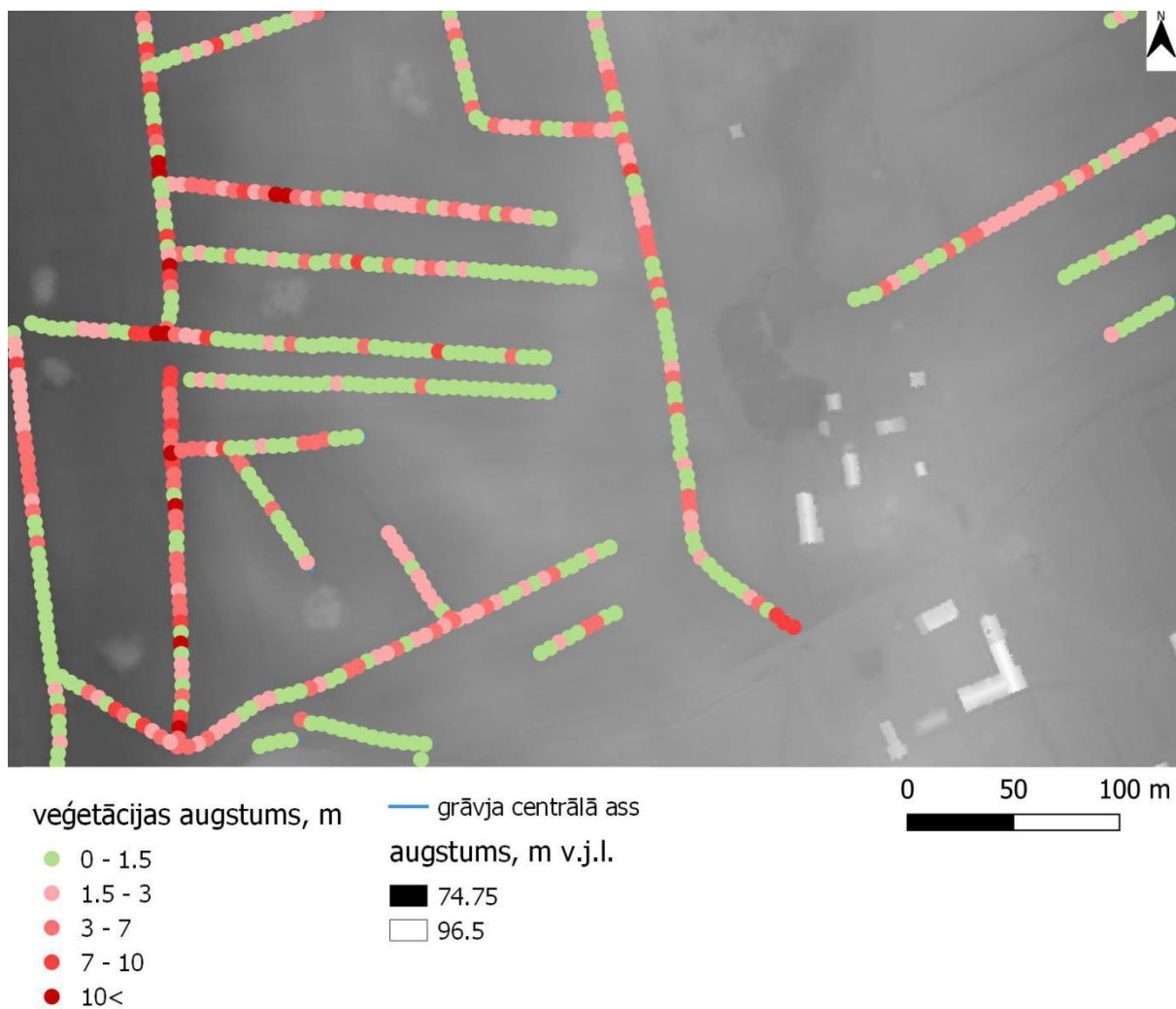
Iegūtie rezultāti par grāvju tehnisko stāvokli, analizējot to šķēršprofilus, liecina, ka negatīvas novirzes no vidējā dziļuma un dziļuma mediānas visos trīs pētījumu objektos ir līdzīgai daļai, jeb 20 – 25% no grāvju kopējā garuma (3.4. att.). Par negatīvu novirzi šajā gadījumā uzskatīts dziļums, kas ir par 25% zem objekta vidējās vērtības.



3.4. attēls. Grāvju šķēršprofilu analīzes vizuāls piemērs.

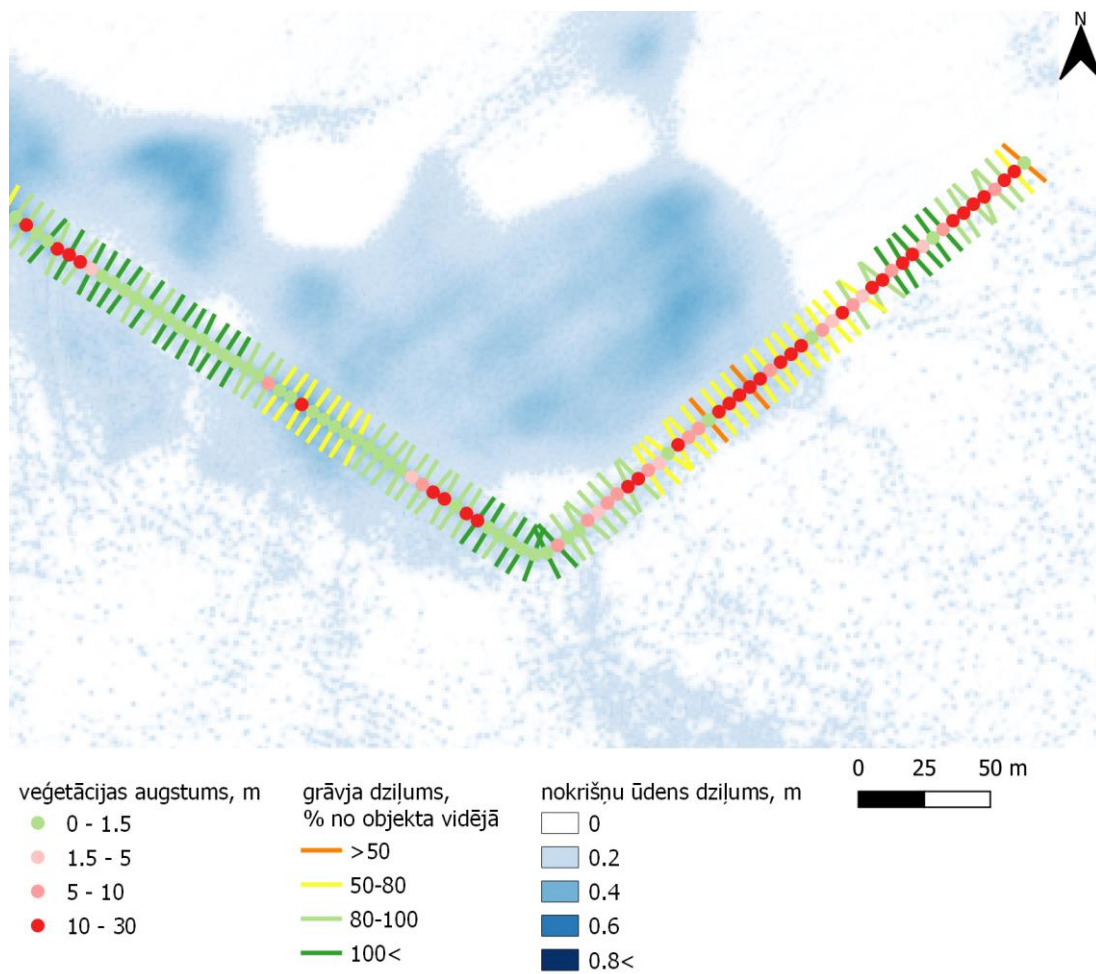
Analizējot grāvju apaugumu un veģetācijas augstumu grāvjos, iegūtie rezultāti norāda, ka visos trīs pētījumu objektos 30 – 45 % grāvju ir sastopama veģetācija, kura ir augstāka par 3 m un liecina, ka konkrētajos grāvju posmos varētu būt nepieciešama kopšana. Veģetācija, kura ir vismaz 5 m augsta, sastopama vidēji 25% analizēto grāvju (3.5. att.). Šajā gadījumā, jāņem vērā, ka izmantojot šādu pieeju, iespējams analizēt veģetācijas klātbūtni tikai lauksaimniecības zemēs esošajos grāvjos un izmēros lielos grāvju objektos.

Salīdzinot no LiDAR datiem iegūto veģetācijas augstumu grāvjos ar fotogrammetriski iegūtiem datiem, būtiskas atšķirības Bērzes paraugteritorijā nav konstatētas. Fotogrammetriski iegūtajos datos būtiskākās atšķirības saistāmas tieši ar zemās līdz vidējās veģetācijas, līdz 3 m augstumam, konstatēšanu, kas saistāms ar atšķirīgu datu iegūšanas laiku un sezonu.



3.5. attēls. Veģetācijas augstuma analīzes piemērs grāvjos.

Grāvju dziļuma novirzes no vidējiem rādītājiem kombinējot ar veģetācijas augstumu un modelēto nokrišņu ūdens uzkrāšanos tajos, vērojams, ka nav vērojamas izteiktas likumsakarības starp šiem trim rādītājiem, izņemot gadījumus, kad veģetācijas augstums ir 10 m un vairāk (3.6. att.). Piemēram, ja grāvja dziļums konkrētā posmā ir zem 50% no visa objekta vidējā, tas bieži vien nenorāda uz veģetācijas klātbūtni grāvī un otrādi, līdz ar to, uz šiem rādītājiem nepieciešams skatīties kompleksi, ņemot vērā arī apkārtējā reljefa īpašības un modelēto nokrišņu ūdens uzkrāšanos.



3.6. attēls. Attīrāma grāvja posma piemērs.

4. DISKUSIJA

Liela nokrišņu daudzuma modelēšana izmantojot ĢIS balstītus modeļus iepriekš veikta ASV, Ziemeļkarolīnas Univeristātē (Mitasova et al. 2004), kur izstrādāts arī šajā darbā izmantotais modelis SIMWE, jeb *r.sim.water*. Šajā pētījumā veikta modelēšana kalnainā reljefā izmantojot dažādas Maninga virsmas raupjuma koeficienta vērtības, kā arī infiltrācijas koeficientus, lai demonstrētu modeļa jutību uz to izmaiņām. Infiltrācijas un Maninga koeficienta vērtību telpisko izmaiņu ietekme uz ūdens plūsmas ātrumu un akumulāciju reljefā konstatēta arī šī pētījuma ietvaros. Pieaugot Maninga koeficientam, piemēram, mežā, konstatēta ūdens aizture, kas rezultējas zemākā ūdens līmenī grāvjos, nekā tas ir lauksaimniecības zemēs. Šajā gadījumā jāņem vērā tas, ka, izmantojot šo modeli, var analizēt tikai virszemes noteci un tās ietekmi uz ūdens daudzumu grāvjos, neņemot vērā gruntsūdeņus, t.i. simulācijas sākumā pieņemts, ka grāvji ir sausi.

Pētījumā ASV (Buchanan et al. 2011) analizēta ceļu malās esošo grāvju un lauksaimniecības grāvju ietekme uz kopējo notecei nelielā sateces baseinā. Konstatēts, ka gandrīz puse no nokrišņu ūdens noteces ir notikusi tieši caur grāvjiem. Uzsvērtā tieši grāvju tīkla blīvuma nozīme, secinot, ka tas ir būtiskāks faktors nekā grāvja dziļums. Pie līdzīga secinājuma ir nonācis arī R. Meļņiks savā iepriekšējā pētījumā (Melniks et al. 2019), kur analizēta mikromeliorācijas ietekme uz mitruma režīmu un beznoteces ieplaku nosusināšanu meža zemēs Latvijā.

Grāvju tehniskais stāvoklis, izmantojot attālās izpētes datus, raksturots vairākos pētījumos (Bailly et al. 2011; Hoorshay et al. 2015; Roelens et al. 2017). Visos šajos pētījumos, izņemot jau iepriekš minētos beļģu pētniekus (Roelens et al. 2017), salīdzināti dziļu grāvju šķērsprofili lauksaimniecības zemēs, bet šīs darbības veiktas manuāli, bez paša grāvju tīkla automatiskas identificēšanas. Iepriekš pieminētajā Francijā veiktajā pētījumā (Rapinel et al. 2015) grāvju morfometriskie parametri – dziļums un platums, izmantojot LiDAR datus, noteikts ar vidējo nenoteiktību, attiecīgi, 0,17 m un 0,27 m. Šajā gadījumā augstāku precizitāti ir sniegusi precīzāka topogrāfiskā uzmērīšana, izmantojot vairāk mērījumu punktus ar mazāku atstarpi starp tiem. Salīdzināms pētījums veikts arī Itālijā (Cazorzi et al. 2012), uz kura atziņām balstās arī iepriekš minētais pētījums Beļģijā (Roelens et al. 2018).

Būtisks faktors, kas jāņem vērā, salīdzinot šī pētījuma rezultātus ar jau iepriekš minētajiem pētījumiem Beļģijā (Roelens et al. 2017; Roelens et al. 2018), ir LiDAR punktu blīvums un iegūšanas princips. Šajā pētījumā izmantoti Latvijas Ģeotelpiskās Informācijas Aģentūras LiDAR dati, kuri iegūti plānveidā visai valsts teritorijai, turpretī Beļģu pētnieki

veikuši individuālos lidojumus ar bezpilota lidaparātu, iegūstot lielāku punktu blīvumu, kā arī multispektrālos un RGB attēlus, tādā veidā iegūstot plašākas interpretācijas iespējas grāvju apauguma un tehniskā stāvokļa novērtēšanā. Izmantotās metodes paver plašas iespējas grāvju klasificēšanā un raksturošanā, jo multispektrālās ainas sniedz iespēju aprēķināt dažādus veģetācijas un mitruma indeksus (*NDVI*, *GNDVI*, *SAVI*, *NDMI*, *NDWI*) u.c. (Hooshyar et al. 2015; Lallias-Tacon et al. 2017). Šādu datu ieguve, veģetācijas un mitruma indeksu aprēķināšana būtu ļoti būtiska arī R. Meļņika maģistra darbā veiktā pētījuma turpināšanā, jo tie, kombinācijā ar LiDAR datiem, sniedz plašas datu interpretācijas iespējas. Minēto datu kombinācija būtu vērtīga turpmākiem pētījumiem Latvijas mērogā izmantojama rīka un šajā pētījumā izstrādātās metodikas pilnveidei automātiskai grāvju klasifikācijai un tehniskā stāvokļa novērtēšanai.

SECINĀJUMI

1. Ūdens akumulācija ekstrēmu nokrišņu laikā grāvjos intensīvāk notiek lauksaimniecībā izmantojamās zemēs nekā meža zemēs. Būtiska ietekme virszemes ūdens noteci ir Maninga virsmas raupjuma koeficientam un tam, vai nokrišņu intensitāte pārsniedz augsnes infiltrācijas spēju.
2. Modelētajā ilgstošu, ekstrēmu nokrišņu scenārijā vairumā gadījumu grāvju maksimālā kapacitāte ekstrēmu nokrišņu laikā, vērtējot virszemes noteci, netiek sasniegta un grāvju tīkls modelēto izmēru sateces baseinos netiek pārslogots.
3. Modelējot iespējamo teritoriju applūšanu, tīkla savienojamībai un caurteku korektam izvietojumam ir būtiskāka ietekme nekā grāvju dziļumam, līdz ar to, klimata pārmaiņu adaptācijas kontekstā jākoncentrējas uz caurteku atjaunošanu un to caurlaidības palielināšanu.
4. Izmantojot LĢIA LiDAR datus un brīvpieejas ĢIS programmatūru, var identificēt grāvju posmus, kuriem ir novirzes no projektētā vai vidējā dziļuma grāvī, kā arī veģetācijas augstumu.
5. Fotogrammetrijas metode, izmantojot RGB attēlus digitālā virsmas modeļa iegūšanai, var būt noderīga ātrai datu ieguvei konkrētās teritorijās vai datu validēšanai, bet papildu RGB attēliem nepieciešams iegūt multispektrālos attēlus, tādā veidā iegūstot plašākas interpretācijas iespējas un informāciju par situāciju teritorijā.
6. Metodi ir lietderīgi pielietot grāvju sateces baseinu mērogā, tādā veidā identificējot aizsērējušus vai aizaugušus grāvju posmus, kuri var palielināt plūdu risku augštecē.
7. Izmantojot metodi nokrišņu epizožu modelēšanai kombinācijā ar metodi grāvju tehniskā stāvokļa identificēšanai, var identificēt prioritāri renovējamus grāvju posmus.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- Bailly, J.S., Levvasseur, F., Legacherie, P. 2011. A spatial stochastic algorithm to reconstruct artificial drainage networks from incomplete network delineations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13, 853-862.
- Buchanan, B., Easton, Z.M., Schneider, R.L. 2013. Modelling the hydrologic effects of roadside ditch networks on receiving waters. *Journal of Hydrology*, 486, 293-305.
- Cazorzi, F., Fontana, G.D., Luca, A.D., Sofia, G., Tarolli, P. 2013. Drainage network detection and assessment of network storage capacity in agrarian landscape. *Hydrol. Process.* 27, 541–553.
- Hooshyar, M., Seoyoung, K., Dingbao, W., Madeiros, S.C. 2015. Wet channel network extraction by integrating LiDAR intensity and elevation data. *Water Resources Research*, 51, 10029-10046.
- Hwang, H. T., Jeon, S. W., Suleiman, A., & Lee, K. K. 2017. Comparison of Saturated Hydraulic Conductivity Estimated by Three Different Methods. *Water*, 9(12), 942.
- Ivanovs, J., Lupiķis, A. 2018. Identification of wet areas in forest using remote sensing data. *Agronomy research* 16(5), 2049-2055.
- Lallias-Tacon, S., Liebault, F., Piegay, H. 2017. Use of airborne LiDAR and historical aerial photos for characterising the history of braided river floodplain morphology and vegetation responses. *Catena*, 149(3), 742-759.
- Meirons, Z. 2002. *Kvartāra nogulumu*. M 1:200 00. Valsts ģeoloģijas dienests.
- 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.
- Mitasova, H., Thaxton, C., Hofierka, J., McLaughlin, R., Moore, A., Mitas L., 2004. Path sampling method for modeling overland water flow, sediment transport and short term terrain evolution in Open Source GIS. *Proceedings of the XVth International Conference on Computational Methods in Water Resources (CMWR XV)*, June 13-17, 1479-1490.
- Rapinel, S., Hubert-Moy, L., Clément, B., Nabucet, J., Cudennec, C. 2015. Ditch network extraction and hydrogeomorphological characterization using LiDAR-derived DTM in wetlands. *Hydrol. Res.* 46, 276.

- Roelens, J., Dondeyne, S., Van Orshoven, J., Diels, J. 2016. Extracting cross sections and water levels of vegetated ditches from LiDAR point clouds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 53, 64-75.
- Roelens, J., Höfle, B., Dondeyne, S., Van Orshoven, J., Diels, J. 2018. Drainage ditch extraction from airborne LiDAR point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 146, 409-420.
- Stals, T., Ivanovs, J. 2019. Identification of wet areas in agricultural lands using remote sensing data. *Rural Development and Engineering*, 140-145.
- Suleiman, A. A. 2008. Modeling daily soil water dynamics during vertical drainage using the incoming flow concept. *Catena*, 73, 312–320.
- Van der Sande, C. J., de Jong, S. M., de Roo, A. P. J. 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, 217–22.
- VSIA Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. 2017. Klimata pārmaiņu scenāriji Latvijai. Ziņojums, Rīga.
- VSIA Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. 2019. Standartizētā nokrišņu daudzuma indeksa (SPI) pārmaiņu scenāriji Latvijai. Ziņojums, Rīga.



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTA 2.DARBA UZDEVUMA IZPILDI

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

DARBA UZDEVUMS: Esošo datu un pakalpojumu izpēte meliorācijas sistēmu
identifikācijai un tehniskā stāvokļa novērtēšanai,
izmantojot ģeotelpisko informāciju

IZPILDĪTĀJI: Laima Bērziņa

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2020

SATURS

Esošo datu un pakalpojumu izpēte meliorācijas sistēmu identifikācijai un tehniskā stāvokļa novērtēšanai, izmantojot ģeotelpisko informāciju	3
Copernicus misija un pakalpojumi	3
Copernicus zemes monitoringa pakalpojums	4
Piekļuve Copernicus datiem	5
Sentinel satelītu raksturojums	6
Sentinel-2 un Sentinel 3 iespējas	10
Programmatūra Sentinel datu analīzei.....	11
Piekļuve SENTINEL datiem	11
SENTINEL datu apstrādes metodika.....	13
SENTINEL datu apstrādes rezultāti.....	15
Mellupītes izmēģinājumteritorija.....	15
Ailes strauta izmēģinājumteritorija.....	15
Bērzes izmēģinājumteritorija	16
Secinājumi	17

ESOŠO DATU UN PAKALPOJUMU IZPĒTE MELIORĀCIJAS SISTĒMU IDENTIFIKĀCIJAI UN TEHNISKĀ STĀVOKĻA NOVĒRTĒŠANAI, IZMANTOJOT ĢEOTELPISKO INFORMĀCIJU

Copernicus misija un pakalpojumi

Copernicus ir 2014. gadā Eiropas Savienībā izveidota Zemes novērošanas un monitoringa programma, kura aizstāj iepriekšējo kosmosa programmu GMES. Copernicus šobrīd ir vērtējama kā lielākā Zemes novērošanas programma pasaulē, kuru koordinē un uzrauga Eiropas Komisija un īsteno Eiropas Savienība (ES) sadarbībā ar Eiropas Kosmosa aģentūru (EKA), Eiropas Meteoroloģisko satelītu izmantošanas organizāciju (EUMETSAT), Eiropas vidēja termiņa laika prognožu centru (ECMWF) un citām ES kosmosa nozares aģentūrām. Tā sniedz informācijas pakalpojumus, izmantojot Zemes novērošanas satelītu datus, kā arī datus no stacijām uz zemes, kas aprīkotas ar dažādiem sensoriem. Izmantojot iegūtos novērojumus, Copernicus pakalpojumi globālā mērogā piegādā gandrīz reāllaika datus, kurus var izmantot kā vietējām, tā arī reģionālām vajadzībām.

Pateicoties šo tehnoloģiju sniegtajām iespējām, Copernicus nodrošina aktuālu brīvpieejas informāciju un datus par sauszemes, saldūdeņu, jūras, okeānu ekosistēmām, atmosfēru, drošību, ārkārtas situācijām un klimata pārmaiņām, ko iespējams pielietot kā globālu, tā reģionālu jautājumu risināšanai. Lielu globālu datu apjomu, kas iegūti no satelītiem un mērīšanas sistēmām uz zemes, gaisā un jūrā lietotājiem ir brīvi pieejami (1.att. Copernicus pakalpojumi).



1.att. Copernicus pakalpojumi

Programmas Copernicus vajadzībām dati tiek iegūti no dažādiem avotiem, t. i., Zemes novērošanas satelītiem, in situ sensoriem un citām misijām, kas ļauj nodrošināt sekojošus pakalpojumus:

1. Copernicus Atmosfēras monitoringa pakalpojums (CAMS): nodrošina nepārtrauktu datu un informācijas plūsmu par atmosfēras sastāvu. Pakalpojums raksturo situāciju

reālajā laikā, spēj paredzēt izmaiņas tuvāko dienu laikā, kā arī konsekventi analizē pēdējo gadu laikā uzkrātos datus.

2. Copernicus Jūras vides monitoringa pakalpojums (CMEMS): nodrošina regulāru un sistemātisku informāciju par pasaules okeānu un Eiropas jūru ekosistēmu fizikālajiem rādītājiem, mainību un dinamiku. Novērojumi un prognozes sniedz informāciju visa veida jūras pielietojumiem.
3. Copernicus Zemes monitoringa pakalpojums (CLMS): piedāvā ģeogrāfisku informāciju par zemes segumu un ar to saistītajiem lielumiem, piemēram, veģetāciju vai ūdens aprites ciklu. Pakalpojumam ir plašs pielietojums, ieskaitot lauksaimniecībā.
4. Copernicus Klimata pārmaiņu pakalpojums (C3S): detektē vides un sociālos problēmjautājumus saistībā ar klimata pārmaiņām. Pakalpojums piegādā informāciju par klimata pārmaiņu monitoringa rezultātiem un paredzamajām sekām, tādējādi palīdzot tām pielāgoties, un iespēju robežās mazināt to ietekmi.
5. Copernicus Ārkārtas situāciju pārvaldības pakalpojums (CEMS): piegādā savlaicīgu un precīzu ģeotelpisko informāciju par dabas katastrofām, cilvēka izraisītām ārkārtas situācijām, humānajām krīzēm. Piegādātā informācija iegūta no satelītos bāzētas attālās izpētes, kā arī atvērtās pieejas lauka datiem.
(Avots: Copernicus servisi <https://www.copernicus.eu/en/services>)

Minētās programmas ietvaros ir izveidota zemes novērošanas satelītu flote Sentinel. Pirmais flotes satelīts Sentinel-1A orbītā nonāca 2014. gadā, bet līdz 2030. gadam plānots orbītā kopumā nogādāt 20 Sentinel satelītus. Zemes novērošanas satelīti, kas nodrošina datus, ko izmanto Copernicus pakalpojumi, ir iedalāmi divās misiju grupās:

- **Sentinel satelīti**, kas speciāli izstrādāti programmas Copernicus vajadzībām. Sentinel-1, -2, -3 un -6 ir specializēti satelīti, savukārt Sentinel-4 un -5 ir instrumenti, kas uzstādīti uz EUMETSAT laikapstākļu novērošanas satelītiem.
- **Papildinošās misijas**, kuras vada valstu, Eiropas vai starptautiskās organizācijas.

Eiropas Kosmosa aģentūra (EKA) atbild par programmas Copernicus kosmosa segmenta komponenta attīstību un vada satelītus Sentinel-1, Sentinel-2 un Sentinel-5P. EKA nodrošina arī Sentinel-3 zemes misiju. EUMETSAT atbild par Sentinel-3 satelītu vadību un jūras misijas nodrošināšanu un vadīs un nodrošinās arī produktus, kas iegūti no Sentinel-4 un -5 instrumentiem, kā arī Sentinel-6 satelītiem. (Avots: Copernicus infrastruktūra <https://www.copernicus.eu/lv/par-copernicus/infrastruktura>)

Copernicus zemes monitoringa pakalpojums

Copernicus zemes virsmas monitoringa pakalpojums (CLMS) sniedz ģeogrāfisko informāciju par zemes segumu un tā pārmaiņām, zemes izmantojumu, veģetācijas stāvokli, ūdens aprites cikla un zemes virsmas enerģijas mainīgajiem lielumiem Eiropā un visā pasaulē. Pakalpojums atbalsta lietojumus dažādās jomās, piemēram, teritorijas un pilsētu plānošana, mežu apsaimniekošana, ūdens resursu apsaimniekošana, lauksaimniecība un pārtikas nodrošinājums, dabas saglabāšana un atjaunošana, lauku attīstība, ar ekosistēmām saistītā

uzskaite un klimata pārmaiņu mazināšana / pielāgošanās klimata pārmaiņām. CLMS kopīgi īsteno Eiropas Vides aģentūra un Eiropas Komisijas ĢD Kopīgais pētniecības centrs (JRC), un tas darbojas no 2012. gada. Pakalpojuma nodrošināšanai pamatā kopš 2019. gada tiek izmantoti Copernicus Sentinel-2 dati.

CLMS iekļauj piecus galvenos komponentus.

1. Sistemātiska biofizikālo parametru novērošana nodrošina kvalificētus bioģeofizikālos produktus par zemes virsmas stāvokli un attīstību. Tie tiek nodrošināti pasaules mērogā ik pēc desmit dienām ar vidēju telpisko izšķirtspēju, un tos papildina ilgtermiņa temporālā sērija. Produktus izmanto, lai novērotu veģetāciju, kultūraugus, ūdens aprites ciklu, enerģētisko budžetu un sauszemes kriosfēras mainīgos lielumus.
2. Zemes seguma un zemes izmantojuma kartogrāfija sniedz zemes seguma dažādu detalizācijas pakāpju klasifikāciju kā Eiropas, tā pasaules kontekstā. Eiropas mērogā šo klasifikāciju papildina detalizēti zemes seguma raksturlielumu slāņi, piemēram, necaur laidība, meži, zālāji, ūdenstilpes un mitrums, mazo kokaugu pazīmes. Pasaules mērogā zemes seguma kartējumā ir ievērota FAO modulāri hierarhiskā zemes seguma klasifikācijas sistēma.
3. Karsto punktu (*hotspot*) tematiskās kartēšanas nolūks ir sniegt pielāgotu un detalizētu informāciju par konkrētām teritorijām, kurās pastāv ar vidi saistītas problēmas.

(Avots: Copernicus pakalpojumi <https://www.copernicus.eu/lv/pakalpojumi/zeme>)

Piekļuve Copernicus datiem

Divus galvenos Copernicus satelītu datu piekļuves punktus pārvalda EKA, iekļaujot Copernicus atvērto piekļuvi, un piekļuvi Copernicus kosmosa komponenta datiem. Copernicus atvērtās piekļuves centrs ir portāls, kas nodrošina piekļuvi Sentinel datiem, izmantojot divu veidu saskarnes: interaktīvo grafisko saskarni un API (lietotņu saskarnes). Abu veidu saskarnes nodrošina lietotājam iespēju iestatīt dažādus parametrus (ģeogrāfiskā zona, laiks, produkta veids u. c.), lai precizētu meklēšanu produktu arhīvā. Portāls arī nodrošinās piekļuvi datiem, kas tiks ģenerēti nākamajās Sentinel misijās, tiklīdz tie būs pieejami.

Piekļuve Copernicus kosmosa komponenta datiem (CSCDA) ir portāls, kas nodrošina piekļuvi papildinošām misijām, kuras programmai Copernicus tiek nodrošinātas atbilstīgi komerciāliem nosacījumiem, tāpēc saskaņā ar licences tiesībām tiesības piekļūt šādiem datiem un tos lejupielādēt ir tikai valsts iestādēm, Eiropas projektiem un Copernicus pakalpojumiem.

Divus Copernicus satelītu datu piekļuves punktus pārvalda EUMETSAT, tie ir EUMETCast un tiešsaistes piekļuve Copernicus datiem CODA. Visus vides datus, neatkarīgi no formāta, var izplatīt ar EUMETCast. Platforma nodrošina vairāk nekā 380 produktu kopumus, tostarp EUMETSAT satelītu datus, Copernicus jūras un atmosfēras datus, kā arī daudzveidīgu trešo personu produktu klāstu. Tīmekļa pakalpojums Sentinel-3 CODA (tiešsaistes piekļuve Copernicus datiem) piedāvā bezmaksas un atvērto piekļuvi Sentinel-3 produktiem,

izmantojot plūstošu 12 mēnešu arhīvu ar piekļuvi 1. un 2. līmeņa jūras datiem dažādos latentos stāvokļos (Real-Time, Short Time Critical, Non Time Critical). Piekļuve tiek nodrošināta vai nu no CODA lietotāja saskarnes, vai no CODA lietojumprogrammas saskarnēm. Lietotāja, kā arī lietotņu saskarne ļauj iestatīt dažādus parametrus (ģeogrāfiskā zona, laiks, produkta veids u. c.), lai uzlabotu meklēšanu produktu arhīvā. Ja lietotājam vajadzīgi dati, kas ir vecāki par gadu, var izmantot EUMETSAT datu centru.

Pašreiz papildus piekļuvei Copernicus pakalpojumu platformām, ko uztur dažādas deleģētās struktūras, galveno satelīta datu piekļuves kanālu veido četri EKA centri:

- 1) Copernicus Atvērtas piekļuves centrs (COAHub), agrāk saukts par Zinātnisko centru;
- 2) Copernicus Pakalpojumu datu centrs (ServHub), agrāk saukts par CopHub, pieejams tikai Copernicus pakalpojumiem un Eiropas iestādēm;
- 3) Sadarbīgo datu centrs (ColHub), pieejams valstīm, kas iesaistītas GMES kosmosa komponenta (GSC) darbībā un Copernicus programmā, ja ir parakstīts nolīgums ar EKA par sadarbīgu zemes segmentu;
- 4) Starptautiskas piekļuves centrs (IntHub), pieejams starptautiskajiem partneriem, kas ir noslēguši vienošanos.

Kopumā var vērtēt, ka interesentiem brīvi ir pieejami 4 datu piekļuves punkti:

- divus no tiem pārvalda EKA - COAHub un CSCDA;
- divus no tiem pārvalda EUMETSAT - EUMETCast un CODA.

Sentinel satelītu raksturojums

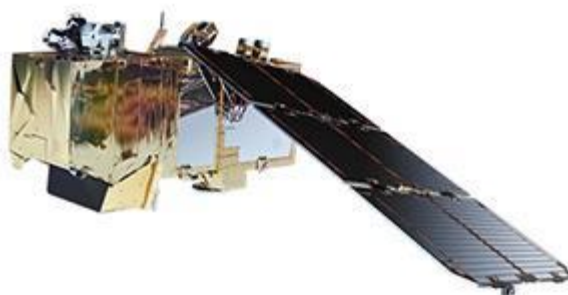
Copernicus programmas ietvaros Zemes orbītā ir palaisti vairāki mākslīgie pavadoņi, kas nodrošina ievērojamu apjomu ar tālīzpētes datiem. Divi no šiem satelītiem (Sentinel-1A un Sentinel-1B) ir aprīkoti ar sintezētās apertūras radariem (SAR) un informāciju iegūst mikroviļņu diapazonā (C-band). Sentinel-1A orbītā tika palaists 2014. gada nogalē un nodrošināja datu iegūvi reizi 12 dienās, bet 2016. gadā līdz ar Sentinel-1B nogādāšanu orbītā dati iegūstami reizi 6 dienās. Vides risinājumu institūta pētījumos atzīts, ka vidēji visām apskatītajām zemes seguma klasēm 6 dienu koherences uzrāda augstākas vērtības kā 12 dienu koherences gadījumos, kas ļauj detalizētāk analizēt izmaiņas starp SAR uzņēmumiem. Lielākās atšķirības starp 6 un 12 dienu koherenču signāliem vērojamas tieši lauksaimniecības zemēm un zālājiem, toties atklātās zemes gadījumā 6 dienu koherencēm vērojama lielāka variācija nekā 12 dienu koherencēm, kas varētu būt saistīta ar krasām mitruma izmaiņām, jo gan 6, gan 12 dienu koherenču ainās nereti vērojama lietus un mitruma ietekme.

2015. gada otrajā pusē Eiropas Kosmosa aģentūra (EKA) plānoja uzsākt Sentinel-3 zemes novērošanas misiju, kas specializēta jūras un okeāna ūdens un piekrastes virsmas analīzei, kā arī izmantojama Eiropas kosmosa pamatprogrammas Copernicus Globālās okeānu novērošanas sistēmas (GOOS) iniciatīvas atbalstīšanai.

Copernicus Sentinel-1: Sentinel-1 nodrošina visu laika apstākļu, dienas un nakts radaru attēlus zemes un okeāna novērojumiem. Pavadoņi Sentinel-1A un Sentinel-1B tika palaisti attiecīgi 2014. gada 3. aprīlī un 2016. gada 25. aprīlī. Ar Sentinel-1 tiek novērots jūras ledus, naftas plankumi, jūras vēji un viļņi, zemes izmantošanas izmaiņas, plūdu un zemestrīču postījumi. Tam ir uzstādīts C joslas sintezētās apertūras radars, kas darbojas 5,405 GHz frekvencē.



Copernicus Sentinel-2: Sentinel-2 nodrošina augstas izšķirtspējas optiskos attēlus zemes izpētes pakalpojumiem. Tas nodrošina, piemēram, veģetācijas, augsnes seguma, ūdensteču un piekrastes teritoriju attēlus. Pavadoņi Sentinel-2A un Sentinel-2B tika palaisti attiecīgi 2015. gada 22. jūnijā un 2017. gada 7. martā. Ar tiem tiek novēroti lauksaimniecības kultūraugi, meži, zemes izmantošanas izmaiņas, piekrastes un iekšējie ūdeņi, kartēts hlorofila un ūdens saturs lapojumā u.c. Kosmiskajam aparātam ir uzstādīts multispektrālais attēlveidotājs MSI, kas darbojas 13 spektra joslās.



Copernicus Sentinel-3: Sentinel-3 nodrošina augstas precizitātes optiskos, radaru un altimetrijas datus jūras un sauszemes pētījumiem. Pavadoņi Sentinel-3A un Sentinel-3B tika palaisti attiecīgi 2016. gada 16. februārī un 2018. gada 25. aprīlī. EUMETSAT vada satelītus un veic jūras misiju, savukārt ESA - sauszemes misiju. Sentinel-3 izmanto vairākus tālzipētes instrumentus:

- SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer), nosaka jūras virsmas temperatūru, mērot deviņos spektra kanālos ar divām papildu joslām, kas optimizētas ugunsgrēku novērošanai.
- OLCI (Ocean and Land Colour Instrument), vidējas izšķirtspējas attēlu uzņemšanas spektrometrs, kas izmanto piecas kameras.
- SRAL (SAR Altimeter), veic precīzus topogrāfijas mērījumus Ku joslā un C joslā.
- DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), orbītas pozicionēšanas uztvērējs.

- MWR (Microwave Radiometer), mēra ūdens tvaiku, mākoņu ūdens saturu un Zemes izstaroto siltuma starojumu.
- LRR (Laser Retroreflector), lāzera atstarotājs, lai var mērīt pavadoņa atrašanās vietu no Zemes.
- GNSS (Global Navigation Satellite System), pavadoņa atrašanās vietas noteikšanai.



Copernicus Sentinel-4: Sentinel-4 sniegs datus atmosfēras sastāva kontrolei. Tā mērķis ir uzraudzīt galvenās gaisa kvalitātes rādītājus visā Eiropā, veicot ātrus (stundu) atkārtotus mērījumus.



Copernicus Sentinel-5: Sentinel-5 tiks veltīts arī atmosfēras sastāva kontrolei. Plānots, ka tiks palaists 2021. gadā. Tas nodrošinās precīzus atmosfēras galveno sastāvdaļu, piemēram, ozona, slāpekļa dioksīda, sēra dioksīda, oglekļa monoksīda, metāna, formaldehīda un aerosola īpašību mērījumus.



Copernicus Sentinel-5P: Sentinel-5 prekursors ir satelīta misija, kas tika uzsākta 2017. gada 13. oktobrī. Tā ir nepilnību aizpildīšanas misija, kuras mērķis ir nodrošināt datu nepārtrauktību, līdz Sentinel-5 - īpašās atmosfēras Copernicus misijas palaišanai, kuru paredzēts sākt 2021. gadā.



Copernicus Sentinel-6: Sentinel-6 nodrošinās augstas precizitātes altimetriju, galvenokārt operatīvai okeanogrāfijai un klimata pētījumiem. Tā ir sadarbības misija, kas izstrādāta starp Eiropu (ES, ESA un EUMETSAT) un ASV (NOAA un NASA). To plānots sākt 2020. gadā. Tuvāks satelītu flotes raksturojums sniegts 2.attēlā.
(Avots: Copernicus Discover our satellites <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure/discover-our-satellites>).



Sentinel data procured by ESA and EUMETSAT			
Sentinel Mission and Status		Data procured by	
	SENTINEL-1: 4-40m resolution, 3 day revisit at equator	2 sats in orbit	ESA
	SENTINEL-2: 10-60m resolution, 5 days revisit time	1 Sat in Orbit	ESA
	SENTINEL-3: 300-1200m resolution, <2 days revisit	1 Sat in Orbit	ESA (S3-OLCI Land data) EUMETSAT (S3-OLCI Marine data)
	SENTINEL-4: 8km resolution, 60 min revisit time	1st Launch in 2020	EUMETSAT
	SENTINEL-5p: 7-68km resolution, 1 day revisit	Launch by end 2016	ESA
	SENTINEL-5: 7.5-50km resolution, 1 day revisit	1st Launch in 2021	EUMETSAT
	SENTINEL-6: 10 day revisit time	1st Launch in 2020	EUMETSAT

FULL, FREE AND OPEN

2.att. Sentinel flote

Nemot vērā faktu, ka pašreizējās tehnoloģijas nesniedz pietiekami precīzu informāciju par oglekļa dioksīda emisijām, 2025. gadā paredzēts izveidot jaunu CO₂ izmešu monitorēšanas sistēmu, tādējādi Eiropas Savienības (ES) Copernicus satelītu sistēma tuvāko gadu laikā tiks uzlabota. Viens no tās modeļiem būs Sentinel-7, kas monitorēs antropogēnās jeb cilvēku aktivitātes dēļ radītās CO₂ emisijas.

Sentinel-2 un Sentinel 3 iespējas

Eiropas Kosmosa aģentūras daudzspektrālais instruments Sentinel-2 satelītā nodrošina globālu (no 83 grādiem uz ziemeļiem un 56 grādiem uz dienvidiem) 10 metru izšķirtspēju, multispektrālus attēlus ik pēc 5-10 dienām (no 2015. gada līdz mūsdienām). Sentinel-2 misija ir ciešas sadarbības rezultāts starp Eiropas Kosmosa aģentūru (ESA), Eiropas Komisiju un vairākiem uzņēmumiem. Misiju ir izstrādājis un izveidojis aptuveni 60 uzņēmumu konsorcijs, ko vada Airbus Defense and Space, un to atbalsta Francijas kosmosa aģentūra CNES, lai optimizētu attēla kvalitāti, un DLR Vācijas Aviācijas un kosmosa centrs, lai uzlabotu datu atgūšanu, izmantojot optiskos sakarus. Sentinel-2 misiju veido divi satelīti, kas izstrādāti veģetācijas, zemes seguma un vides monitoringa atbalstam. Satelītu Sentinel-2A ESA palaida 2015. gada 23. jūnijā, un tas darbojas saules sinhronajā orbītā ar 10 dienu atkārtojuma ciklu. Otrs identisks satelīts (Sentinel-2B) tika palaists 2017. gada 7. martā, un tas darbojas ar datu iegūšanu, kas pieejama vietnē EarthExplorer. Reizi piecās dienās tie aptver visas zemes virsmas, lielās salas, kā arī iekšējos un piekrastes ūdeņus.

Sentinel-2 multiSpectral Instrument (MSI) iegūst 13 spektra joslas, sākot no redzamās un tuvās infrasarkanās (VNIR) līdz īsviļņu infrasarkanās (SWIR) viļņu garumiem gar orbitālo vāli 290 km. MSI sensora dati papildina datus, ko ieguvuši ASV Ģeoloģijas dienests (USGS) u.c. ESA un USGS sadarbības pasākumi nodrošina publisku piekļuvi ESA Sentinel-2 datu globālai iegūšanai un to pārdali bez maksas, izmantojot sekundārus ASV balstītus portālus, papildus tiešai lietotāju piekļuvei no ES.

MSI mēra atstaroto starojumu caur atmosfēru 13 spektra joslās. Telpiskā izšķirtspēja ir atkarīga no konkrētās spektrālās joslas. Sentinel-2 ir kā turpinājums citu augstas izšķirtspējas satelītu misijām (LANDSAT, SPOT un IRS P6), kuru iespējams izmantot kompleksai zemes pārklājuma un zemes pielietojuma izpētei, klimata pārmaiņu izraisīto procesu uzraudzībai un novērtēšanai un dabas katastrofu pārvaldībai, tādējādi atbalstot Eiropas kosmosa pamatprogrammu Copernicus. Sentinel-2 infrasarkanās gaismas attēlā iespējams izšķirt dažādus zemes virsmas elementus - kokus, krūmus, zālājus, lauksaimniecības zemes, kailu augsni, ceļus, ūdeni un apdzīvotās teritorijas.

2018. gadā Copernicus Sentinel-3 misijas satelīts Sentinel-3B Zemes orbītā pievienojās satelītam Sentinel-3A. Satelīts pilnu darbību uzsāka 2019. gada 20. martā, kad Sentinel-3B jūras pakalpojumu sistēma kļuva pilnībā pieejama un uz satelīta esošie OLCI (Ocean & Land Colour Instrument) sensora dati tika publiskoti lietotājiem. Abi satelīti katru dienu riņķo ap zemeslodi, kā rezultātā lietotājiem pieejama visaptveroša informācija par Zemes jūru un okeānu ekosistēmu stāvokli. Sentinel-3 satelīti piegādā datus kopš 2016. gada sākuma (Sentinel-3A). Sentinel-3B tika palaists Zemes orbītā, lai sistemātiski mēritu okeānus, sauszemi, ledājus, atmosfēru, kā arī izprastu un uzraudzītu to procesus un dinamiku. Satelīti ir aprīkoti ar modernām attēlās izpētes un Zemes novērošanas tehnoloģijām, tie piegādā gandrīz reālā laika informāciju par ūdens virsmas temperatūru, okeānu krāsu un topogrāfiju, ļaujot izprast ūdenstilpju stāvokli un kvalitāti. Satelīts ir aprīkots ar okeānu un sauszemes krāsu instrumentu (OLCI), kas aptver 21 spektrālo joslu no 400 līdz 1020 nm. OLCI fotografējamā apgabala platums ir 1270 km. Citi instrumenti ir jūras un sauszemes virsmas temperatūras radiometrs (SLSTR), sintētiskās apertūras radara altimetrs (SRAL) un mikroviļņu radiometrs (MWR).

Abus Sentinel-3 misijas satelītus kontrolē EUMETSAT misijas vadības centrs, kas ir atbildīgs par iegūto jūras datu izplatīšanu lietotājiem. EUMETSAT piegādā datus dažādiem Copernicus pakalpojumu sniedzējiem un lietotājiem visā pasaulē, tai skaitā Copernicus Jūras vides monitoringa pakalpojumam (CMEMS). Divas galvenās platformas, kurās lietotājiem ir pieejami iegūtie dati: pakalpojumu izplatīšanas sistēma EUMECast un Copernicus tiešsaistes datu pieejas sistēma CODA. (Avots: EESA Sentinel Online <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/>)

Vides risinājumu institūta komanda sekmīgi ir izmantojusi Eiropas Kosmosa aģentūras (EKA) radara (Sentinel-1) un optisko (Sentinel-2) satelītu datus zālāju stāvokļa novērtēšanai, apsaimniekošanas aktivitāšu (ganīšanas, pļaušanas, aršanas) uzraudzībai, kvantitatīvo (biomasas) un kvalitatīvo (invazīvās sugas, bioloģiskās daudzveidības degradēšanos) parametru ievākšanai, radot pamata informāciju daudzfunkcionālas zālāju uzraudzības un apsaimniekošanas rīka izstrādei.

Programmatūra Sentinel datu analīzei

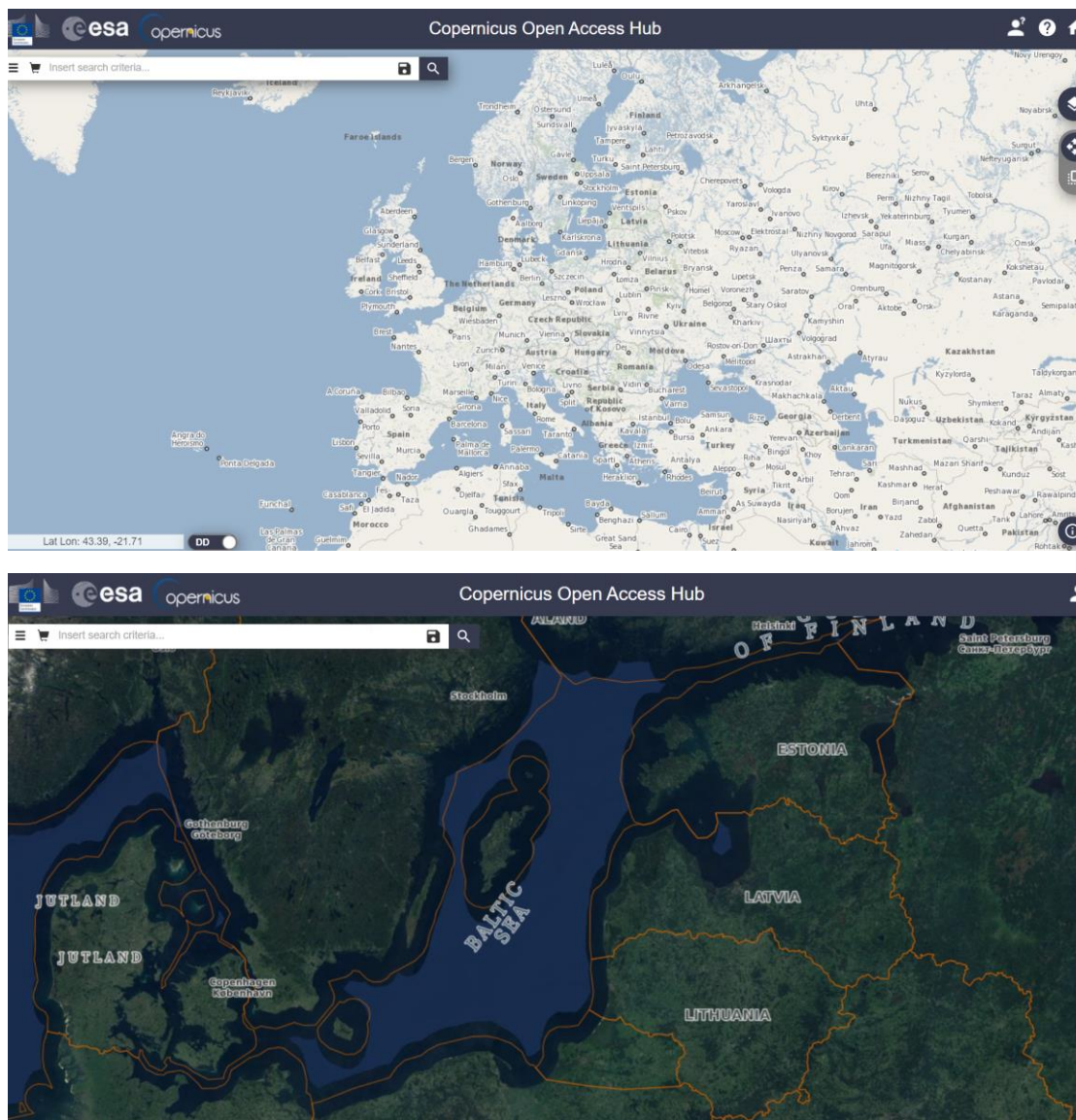
Sentinel-2 datus iespējams atvērt un skatīt ar ArcGIS, izmantojot Living Atlas (<https://sentinel.arcgis.com/arcgis/rest/services/Sentinel2/ImageServer>). Sentinel-2, 10, 20 un 60 m, 13 joslu attēli ir pieejami vizualizācijai un analīzei. Šis attēlu slānis tiek savienots tieši ar AWS. Sentinel-2 katru dienu tiek atjaunināts ar jauniem attēliem. Katra Zemes punkta atkārtotas apmeklēšanas laiks ir ik pēc 5 dienām. Pēc noklusējuma tiek parādīti jaunākie un bez mākoņu attēli. Jebkuru pēdējo 14 mēnešu laikā pieejamo attēlu var parādīt, izmantojot pielāgotu filtrēšanu. Filtrēšanu var veikt, pamatojoties uz tādiem atribūtiem kā ieguves datums, aptuvenais mākoņu segums un citi. Šis attēlu slānis ir gatavs analīzei, izmantojot TOA korekciju. ArcGIS Server dinamisko attēlu slāni var izmantot Web Maps un ArcGIS Desktop, kā arī tīmekļa un mobilajās lietojumprogrammās, izmantojot REST balstītu attēlu pakalpojumu API. Esri padara daudzspektrālos datus ātri pieejamus, izmantojot ArcGIS Image Server, un ar ArcGIS Living Atlas of the World (Living Atlas).

Ņemot vērā priekšizpētes rezultātus, par darba tālākiem uzdevumiem ir izvirzīti: veikt Sentinel 1, Sentinel-2 un Sentinel-3 satelīta datu izguvi analīzei, izmantojot ARCGIS programmatūru; testēt un attīstīt meliorācijas sistēmu identifikācijas un tehniskā stāvokļa novērtēšanas algoritmu; noteikt metodiku satelītattēlu izmantošanai automatizētai meliorācijas sistēmu novērtēšanas veikšanai. Ja esošie algoritmi nesniedz ticamus un apmierinošus rezultātus, izvērtēt jaunu attālās izpētes algoritmu nepieciešamību; novērtēt attālās izpētes metožu precizitāti meliorācijas sistēmu identifikācijas un tehniskā stāvokļa novērtēšanai.

Piekļuve SENTINEL datiem

Lielākā daļa datu un informācijas, ko nodrošina Copernicus Space infrastruktūra un Copernicus pakalpojumi, ir pieejami, izmantojot brīvu piekļuvi. Divus Copernicus satelītu datu piekļuves punktus pārvalda Eiropas Kosmosa aģentūra (EKA). Copernicus atvērtās piekļuves centrmezgls ir pieejams vietnē copernicus.eu/en/access-data. Portāls, kas pazīstams kā Copernicus Open Access Hub, nodrošina piekļuvi Sentinel datiem, izmantojot interaktīvu grafisko lietotāja saskarni. Copernicus Open Access Hub nodrošina bezmaksas un

atklātu piekļuvi Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 un Sentinel-5P lietotāju produktiem. Sentinel dati ir pieejami arī, izmantojot Copernicus datu un informācijas piekļuves pakalpojumus (DIAS), lietojot vairākas platformas. Copernicus Open Access Hub grafiskā saskarne un pieejamība zemes virsmas seguma informācijai parādīta 3.att.



3.att. Copernicus Open Access Hub grafiskā saskarne

Grāvju aizauguma analīzei, lai noteiktu, cik gultnes ir stipri aizaugušas, tika izmantota Sentinel-2 satelītu attēlu informācija no pētījuma vietām: Mellupīte, Bērze un Ailes strauts. Sentinel-2 ir daudzspektrāls instruments (MSI), kas apkopo datus spektrālajās joslās, kas aptver no redzamās un tuvās infrasarkanās līdz īsviļņu infrasarkanajiem spektriem ar trim dažādām izšķirtspējām:

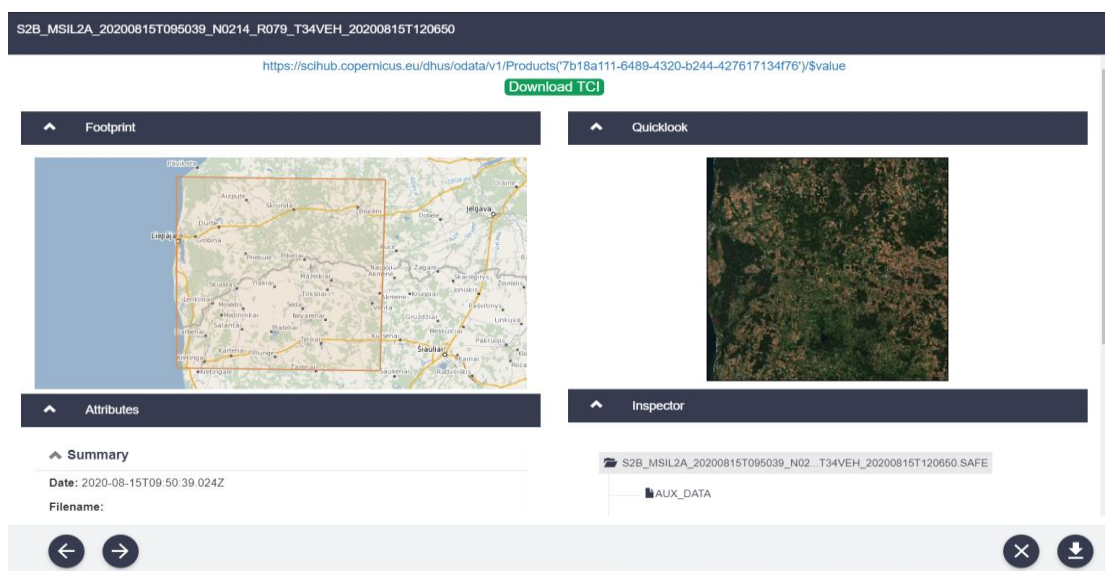
- 4 joslas 10 metru attālumā;
- 6 joslas 20 metru attālumā;
- 3 joslas 60 metru attālumā.

Tātad ik pēc piecām dienām Sentinel veido satelītainas 12 spektrālajās joslās un katra josla pikseļu izmēros svārstās no 10-60 metriem.

Sentinel-2 MSI dati ir pieejami kā dažādi produktu veidi. ArcGIS atbalsta 1.C un 2.A līmeņa produktus. 2.A līmeņa apstrāde iekļauj ainas klasifikācijas un atmosfēras korekcijas. Sentinel-2 datu analīzei tika izmantoti augstākās kvalitātes dati ar 10 m izšķirtspēju, turklāt meklējot datus, tika izvēlēts Sentinel-2 produkta veids S2MSI2A. Kā minēts Sentinel-2 daudzspektrālais instruments 2A ir datu atmosfēriski korigētā versija, kas palīdz novērst mitruma un citu atmosfēras apstākļu ietekmi uz zemes apauguma izmaiņu noteikšanu.

Lai noteiktu grāvju teritoriju apauguma izmaiņas, prasības šai analīzei bija vismaz divi satelīta attēli bez mākoņiem vienā un tajā pašā apgabalā dažādos laika posmos. Svarīgi, ka attēlā nedrīkst būt mākoņu pārklājuma, jo tas ievērojami pasliktina klasifikācijas rezultātu kvalitāti.

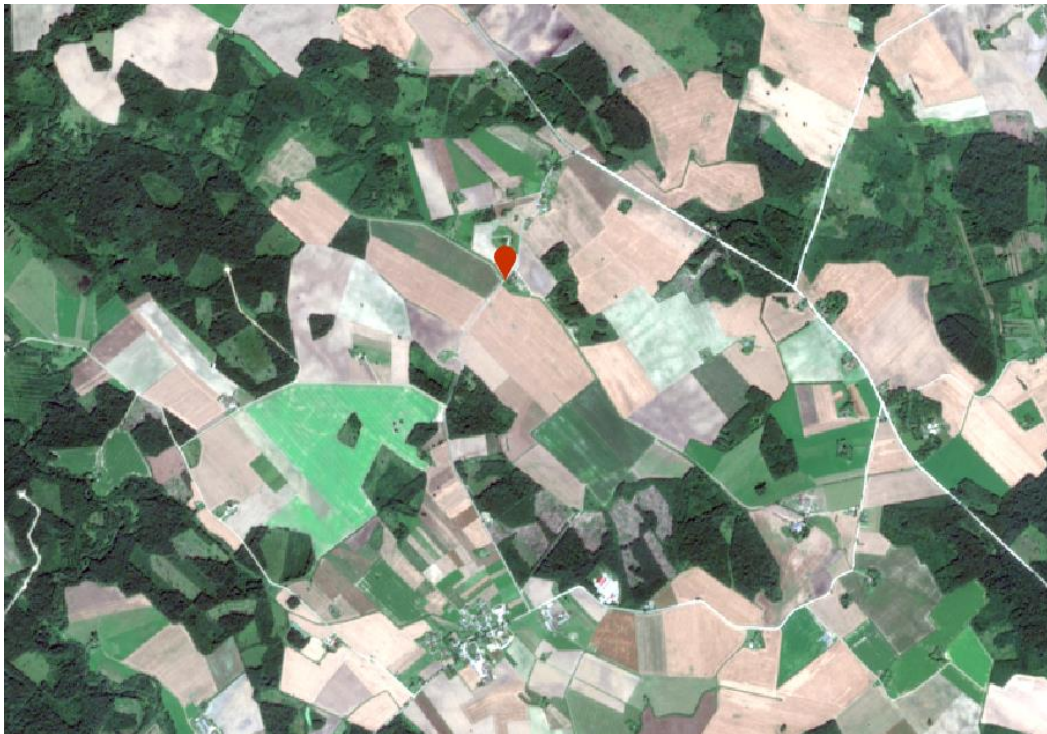
Kā analizējamais periods Mellupītes teritorijai tika izvēlēts 2020. gada periods no aprīļa līdz augustam, norādot, ka satelītu attēlam jābūt brīvam no mākoņu klājuma. 4.attēlā parādīts izvēlētais satelīta uzņēmums izpētes teritorijai, kas vislabāk atbilst izvirzītajiem kvalitātes kritērijiem.



4.att. Pieprasītās informācijas atlase Mellupītes teritorijai.

SENTINEL datu apstrādes metodika

Izvēlētie satelīta attēli tika apstrādāti ArcGIS Pro vidē. Lai veidotu analizējamu RGBI attēlu, attiecīgo joslu - 4,3,2 un 8 – attēli tika pievienoti kartei, un, lietojot Data Management/Composite bands rīku, izveidots jauns virtuāls attēls, kas tālāk lietojams informācijas apskatei vai analīzei. Mellupītes teritorijas grāvju apauguma analīzei izveidotais RGBI attēls sniegts 5.att.



5.att. RGBI attēls Mellupītes teritorijas grāvju analīzei (10x 10 m izšķirtspēja).

Lai raksturotu teritorijas veģetāciju un tās izmaiņas, vismaz no divu laika periodu RGBI attēliem, ir jāizveido NDVI attēli. NDVI funkcija ļauj noteikt normalizēto veģetācijas stāpības indeksu (NDVI), kas ļauj ģenerēt attēlu relatīvās biomasas noteikšanai. Šis indekss izmanto divu spektru raksturlielumu kontrastu no daudzspektrālas rastra datu kopas - hlorofila pigmenta absorbciju sarkanajā joslā un augu atstarojamību infrasarkanajā (NIR) joslā. Ļoti zemas vērtības apzīmē tādas teritorijas, kurās veģetācija ir neliela vai vispār nav. Mērenas vērtības apzīmē krūmu un zālāju platības. Augstas vērtības atspoguļo meža platības. NDVI izveides process rada vienas joslas datu kopu, kas galvenokārt atspoguļo veģetācijas blīvumu. Diferenciālā atstarošana sarkanajā un infrasarkanajā (IR) joslā ļauj kontrolēt veģetācijas augšanas blīvumu un relatīvo tempu, izmantojot saules starojuma spektrālo atstarojamību. Veģetācijai infrasarkanā viļņa garuma diapazonā parasti ir lielākas atstarošanas iespējas nekā sarkanā viļņa garuma diapazonā. Infrasarkanā staru viļņu garumus absorbē mākoņi, ūdens un sniegs.

NDVI nosaka pēc izteiksmes:

$$NDVI = ((IR - R) / (IR + R)),$$

kur

IR = pikseļu vērtības no infrasarkanās joslas

R = pikseļu vērtības no sarkanās joslas

Šī indeksa vērtības atrodas robežās -1,0 un 1,0, kas atspoguļo veģetācijas blīvumu. Negatīvās vērtības galvenokārt rada mākoņi, ūdens un sniegs, un vērtības, kas atrodas tuvu nullei, galvenokārt veidojas, ja uz augsnes nav veģetācija. Ļoti zemas NDVI vērtības (0,1 un mazāk)

norāda uz augsni bez veģetācijas. Mērenas vērtības (0,2–0,3) apzīmē krūmus un zālājus, savukārt augstās vērtības (0,6–0,8) norāda mežus.

Tālākā datu apstrādes gaitā salīdzina divus NDVI attēlus dažādos laika periodos, no viena attēla šūnas vērtības atņem otra attēla šūnas vērtību. Rezultātā var iegūt attēlus, kas satur arī negatīvas vērtības. Ar rīku Abs no iepriekšējā attēla izveido jaunu attēlu, kurā negatīvās vērtības ir pārveidotas par pozitīvām. Iegūtajā attēlā, jo lielāka vērtība virs 0, jo lielākas izmaiņas dabā veģetācijā. Rastra attēlu analīzes mērķiem tiek izmantots Raster Math rīks. Šis rīks gan ir pieejams ar Image vai Spatial Analyst licenci.

SENTINEL datu apstrādes rezultāti

Mellupītes izmēģinājumteritorija

Mellupītes teritorijas grāvju aizauguma analīzei izmantoti NDVI attēli, kas uztverti 22.04.2020 un 15.08.2020. Dotajā laika periodā noteikto apauguma izmaiņu rezultāts sniegts 6. attēlā.



6.att. Mellupītes teritorijas grāvju aizauguma izmaiņas.

Teritorijai noteiktas mērenas NDVI vērtības (0,2–0,3), kas apzīmē krūmus un zālājus. Vidēji novērotajā laika periodā veģetācijas izmaiņas ap grāvja teritoriju ir raksturojamas, kā maznozīmīgas. Tuvāka grāvja aizauguma raksturojuma iespēja ar iegūtajiem rezultātiem ir ierobežota.

Ailes straute izmēģinājumteritorija

Ailes straute teritorijas grāvju aizauguma analīzei izmantoti NDVI attēli, kas uztverti 18.06.2020 un 07.08.2020. Dotajā laika periodā noteikto apauguma izmaiņu rezultāts sniegts 7. attēlā.



7.att. Ailes straucha teritorijas grāvju aizauguma izmaiņas

Teritorijai noteiktas mērenas NDVI vērtības (0,2–0,3), kas apzīmē krūmus un zālājus. Vidēji novērotajā laika periodā veģetācijas izmaiņas ap grāvja teritoriju ir mazāk izteiktas, salīdzinot ar Mellupītes novērojumu teritorijā konstatēto situāciju. Tuvāka grāvja aizauguma raksturojuma iespēja ar iegūtajiem rezultātiem ir ierobežota.

Bērzes izmēģinājumteritorija

Bērzes teritorijas grāvju aizauguma analīzei izmantoti NDVI attēli, kas uztverti 18.06.2020 un 07.08.2020. Dotajā laika periodā noteikto apauguma izmaiņu rezultāts sniegts 8. attēlā.



8.att. Bērzes teritorijas grāvju aizauguma izmaiņas

Teritorijai noteiktas mazas NDVI vērtības (0,1–0,2), kas apzīmē nelielu veģetāciju zāles veidā. Vidēji novērotajā laika periodā veģetācijas izmaiņas ap grāvja teritoriju ir vismazāk izteiktas, salīdzinot ar Mellupītes un Ailes straucha novērojumu teritorijā konstatēto situāciju. Tuvāka grāvja aizauguma raksturojuma iespēja ar iegūtajiem rezultātiem ir ierobežota.

Secinājumi

Grāvju apauguma analīzei 3 izmēģinājumu teritorijās izmantota hiperspektrālo datu apstrāde, aprēķinot normalizētā veģetācijas indeksa (NDVI) vērtības 10x10m lielām laukuma vienībām. Grāvju apauguma izmaiņu analīzei noteiktas un standartizētas normalizētā veģetācijas indeksa starpības. Lai gan ES Copernicus programma nodrošina brīvu un atklātu piekļuvi datiem no Sentinel-2 satelītiem ar augstu telpisko izšķirtspēju (pikseļu izmērs 10 m), šāda izšķirtspēja ir piemērota dabas resursu pārvaldīšanai plašākā mērogā, piemēram, valsts līmenī ir izdevies sasniegt veiksmīgus rezultātus noteiktu apgabalu zemes virsmu kartēšanā un dažu kultūru savstarpējā atšķiršanā. Grāvju apauguma detalizētai analīzei un izmaiņu izsekojamībai šāda izšķirtspēja ir vērtējama kā nepietiekama. Tālākā pētījuma virzībā būtu jāizmanto hiperspektrālie dati ar pikseļu izmēru līdz 1 m, lai salīdzinātu iegūtos rezultātus un attīstītu metodiku Sentinel datu apstrādei.