



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte



Zemkopības ministrija

ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

<u>PĒTĪJUMA</u>	Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata
<u>NOSAUKUMS:</u>	pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā
<u>LĒMUMA NR.:</u>	10.9.1-11/17/868
<u>IESNIEGUMA NR.:</u>	17-100-INV17-5-000021
<u>IZPILDĪTĀJI:</u>	Inga Grīnfelde Laima Bērziņa Kristīne Valujeva Jovita Pilecka Olga Frolova

PROJEKTA VADĪTĀJS:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2017

SATURS

Attēlu saraksts	4
Tabulu saraksts	5
Izmantotie saīsinājumi	6
1. Ievads	7
1.1. SEG emisijas Latvijā	8
1.1. SEG emisijas no minerālaugsnēm	10
1.2. SEG emisijas no organiskajām augsnēm.....	11
1.3. SEG emisiju ietekmējošie faktori	13
1.3.1. Augsnes mitrums.....	14
1.3.2. Augsnes temperatūra	15
1.3.3. Gaisa spiediens.....	16
1.3.4. Kūlas ugunsgrēki	16
1.3.5. Augsnes pH.....	17
1.3.6. Barības vielu daudzums	17
1.3.7. Veģetācija	18
1.3.8. Zemes lietojuma veida maiņa.....	19
1.4. Lauksaimniecības kultūru ietekme uz SEG emisijām.....	19
1.4.1. Graudaugi	19
1.4.2. Tauriņzieži	21
1.4.3. Eļļaugi	23
1.4.4. Zālāji.....	24
2. Materiāli un metodes	26
2.1. Pētījuma objektu izvēle un raksturojums	26
2.1.1. Bērzes monitoringa stacija	27
2.1.2. Mellupītes monitoringa stacija	30

2.1.3.	Auces monitoringa stacija	32
2.1.4.	Lafloras pētījumu vieta	33
2.1.5.	Mārupes pētījumu vieta	34
2.2.	Mērījumu veikšana ar Picarro.....	34
2.2.1.	Iekārtas un aprīkojums	34
2.2.2.	Datu analīzes metodes.....	36
3.	Rezultāti.....	39
3.1.	SEG mērījumi.....	39
3.1.1.	Metāna mērījumu rezultāti	39
3.1.2.	Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti	40
3.1.3.	Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti	41
3.1.4.	Amonjaka mērījumu rezultāti	42
3.2.	SEG mērījumu verifikācija	44
3.2.1.	Metāna mērījumu rezultātu salīdzinājums	44
3.2.2.	Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultātu salīdzinājums	44
3.2.3.	Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti	45
3.3.	Augsnes organiskā satura ietekme	46
3.4.	Augsnes temperatūras ietekme.....	47
4.	Secinājumi	49
5.	Literatūras avoti	50
	Pielikumi	56

ATTĒLU SARAKSTS

1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2015. gadā (NIR, 2017).	8
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2015. gadā (NIR, 2017).	8
3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2015. gadā (NIR, 2017).	9
4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2015. gadā (NIR, 2017).	9
5. att. Galvenie SEG emisiju ietekmējošie faktori (Oertel et al., 2016).	14
6.att. SEG emisiju mērījumu vietas.	26
7. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Bērzes monitoringa stacijā.	29
8. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Mellupītes monitoringa stacijā.	31
9. att. SEG emisiju mērījumu un ūdeņu paraugu ievākšanas vietas Auces monitoringa stacijā.	32
10. att. SEG emisiju mērījumu vieta Lafloras pētījumu vietā.	33
11. att. SEG emisiju mērījumu vieta Mārupes pētījumu vietā.	34
12. att. Picarro G2508 (autors: J.Pilecka).	35
13. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: J.Pilecka).	35
14. att. Augsnes mitruma mērītājs (autors: J.Pilecka).	36
15. att. Diver barometriskā spiediena mērītāji (autors: J.Pilecka).	36
16. att. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematisks attēlojums.	36
17. att. CH ₄ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.	40
18. att. N ₂ O emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.	41
19. att. CO ₂ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.	42
20. att. NH ₃ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.	43
21. att. CH ₄ mērījumu salīdzinājums (Kaigu_11 un Mar_5 ir LVMI "Silava" veiktie mērījumi).	44
22. att. N ₂ O mērījumu salīdzinājums (Kaigu_11 un Mar_5 ir LVMI "Silava" veiktie mērījumi).	45
23. att. CO ₂ mērījumu salīdzinājums (Kaigu_11 un Mar_5 ir LVMI "Silava" veiktie mērījumi).	45

TABULU SARAKSTS

1. tab. Agronomiskās darbības pētījuma teritorijās.	27
2. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Bērzes monitoringa stacijas drenu laukā.....	30
3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās.	31
4. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Auces monitoringa stacijas sateces baseinā.....	33
5. tab. CH ₄ emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.	39
6. tab. N ₂ O emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.	40
7. tab. CO ₂ emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.	42
8. tab. NH ₃ emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.	43
9. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām.	46
10. tab. Kendala korelācijas koeficienti neorganiskās augsnes kamerām. .	46
11. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām.	47
12. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām augsnes kamerām.	47
13. tab. Kendala korelācijas koeficienti neorganiskās augsnes kamerām. .	48
14. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām.	48

IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI

SEG – siltumnīcefekta gāzes;

CO₂ – oglekļa dioksīds;

N₂O – vienvērtīgā slāpekļa 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 – kādas vielas daļiņu skaits uz miljonu (miljondaļas), norāda, cik daudz gāzes/vielas daļu ir katrā miljonā daļā no kopējās gāzes/vielas masas;

LVĢMC – Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs;

SOC – augsnes organiskais ogleklis.

1. IEVADS

Latvijas Republikas Saeima 1995. gadā ratificēja ANO Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām (UN, 1998; LR, 1995). Konvencijas mērķis ir samazināt siltumnīcefekta gāzu (SEG) koncentrāciju atmosfērā līdz tādām līmenim, kas novērš bīstamu antropogēnu iejaukšanos klimata procesos. Latvijas saistības SEG emisiju samazināšanā nosaka 2002. gadā Saeimas ratificētais Kioto protokols. Atbilstoši Kioto protokolam, Latvijai individuāli vai kopīgā rīcībā ar citām valstīm laika posmā no 2008. līdz 2012. gadam bija jāpanāk SEG emisiju samazinājums par 8%, salīdzinot ar 1990. gadu. Ar šo uzdevumu Latvija sekmīgi tika galā. Kioto Protokola otrajam saistību periodam līdz 2020. gadam, ko pieņēma 2012. gadā, ir definēti vēl augstāki mērķi. Otra Kioto Protokola ietvaros uz 2020. gadu Eiropas Savienībai un tādejādi arī dalībvalstīm ir jāsamazina emisijas par 20%, salīdzinot 1990. 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.

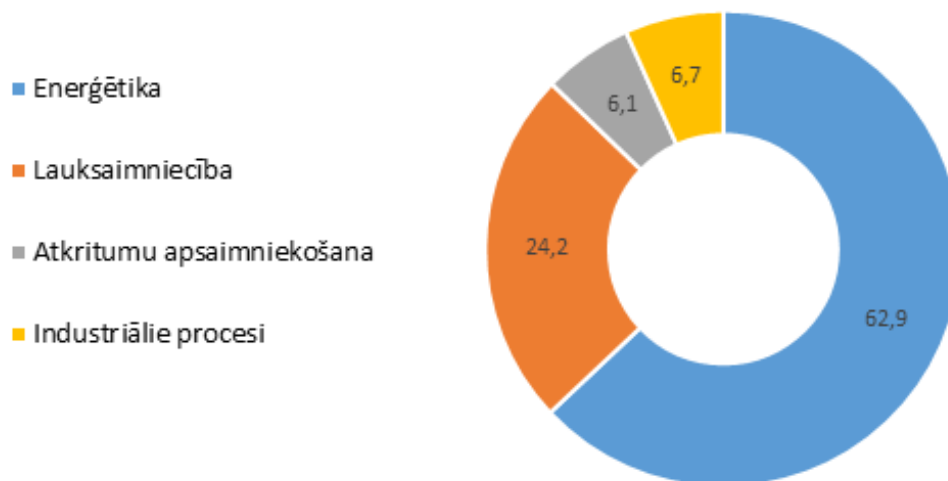
Projekta mērķis ir noteikt un analizēt SEG emisijas no lauksaimniecībā izmantotām teritorijām, kurās veikti hidrotehniskās meliorācijas pasākumi.

Projekta uzdevumi:

1. apkopot un analizēt zinātniskajās publikācijās un projektu pārskatos iekļauto informāciju par SEG emisijām no lauksaimniecībā izmantotām nosusinātajām minerālaugsnēm pa Latvijā sastopamajiem augšņu tipiem;
2. noteikt un analizēt CO₂, CH₄, N₂O emisijas no lauksaimniecībā izmantotām organiskajām augsnēm un minerālaugsnēm;
3. noteikt un analizēt SEG emisiju cēloņus pētāmajās teritorijās.

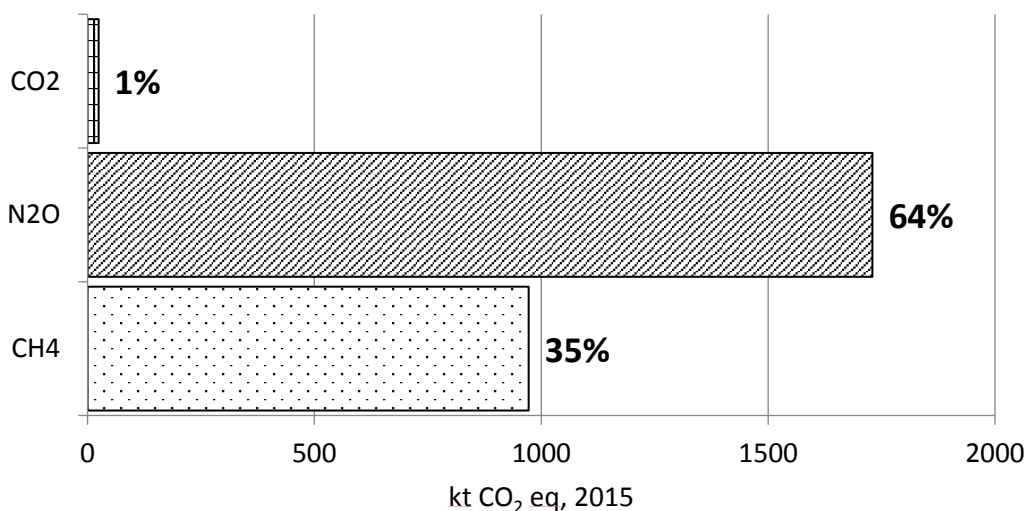
1.1. SEG emisijas Latvijā

Katru gadu, saskaņā ar ANO Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām, katrai dalībvalstij ir jāsniedz inventarizācija par SEG emisijām un to piesaisti valstī. Lauksaimniecības sektors 2015. gadā bija atbildīgs par 24.2% SEG emisiju no kopējā emisiju apjoma valstī (skat. 1. att.).



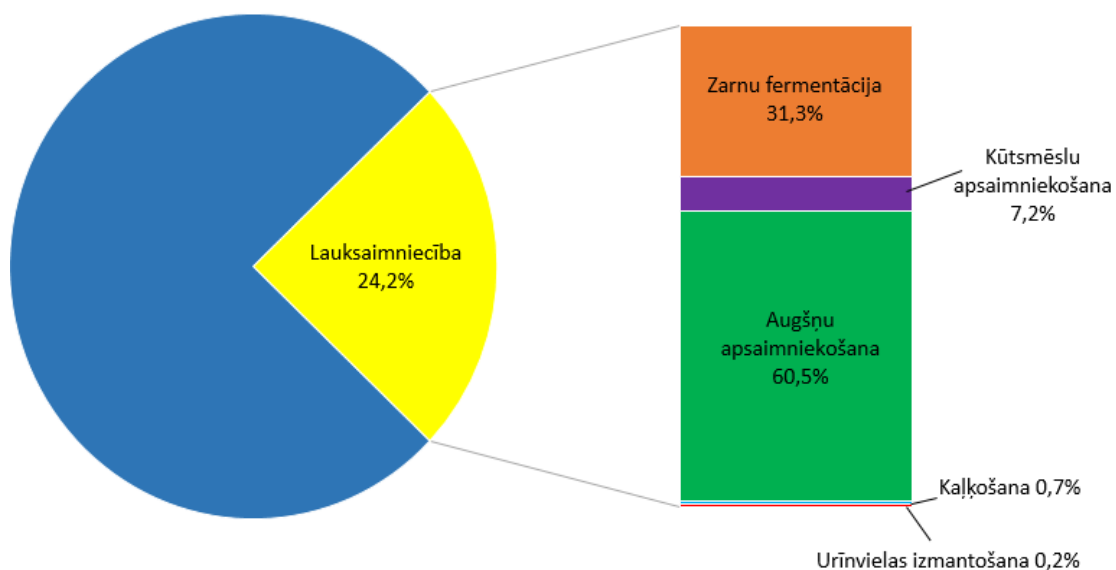
1. att. SEG emisiju sadalījums starp sektoriem 2015. gadā (NIR, 2017).

Lauksaimniecības sektors rada metāna (CH_4), slāpekļa (N_2O) un oglekļa dioksīda (CO_2) emisijas, to procentuālais sadalījums ir attēlots 2. att.



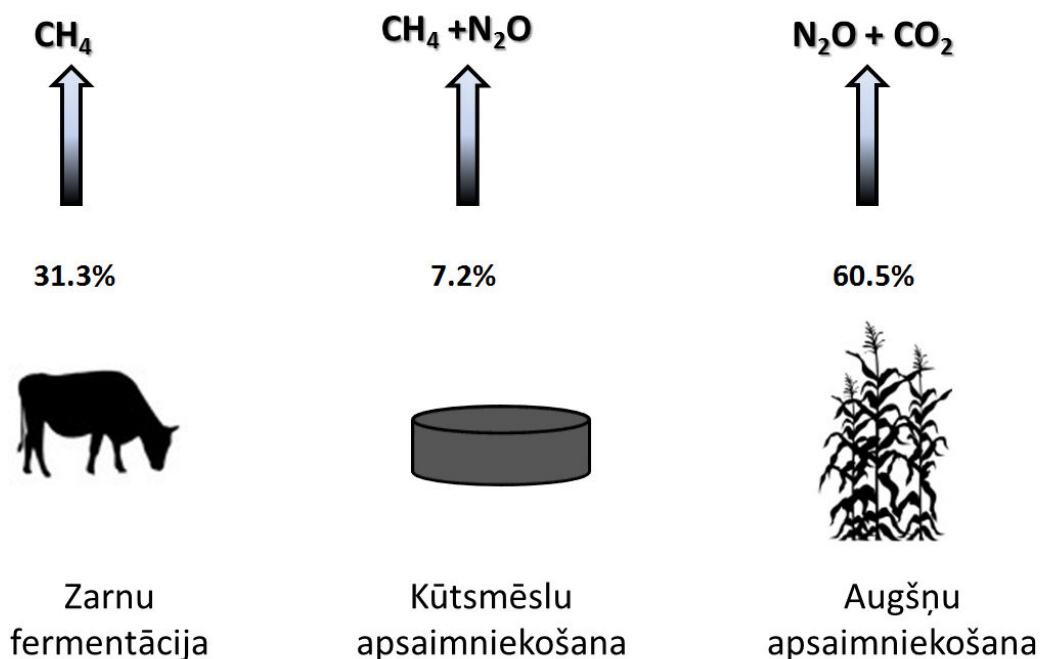
2. att. SEG emisiju sadalījums lauksaimniecības sektorā 2015. gadā (NIR, 2017).

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



3. att. SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2015. gadā (NIR, 2017).

Procentuāli vislielākās emisijas lauksaimniecības sektorā rada augšņu apsaimniekošana (60.5%) un zarnu fermentācijas procesi (31.3%) (skat. 4.att.).



4. att. Galvenie SEG emisiju avoti lauksaimniecībā 2015. gadā (NIR, 2017).

1.1. SEG emisijas no minerālaugsnēm

Lauksaimniecībā izmantojamās platībās SEG emisijas no augsnēm ir atkarīgas no biofizikālajiem procesiem un organisko vielu uzņemšanas/sadalīšanās augsnē.

CO₂ veidojas aerobos apstākļos, un plūsma augsnēs ir atkarīga no sakņu elpošanas, fizikālajiem procesiem, kā arī no bioloģiskā materiāla sadalīšanās ātruma. CO₂ emisijas no augsnes veidojas ļoti mainīgās neviendabīgās augsnēs, un tās ietekmē sakņu aktivitāte, mikrobioloģiskie procesi, augu atliekas, kā arī mikroklimats, reljefs un katalītiskās īpašības māla koloīdos šķīdumos (Muñoz et al., 2010).

N₂O veidojas minerālā slāpekļa nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu rezultātā. Augsnes tips ietekmē kopējās N₂O emisijas. 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).

Viens no emisiju ietekmējošajiem faktoriem - augsnes mitrums. Sausas augsnes samitrināšana aktivizē slāpekļa mineralizāciju, nitrifikācijas procesu, un izraisa pastiprinātu NO un N₂O emisiju izdalīšanos. Tas novērojams labi drenējošās augsnēs. Augsti gruntsūdens līmeņi, sliktas augsnes drenēšanas īpašības un augsnes sablīvēšanas veicina denitrifikācijas procesu. Tas izteikti novērojams platībās ar mālainu augsni, kur ir vieglāk sasniedzami ir anaerobi apstākļi, salīdzinot ar smilšainām augsnēm (Bouwman et al., 2002).

CH₄ emisijas veidojās anaerobos apstākļos, sezonāli vai pastāvīgi appludinātās augsnēs, šīs sistēmās ir nozīmīgi avoti, kas veicina metāna veidojošo mikroorganismu attīstību (Muñoz et al., 2010).

Augsnes sablīvēšanās, kas var veidoties paaugstināta mitruma gadījumos, iedarbojoties lauksaimniecības tehnikas svaram, var samazināt augsnes aerācijas īpašības. Sablīvēšanās var samazināt augsnes spēju oksidēt atmosfēras CH₄ par 30 – 90 % un palielināt N₂O emisijas par 20% pie viegla sablīvējuma, dubultot pie smaga sablīvējuma. Tas ir izteikti mālainām augsnēm, mazāks smilšainām. Tas var arī būt saistīts ar sliktu augu sakņu sistēmas veidošanos sablīvētā augsnē un mikrobioloģisko procesu attīstību sakņu zonā (Snyder et al., 2009).

1.2. SEG emisijas no organiskajām augsnēm

Organiskās augsnes, kas bieži tiek dēvētas arī par kūdrājiem, aizņem 3 % no kopējās zemju platības pasaulē, bet tās satur 30 % no kopējā augsnes oglekļa (Parish et al., 2008). Eiropā organiskās augsnes aizņem 7 % no kopējās platības: aptuveni viena trešdaļa atrodas Somijā, vairāk nekā ceturtdaļa atrodas Zviedrijā, bet atlikusī daļa ir sadalīta starp Poliju, Lielbritāniju, Norvēģiju, Vāciju, Īriju, Igauniju, Latviju, Nīderlandi un Franciju. Neliela daļa organiskās augsnes atrodas arī Lietuvā, Ungārijā, Dānijā un Francijā (Montanarella et al., 2006; Leppelt et al., 2014). Leppelt et al. (2014) ir novērtējis, ka zālāji un aramzemes aizņem 25 – 44 % no organiskajām augsnēm Eiropā. 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 daudzās Eiropas valstīs (Lapveteläinen et al., 2007).

Paaugstinot gruntsūdens līmeni kādā teritorijā, var veidoties labvēlīgi apstākļi paaugstinātām CH₄ emisijām (Kløve et al., 2017).

Kūdrāju (*peatland*) mitruma režīma atjaunošana tuvu zemes virsmai var ierosināt kūdras slāņa veidošanos, kas var būtiski samazināt CO₂ emisijas. Vienlaicīgi, ņemot vērā pieaugošās metāna emisijas, kūdrāju mitruma režīma atjaunošanai tomēr ir augsts emisiju samazinājuma potenciāls (Wilson et al., 2016).

Wilson et al., 2016 veica pētījumu, lai salīdzinātu emisiju faktorus, kas ir ietverti IPCC 2014 Water Supplement dokumentā ar datiem, kas publicēti kopš tā laika. Pētījuma mērķis bija aprakstīt metodes un zinātniskās pieejas Tier 1 emisiju faktoru iegūšanai, kas ir saistīta ar mitruma režīma atjaunošanu organiskajās augsnēs. Pētījuma rezultātā tika apkopoti 352 SEG gāzu plūsmas dati no literatūras studijām, un tie tika sadalīti pēc plūsmas tipa: CO₂, CH₄, N₂O un DOC. Iegūtie dati rāda fundamentālas atšķirības starp nosusinātu organisko augsni un mitruma režīma atjaunotu organisko augsni. Mitruma režīma atjaunošana nosusinātās organiskās augsnēs noved pie samazinātas CO₂ un N₂O emisijas, samazinātiem izšķīdušā organiskā oglekļa zudumiem un palielinātas CH₄ emisijas, bet, pamatojoties uz globālās sasilšanas potenciālu, samazinātas SEG emisiju bilances (Wilson et al., 2016).

Tiemeyer et al. (2016) pētījumā, kas veikts Vācijā 48 pētījumu objektos, tika iegūti rezultāti, ka N₂O emisijas no nosusinātām, ar barības vielām nabadzīgām

organiskajām augsnēm ($1,6 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$) un dziļi nosusinātām, ar barības vielām bagātām organiskajām augsnēm ($2,2 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$) ir daudz zemākas nekā noklusētie emisiju faktori IPCC 2013 vadlīnijās, attiecīgi $4,3 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$ un $8,2 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$, izņemot ar barības vielām bagātu, sekli nosusinātu organisko augsni (Tiemeyer et al. (2016): $2,9 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$; IPCC: $1,6 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$). Savukārt, CH_4 emisijas no dziļi nosusinātām, ar barības vielām bagātām organiskajām augsnēm ($0,2 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$) ir zemākas, salīdzinot ar IPCC vadlīniju noklusētajiem emisiju faktoriem ($16 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$), bet no nosusinātām, ar barības vielām nabadzīgām organiskajām augsnēm ($16,3 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$) un no sekli nosusinātām ar barības vielām bagātām organiskajām augsnēm ($79,8 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$) ir daudz augstākas nekā IPCC emisiju faktori ($1,8 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$; $39 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$).

Somijā 10 % no organiskajām augsnēm ir nosusinātas lauksaimniecības vajadzībām. Lai uzlabotu organisko augšņu auglību, organiskajām augsnēm pievienoja minerālaugsnī. Maljanen et al. (2004) izvirzīja hipotēzi, ka pievienojot minerālaugsnī, tiek uzlabota kūdras sadalīšanās un palielinātas CO_2 un N_2O emisijas no organiskās augsnes. Pētījuma rezultātā tika iegūti dati par CO_2 , N_2O un CH_4 dinamiku pētījumu lauciņos ar zālāju, miežiem vai bez veģetācijas. Miežu sējums uz organiskajām augsnēm rada lielākas kopējās CO_2 ($830 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ gadā}^{-1}$) un N_2O ($848 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ gadā}^{-1}$) emisijas nekā zālāji ($395 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ gadā}^{-1}$ un $275 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ gadā}^{-1}$) uz organiskajām augsnēm, bet pētījuma lauciņos bez veģetācijas bija novērojamas visaugstākās N_2O emisijas (vidēji $2350 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ gadā}^{-1}$). Pētījuma rezultātā arī tika noskaidrots, ka 99 % no kopējām N_2O emisijām izdalījās ziemas periodā (Maljanen et al., 2004).

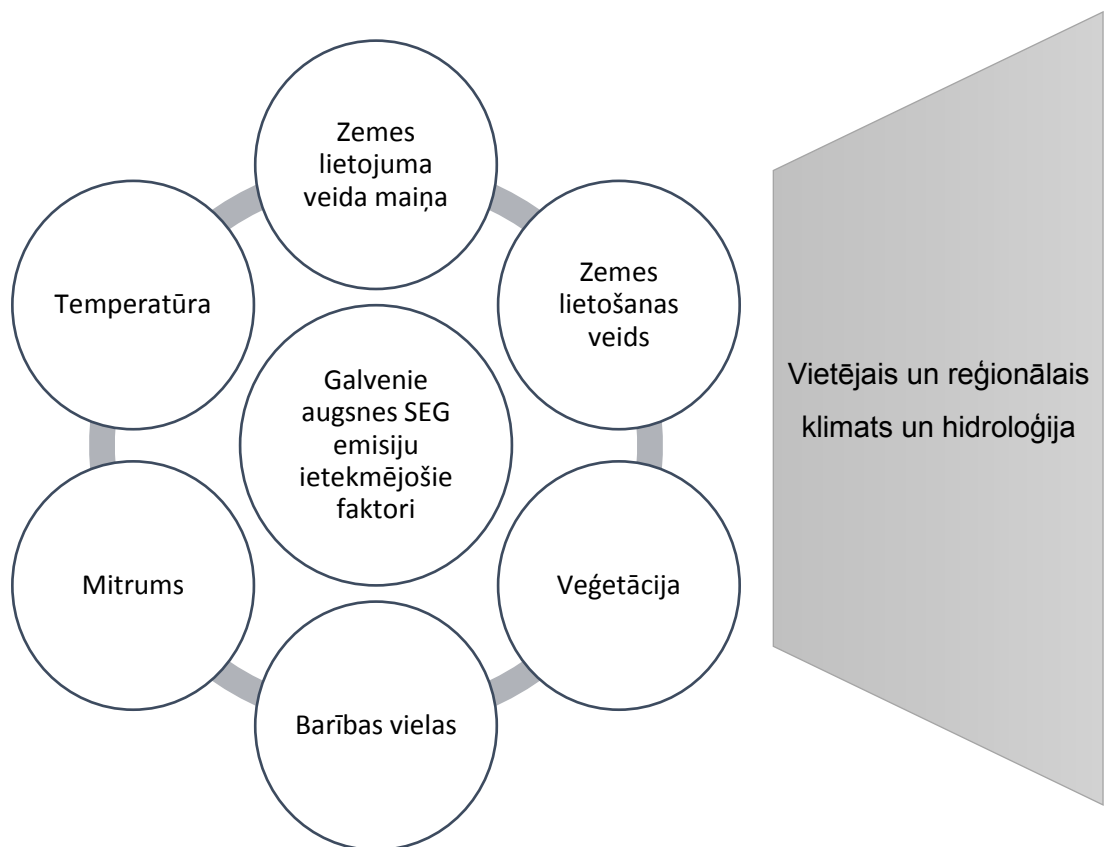
Pēc lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas un lauku pamešanas, no organiskajām augsnēm gadu desmitiem turpina izdalīties augstas CO_2 un N_2O emisijas. Ja kūdrāji ir nosusināti mežsaimniecības mērķiem, CO_2 un N_2O emisijas parasti ir zemākas nekā, ja nosusināšana ir veikta lauksaimniecības mērķiem. Lauksaimniecībā izmantoto organisko augšņu apmežošana ne vienmēr apstādina N_2O emisiju izdalīšanos lielā slāpekļa uzkrājuma dēļ. Oglekļa akumulācija meža biomasā var pārvērst apmežotās platības CO_2 krātuvē. Ir jāpatur prātā, ka tas ir īslaicīgi līdz meža nociršanai (Kløve et al., 2017). Ziemeļvalstīs ir izpētīts, ka pilnīgas meža izciršanas un kūdrāja atjaunošanas rezultātā veidojas oglekļa krātuve aptuveni $190 \text{ g CO}_2 \text{ eq.m}^{-2}$ (Maljanen et al., 2010).

Kløve et al. (2017) rakstā ir apkopoti zinātnieku veikto pētījumu rezultāti par zemes apsaimniekošanas veidu ietekmi uz SEG emisijām. Viennozīmīgi nevar apgalvot, ka no zālājiem ir zemākas N₂O emisijas, jo Maljanen et al. (2003) pētījums rāda, ka N₂O emisijas no zālāju pētījuma lauka ir augstākas nekā no miežu pētījuma lauka, tajā pašā laikā Maljanen et al. (2004), Regina et al. (2004) un Kasimir-Klmedtsson et al. (2009) pētījumi rāda pretējo. Atšķirības starp gadu un vietu kopumā ir daudz lielākas nekā atšķirības starp kultūrām, kas audzētas uz tā paša lauka.

1.3. SEG emisiju ietekmējošie faktori

Mikroorganismu aktivitāte, sakņu elpošana, ķīmisko vielu sadalīšanās procesi, augsnes vide un sēnes veido SEG emisijas no augsnes. Augsnes emisiju plūsma ir atkarīga no augsnes ūdens (mitruma), augsnes temperatūras, biogēno elementu pieejamības un pH līmeņa, kā arī no zemes lietošanas veida. Meteoroloģiskie un klimatoloģiskie parametri, kā arī zemes lietojuma veida maiņa ir svarīgi faktori, kas ietekmē augsnes SEG emisijas (skat. 5. att.) (Oertel et al., 2016).

SEG emisiju izraisītāji var tikt iedalīti pēc to ietekmes mēroga, piemēram, vietējais klimats un augsnes tips ir vietējā mēroga izraisītāko, bet temperatūra un mitrums - lielāka mēroga (Oertel et al., 2016).



5. att. Galvenie SEG emisiju ietekmējošie faktori (Oertel et al., 2016).

1.3.1. Augsnes mitrums

Augsnes mitrums ir viens no svarīgākajiem augsnes parametriem SEG emisiju noteikšanai no augsnes, jo mitrums kontrolē mikroorganismu aktivitāti un visus ar tiem saistītos procesus. Nitrificējošām baktērijām nepieciešams skābeklis, lai dzīvotu augsnes porās (Oertel et al., 2016). Augsnē aerobos apstākļos rodas CO_2 un anaerobos apstākļos CH_4 (Muñoz, et al., 2010).

Augsnēs, kur poru aizpildījums ar ūdeni ir līdz 20 %, ir augstākas SEG emisijas. Slāpekļa oksīda (NO) emisiju samazināšanās augsnē ir novērojama vietās, kur poru aizpildījums ar ūdeni ir 10 %, jo ūdens, kas ir porās, aiztur barības vielu transportu. Nitrifikācija dod lielāku potenciālu NO veidošanai nekā N_2O veidošanai (Oertel et al., 2016).

CH_4 un N_2O ražošanai baktērijām nepieciešami anaerobi apstākļi. N_2O veidošanai optimāls ir aptuveni 60% poru aizpildījums ar ūdeni, bet ja poru aizpildījums ar ūdeni ir zemāks par 30 %, tad N_2O veidošana ir zemāka. Ja poru aizpildījums ar ūdeni ir virs 80%, tad ir straujš N_2O emisiju pieaugums. Jo lielāks augsnes mitrums, jo lielākas N_2O emisijas. Pie ļoti augsta augsnes mitruma N_2O

veidošanās samazinās. Ja mitruma periodi mijas ar sausuma periodiem, tad N_2O emisijas pieaug. Augsts ūdens saturs palielina mikroorganismu aktivitāti, bet ļoti augsts mitruma daudzums nomāc mikroorganismu darbību (Oertel et al., 2016).

Augstas N_2O emisijas ir pēc lietus vai apūdeņošanas. No augsnes N_2O emisijas sāk samazināties apmēram 3 dienas pēc lietus (Signor et al., 2013).

CH_4 veidošanās notiek stingri anaerobos apstākļos un pozitīvi korelē ar augsnes mitrumu. Augsnes CH_4 samazinās aerobos apstākļos. Mitrāji un rīsu lauki ir lieli CH_4 avoti (Oertel et al., 2016).

Ilgs sausuma periods var ievērojami samazināt augsnes emisijas. Augsnē var samazināties un uzkrāties N_2O . Augsnes struktūra un veids ietekmē mitruma daudzumu augsnē. Augsne ar augstu porainību un mazu ūdens daudzumu veicina gāzu emisiju pieaugumu aerobos apstākļos. NO emisijas ir augstākas augsnēs ar rupju granulometrisku sastāvu. Augsnes, kur dominē smalkas poras, veicina CH_4 un N_2O veidošanos anaerobos apstākļos. Augstākas CO_2 emisijas tiek novērotas pie smalka granulometriskā sastāva augsnēm (Oertel et al., 2016).

Stabili augsnes agregāti (sacietējuši, sakaltuši) ietekmē SEG emisijas no augsnes, jo ogleklis un slāpeklis ir mazāk pieejami augsnes mikroorganismiem. Nokrišņi pēc ilgāka sausuma periodi izraisa pulsveida jeb „*Birch effect*” emisiju pieaugumu. Emisijas palielinās dažu minūšu vai stundu laikā pēc nokrišņu sākšanās. Pēc lietus perioda beigām, emisijas nokrītas sākotnējā stāvoklī tikai pēc dažām dienām (Oertel et al., 2016).

1.3.2. Augsnes temperatūra

Augsnes temperatūru ir svarīgi apskatīt, lai noteiktu gāzu emisijas no augsnes (Oertel et al., 2016). Galvenie faktori, kas ietekmē N_2O emisijas, ir temperatūra un augsnes blīvums. Temperatūrai un mitrumam ir liela nozīme nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu norisē, jo tie nosaka mikroorganismu aktivitāti augsnē (Signor et al., 2013). Augsnes mitrums un temperatūra var radīt 74% - 86% pārmaiņas NO un N_2O emisijās (Oertel et al., 2016). N_2O emisijas strauji pieaug, palielinoties augsnes temperatūrai (Signor et al., 2013). Pieaugot augsnes temperatūrai, palielinās emisijas no augsnes. CH_4 un N_2O emisijas palielinās, palielinoties augsnes elpošanas intensitātei ar pieaugošu augsnes temperatūru, kas savukārt noved pie skābekļa samazināšanās augsnē. Pozitīva augsnes

temperatūra ietekmē augsnes ūdens spiedienu. Ūdens veic barības vielu transportēšanas funkciju. N_2O un CO_2 emisijas eksponenciāli palielinās, pieaugot temperatūrai. Atkarībā no augsnes temperatūras gāzu emisijas no augsnes var raksturot ar jutības faktoru Q_{10} . Ja Q_{10} ir diapazonā 1.3-3.3 augsne elpo. Vidējās vērtības ir diapazonā 1.7-2.5. Q_{10} vērtība atbild par CH_4 palielināšanos. N_2O emisijas palielinās temperatūrā līdz 37°C , pēc tam notiek denitrifikācija un N_2O emisijas samazinās. Lauka apstākļos mitruma un temperatūras ietekmes pārklājas, kas var apgrūtināt novērtēt skaidru korelāciju. Temperatūra ir svarīgs raksturlielums sasalšanas-atkušanas gadījumā un nozīmīgs lielums SEG emisijām no augsnes. Temperatūra 50% ir atbildīga par kopējām ikgadējām N_2O emisijām. Ziemā CO_2 emisijas ir uzskatāmas par mazāk svarīgām kopējā gada emisiju bilancē, jo sakņu sistēma mazāk elpo pie zemām temperatūrām. Ja augsnes ūdens saturs ir tuvu piesātinājuma robežai, tad skābekļa koncentrācijas ir samazinātas. Sasalšanas un atkušanas cikla laikā, papildus barības vielas tiek atbrīvotas no augsnes daļiņām, tāpēc pēc atkušanas, mirušajos organiskajos materiālos (piemēram, augu saknēs) pieaug mikroorganismu daudzums un palielinās augsnes elpošana, kā arī palielinās N_2O emisijas. Ziemas SEG emisijas attiecas uz mērenā klimata zonām. Pastāvīgas maksimālās augsnes emisijas ir pavasarī (Oertel et al., 2016).

1.3.3. Gaisa spiediens

Atrašanās vieta (pakalns, ieplaka u.c.) ietekmē augsnes temperatūru un mitrumu. N_2O emisijas ir augstākas ieplakās, nekā nogāzēs un korēs, saistībā ar augstāku augsnes mitrumu. Zemāks gaisa spiediens veicina augstākas augsnes emisijas, jo ir samazināts spiediens uz augsni (Oertel et al., 2016).

1.3.4. Kūlas ugunsgrēki

Kūlas ugunsgrēki var ietekmēt SEG līdzsvaru augsnē, atkarībā no temperatūras un degšanas ilguma. Vietās, kur ir dedzis, CO_2 un N_2O ir zemāks nekā vietās, kur nav dedzis. Šis CO_2 un N_2O samazinājums ir novērojams vienu mēnesi pēc degšanas (Oertel et al., 2016).

1.3.5. Augsnes pH

Augsnes reakcija jeb skābuma pakāpe ir augsnes šķīduma skābuma un bāziskuma pakāpe, ko izsaka ar pH skaitli. Jo mazāks ir pH skaitlis, jo augsne ir skābāka. Katram kultūraugam ir raksturīga augsnes reakcija, kurā tas aug vislabāk, ja šie apstākļi nav atbilstoši, tad augs nespēj sasniegt savu augšanas potenciālu. Palielināta vai samazināta skābuma pakāpe negatīvi ietekmē arī augsnes īpašības, kā rezultātā pasliktinās augiem nepieciešamais nodrošinājums ar barības elementiem: ūdeni, gaisu un siltumu (Zariņa, 2009).

Augsnes pH ietekmē augsnē noritošās mikrobioloģiskās aktivitātes, tāpēc augsnes apstrāde ietekmē augsnes emisijas, piemēram, kalķošana palielina CO₂ emisijas (Oertel et al., 2016).

Optimāla pH vērtība, kad izdalās metāns, ir robežās no pH 4 līdz pH 7 (Dalal, Allen, 2008). Visaugstākais CO₂ emisiju daudzums tiek novērots pie pH neitrāla līmeņa (Cuhel et al., 2010). N₂O emisijas samazinās pie skābiem augsnes apstākļiem (Nugroho et al., 2007). Nitrifikācija palielinās līdz ar augstākām pH vērtībām, to ietekmē process, kurā NH₃ un NO₃ pāriet amonija stāvoklī (Nugroho et al., 2007). Netiek konstatēta nozīmīga sakarība starp NO, N₂O emisiju un pH vērtību (Pilegaard et al., 2006). NO emisijas izraisa denitrifikācijas procesu skābos augsnes apstākļos, taču sārmajos apstākļos veicina NO emisiju veidošanos nitrifikācijas procesā (Remde, Conrad, 1991). Neitrālās un skābās augsnēs N₂O ir galvenais produkts no NH₂OH (hidroksilamīns) oksidēšanās pateicoties tā reakcijai ar mangānu (Mn) un dzelzi (Fe), savukārt kalķotās augsnēs (pH no 7.8-8.2) NH₂OH reaģējot ar kalcija karbonātu, (CaCO₃) galvenais produkts ir N₂ (Signor et al., 2013).

1.3.6. Barības vielu daudzums

Barības vielu daudzums augsnē ir ļoti svarīgs mikrobioloģisku procesu un augu elpošanas procesu nodrošināšanai (Oertel et al., 2016).

N₂O emisiju vērtībai un C/N attiecībai pastāv negatīva korelācija (Pilegaard, et al, 2006). Tas nozīmē, ja palielinās N₂O emisijas, tad samazinās C/N attiecība. C/N attiecība ir tā, kas nosaka ātrumu, ar kādu mikroorganismi sadala organisko vielu. Zemākais N₂O emisiju daudzums ir pie C/N attiecības ≥ 30 un augstākais pie C/N attiecības 11 (Gundersen et al., 2012a,b). Kombinācijā ar sausumu un

zemām pH vērtībām, N_2O emisijas var būt būtiski ietekmētas C/N attiecībā <20 (Gundersen et al., 2012a,b). CO_2 , CH_4 emisiju daudzumam un C/N attiecībai pastāv pozitīva korelācija (Shi, et al, 2014; Weslien, et al, 2009). Tas nozīmē, ka, pieaugot CO_2 emisijai, pieaug CH_4 emisija.

Ja augsnē ir pieejami citi elektroni, piemēram, Fe^{3+} , Mn^{4+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , tad CH_4 daudzums augsnē var tikt samazināts (Achtnich et al., 1995; Dalal, Allen, 2008; Fumoto et al., 2008; Kögel-Knabner et al., 2010; Sahrawat, 2004).

Palielināts N saturs augsnē palielina augsnes aerāciju un neto ekosistēmas apmaiņu (Niu et al, 2010; Peng et al, 2011).

Ja ir ierobežota C pieejamība, N mēslošanas līdzekļiem ir limitēta iedarbība uz augsnes elpošanu (Micks et al., 2004).

N mēslošanas līdzekļu izmantošana veicina lielāku augsnes aerācijas jutību pret augsnes mitrumu un mazāku jutību pret augsnes temperatūru (Peng et al., 2011).

Ilgttermiņa eksperimentos ar N palielināšanu augsnē, augsnes aerācija samazinās (Bowden, et al., 2004). Šķidro kūtsmēsli izmantošana noved pie augstāka N_2O emisijas daudzuma aerobos augsnes apstākļos, taču NH_4^+ izmantošana rada augstāku N_2O emisijas daudzumu, ja augsne ir piesātināta ar ūdeni (Tenuta, Beauchamp, 2003). Lai samazinātu N_2O emisijas no lauksaimniecības zemēm, mēslošanas līdzekļu lietošanas daudzums jāpielāgo augu vajadzībām, jo augi nespēj uztvert slāpekli visos tā veidos (McSwiney, Robertson, 2005). Slāpeklis, kas nav pieejams augiem, izraisa N_2O emisiju pieaugumu (McSwiney, Robertson, 2005). Kontrolēta mēslošanas devu lietošana novērš N_2O emisiju palielināšanos (Shoji, et al., 2001), tomēr ir jāņem vērā, ka lietusgāžu un lietus periodu laikā N_2O emisijas var pieaugt (Venterea et al., 2012).

1.3.7. Veģetācija

Veģetācijas vecums un sakņu sistēmu dziļums ietekmē augsnes aerāciju (Saiz et al, 2006). Lauksaimniecības zemēs N_2O emisiju daudzums no tauriņziežu dzimtas augiem ir ievērojami zemāks par N_2O emisijām, ko rada izmantotais N mēslojums (Schwenke, et al., 2015). Veģetācija ietekmē CH_4 emisijas un pozitīvi korelē ar kopējo ekosistēmas produktivitāti (Dalal, Allen, 2008).

Paaugstinātu CO₂ koncentrāciju augsnē var izraisīt augsta sakņu masa (Dorodnikov et al., 2009). Jo lielākas ir augu lapas un lielāku laukumu tās noēno, jo saules radiācija mazāk ietekmē augsni zem tām un augsnes temperatūra ir zemāka (Kim, 2013).

1.3.8. Zemes lietojuma veida maiņa

Zemes lietojumam un zemes izmantošanai ir svarīga loma N₂O emisiju pieaugumā, kur šī gāze veidojas augsnē un reaģē uz dabiskiem vai antropogēniem procesiem un specifiskiem vides apstākļiem (Muñoz et al., 2010). Zemes lietojuma veida maiņa būtiski ietekmē SEG emisijas no augsnes, jo īpaši, ja meža zemes, ilggadīgie zālāji vai purvi tiek pārvērsti lauksaimniecībā izmantojamās zemēs. 30 gadus pēc zemes lietojuma veida maiņas no meža zemes uz lauksaimniecībā izmantojamo zemi, tiek zaudēts 30-35% no augsnes oglekļa, kas ir uzkrāts augsnes virsējā slānī, bet slāņos, kas dziļāki par aršanas dziļumu nav novērotas augsnes oglekļa izmaiņas (Degryze et al., 2004).

1.4. Lauksaimniecības kultūru ietekme uz SEG emisijām

Vieni no lielākajiem SEG emisiju avotiem pasaulē ir lauksaimniecība un mežsaimniecība, taču šīs nozares neprasa lielas izmaksas, lai samazinātu emisijas, kā tas ir ar citām tautsaimniecības nozarēm. Lauksaimniecības un mežsaimniecības nozares ir atbildīgas par vienu piektdaļu no globālajām antropogēnām SEG emisijām, kur tieši lauksaimniecība rada 12% (Albiac et al., 2017).

Antropogēnās globālās SEG emisijas ir palielinājušās kopš pirmsrūpniecības perioda. Laika posmā no 1970. līdz 2011. gadam tās ir pieaugušas par 90%. Lielākie SEG emisiju veidotāji ir fosilā kurināmā izmeši, zemes lietošanas maiņa un lauksaimniecības intensifikācija. SEG emisiju aplēses liecina par nepārtrauktu emisiju pieaugumu nākamajās desmitgadēs, kas varētu izraisīt lielas klimata pārmaiņas pasaulē (Albiac et al., 2017).

1.4.1. Graudaugi

Lauksaimniecība ir kļuvusi specializēta daudzās pasaules vietās, tādējādi samazinot kultūru daudzveidību. Eiropā aramzemes īpatsvars ar pākšaugiem ir samazinājies no 4.7% 1961. gadā līdz 1.8% 2011. gadā. Šis samazinājums ir

izskaidrojams ar labu graudaugu ražīguma potenciālu Eiropas mērenajos reģionos (Bonilla et al., 2017).

Latvijā graudaugu kopējās sējplatības 2016. gadā sastādīja 716 tūkst. ha ar vidējo ražību 37.8 cnt uz 1 ha. No šīm platībām ziemāji bija 53% no kuriem 87% jeb 329.9 tūkst. ha ir ziemas kviešu sējplatības ar vidējo ražību 48 cnt no 1 ha. Rudzu sējplatības no ziemāju kultūru sējumiem sastādīja 10% jeb 36.3 tūkst. ha ar vidējo ražību 38.8 cnt no 1 ha. No vasarāju kultūrām dominē vasaras kvieši (45% no vasarāju sējplatības jeb 153 tūkst. ha) un vasaras mieži (45% no vasarāju sējplatības jeb 94.1 tūkst. ha) (CSP, 2017).

Graudaugu daudzveidības samazināšanās un graudaugu audzēšanas sistēmu specializācija ir izraisījusi lielu atkarību no sintētiskajiem slāpekļa (N) mēslojumiem daudzās pasaules vietās. Tā kā sintētiskais N mēslojums ir lēts un viegli pieejams, tas ir saasinājis vides degradāciju, izveidojot agroekosistēmas. Nepareiza N mēslojuma pārvaldībai graudu audzēšanas ciklā ir nelabvēlīga ietekme uz apkārtējo vidi, piemēram, gruntsūdeņu piesārņojums ar nitrātiem, atmosfēras piesārņojums ar amonjaku un tā veicina globālo sasilšanu slāpekļa oksīda emisiju dēļ (Bonilla et al., 2017).

Visbiežāk sastopamā stratēģija, lai samazinātu N minerālmēslo pieprasījumu augkopības sistēmās, ir tauriņziežu kultūru iekļaušana augsekas rotācijā (Bonilla et al., 2017).

Daudzsološs risinājums oglekļa (C) piesaistīšanai lauksaimniecībā izmantojamās ir augsekas maiņas iekļaušana. Piemērojot augsekas maiņu, salīdzinot ar citām pārvaldības metodēm, kas palielina augsnes organisko oglekli (SOC), tā nerada ne ražas samazināšanos, ne ekstensifikāciju, ne arī oglekļa zudumus (Poeplau et al., 2015).

Augkopība var radīt ievērojamus SOC zudumus, sadalot humusu. Augu maiņa no ganībām uz graudaugu kultūrām izraisa C krājumu zudumus no 25 līdz 43% (Lemken et al., 2017).

Rudenī un ziemā jāaudzē graudaugi, kas spēj uzņemt no augsnes pāri palikušo N un samazinās N izskalošanos (Poeplau et al., 2015).

SOC lielāka uzkrāšanās ir tur, kur ir mazāka augsnes apstrāde un daudzgadīgie kultūraugi, nepārtrauktākā graudaugu audzēšanā un konvencionālā lauksaimniecībā SOC uzkrājas mazāk (Maillard et al., 2016).

Rūpīgi izstrādājot un ievērojot labas lauksaimniecības prakses noteikumus, augsekas maiņu, kurās ir pākšaugi un graudaugi, strauji samazinās N mēslojuma pieprasījums (kviešiem par 13 - 30%), nemazinot kviešu produktivitāti vai graudu kvalitāti (Bonilla et al., 2017).

1.4.2. Tauriņzieži

Tauriņzieži ietekmē atmosfēru un augsnes kvalitāti. Pākšaugu ieviešana lauksaimniecības augsekas maiņā palīdz samazināt izmantoto mēslošanas līdzekļu daudzumu un resursus, kas tiek izmantoti aramzemēs, un tādējādi tiek samazinātas SEG emisijas (Lemken et al., 2017). Latvijā 2016. gadā pākšaugu sējplatības sastādīja 41.8 tūkst. ha ar vidējo ražību 30 cnt uz 1 ha (CSP, 2017).

Ieguvumi audzējot pākšaugus:

- zemākas SEG emisijas, salīdzinot ar citām kultūrām, tauriņzieži izdala 5 - 7 reizes mazāk SEG emisijas no vienas platības vienības;
- svarīga loma oglekļa piesaistē augsnē;
- samazina kopējo fosilās enerģijas daudzuma ietekmi lauksaimniecībā (Lemken et al., 2017).

Pārtikas pākšaugi aizņem minimālu aramzemes daļu. Pārsvarā dominē graudaugi. Sojas pupiņas ir vissvarīgākie un kultivētākie pākšaugi pasaulē. Kopš 1974. gada sojas platības nepārtraukti pieaug un 2014. gadā sasniedza 117.72 miljonus ha (Lemken et al., 2017).

Ieviešot pākšaugu rotāciju, galvenais mērķis ir panākt sasaisti ar nākamās ražas prasībām. Kultūraugu sakārtošana atbilstošā secībā veicina efektīvu resursu izmantošanu, kas uzlabo augsnes produktivitāti. Augseku secībai jālieto labākie kultūraugu pārvaldības nosacījumi (N mēslošanas ātrums un laiks, augsnes apstrāde, ravēšana, apūdeņošana). Lauksaimnieki ievērojami nesamazina N mēslošanas līdzekļu izmantošanu pēc pākšaugu kultūrām, tādēļ rodas slāpekļa noplūžu risks (Bonilla et al., 2017).

Slāpekļa mēslošanas līdzekļu ietaupījums visā Eiropā, ieskaitot pākšaugus, ir 277 kg ha⁻¹ CO₂ gadā (1 kg N = 3,15 kg CO₂). Ir izpētīts, ka puse CO₂, kas rodas NH₃ ražošanas laikā, tiktu atkārtoti izmantots, ja NH₃ pārveidotu par urīnvielu (Lemken et al., 2017).

N₂O veido 5 – 6 % no atmosfēras kopējām SEG emisijām. Lauksaimniecība ir galvenais antropogēnais N₂O emisiju avots (apmēram 60 % emisiju rodas dzīvnieku un kultūraugu audzēšanas rezultātā). Lielākā daļa emisiju rodas no slāpekļa mēslošanas līdzekļu lietošanas. Uz katriem 100 kg N mēslojuma, apmēram, 1.0 kg N izdalās kā N₂O. Noteikti jāatzīmē, ka šis skaitlis var atšķirties dažādu faktoru ietekmē, piemēram, izmantotā N minerālmēslojuma daudzuma, augsnes organiskā C saturs, augsnes pH un fizikālajām īpašībām (Lemken et al., 2017).

Denitrifikācijas procesi ir visnozīmīgākie N₂O radītāji lielākajā daļā kultūru un ganību platībās. Pētījumos N₂O plūsmu mērīšana parādīja, ka zirņi emitē 69 kg N₂O ha⁻¹, daudz mazāk nekā ziemas kvieši (3668 kg N₂O ha⁻¹) un rapsis (534 kg N₂O ha⁻¹). Salīdzinot vīķus ar miežiem, miežos N₂O emisijas bija augstākas nekā vīķos. Turklāt N₂O plūsmas, kas iegūtas no sintētiskajiem mēslošanas līdzekļiem, kas lietoti mēslojot kultūras, miežos bija 2.5 reizes augstākas nekā vīķos (Lemken et al., 2017).

Divos lauka eksperimentos, kas veikti Austrālijā pierādījās, ka kumulatīvās N₂O emisijas rapsim, kas mēslots ar N mēslojumu, pārsniedza zirņus, lauka pupas un lauka zirņus (385 pret 166; 166 un 135 g N₂O ha⁻¹). Autori uzsver, ka pākšaugi ievērojami samazināja emisijas koeficientus, kas liek domāt, ka pākšaugu fiksētajam N ir mazāk N izmešu augsnē nekā mēslošanas līdzeklim N (Lemken et al., 2017).

Pākšaugu ietekme SEG samazināšanā ir atkarīga arī no lauksaimniecības ekosistēmu pārvaldības, kurā tie ir iekļauti. Piemēram, kad lauka pupas audzēja vienkopus, tās izraisīja trīs reizes lielāku kumulatīvo N₂O emisiju nekā neapstrādāti kvieši (attiecīgi 441 pret 152 g N₂O ha⁻¹). Pretēji, kad lauka pupas sēja pēc kviešiem, kumulatīvās N₂O emisijas plūsmas bija par 31% zemākas nekā ar N mēslojamiem kviešiem (Lemken et al., 2017).

Pākšaugi uzlabo vairākus augsnes auglības aspektus, piemēram, SOC un humusa saturu, N un P pieejamību. Attiecībā uz SOC pākšaugi to var palielināt vairākos veidos veicinot biomasas, organiskā C un N veidošanos (Lemken et al., 2017).

Dažādos pētījumos smilšainās augsnēs pākšaugu labvēlīgā ietekme bija redzama pēc trim pētījuma gadiem, kad tika reģistrēts lielāks SOC saturs salīdzinājumā ar augsnēm, kur auga tikai graudaugi (vidēji 7.21 g kg⁻¹). No zirņiem pēc ražas novākšanas oglekļa saturs bija 7.58 g kg⁻¹, lupīnām vidēji bija 7.23 g kg⁻¹.

¹. Pētījumos, kas notikuši Argentīnā, kur sojas pupu un kukurūzas maisījums tika iesēts SOC uzlabojās 23.6 g C kg⁻¹ pret 21.8 6 g C kg⁻¹, kur bija tikai kukurūza. Lielākais potenciāls SOC krājumu uzlabošanai ir proporcija 2:3 (kukurūza - sojas pupiņas) (Lemken et al., 2017).

Pēc pētījuma, kas noticis Austrālijā var secināt par lielāku ražu kviešiem pēc pākšaugiem (lauka zirņi, lupīna, lauka pupas, lēcas) nekā kvieši pēc kviešiem. Raža kvieši pēc kviešiem bija 4 t ha⁻¹, bet kvieši pēc pākšaugiem raža bija 5.2 t ha⁻¹ (Lemken et al., 2017).

Lauka zirņi un lauka pupas augsnē uzkrāj 130 un 153 kg N ha⁻¹. Apmēram 30 – 60 % no uzkrātā kopējā N var būt uzglabāts pazemes biomasā (Lemken et al., 2017).

Rotējot lēcas ar labību, palielinās kopējā graudu raža, kā arī palielinās augsnes mitrums sausās teritorijās. Pētījumi pierāda, ka lauka pupas ir daudz piemērotāka starpkultūra nekā zirņi (Lemken et al., 2017).

Pākšaugi ir piemēroti ilgtspējīgas augkopības sistēmas un lauksaimniecības saglabāšanai. Galvenās pākšaugu priekšrocības ietver piesaistītā slāpekļa daudzumu un augsto organisko vielu kvalitāti, kas izdalās augsnē pēc C/N attiecības. Dažām pākšaugu sugām ir dziļa sakņu sistēma, kas atvieglo uzturvielu solubilizāciju ar sakņu eksudātiem un to uzņemšanu / pārstrādi, kā arī ūdens ieplūšanu dziļākos augsnes slāņos (Lemken et al., 2017).

Brazīlija ir ieviesusi saglabāšanas lauksaimniecību, kurā izmanto sojas pupas kā starpkultūru. Pākšaugiem (lēcas, zirņi lauka pupas u.c.) ir liela nozīme saglabāšanas lauksaimniecībā Ziemeļamerikā, Austrālijā un Turcijā. Galvenais uzdevums nākotnē būs pākšaugu sugas un šķirnes izvēle, kuras varētu būt efektīvi ieviest augkopības sistēmās (Lemken et al., 2017).

1.4.3. Eļļaugi

Rapsis ir izplatītākā eļļas augu kultūra Latvijā. Kultivētās platības ir palielinājušās, sākot ar 2004. gadu. Salīdzinot ar 2003. gada statistiskajiem datiem par sējuma platībām, 2016. gadā ir vērojams, ka rapša kultūra aizņem 3.9 reizes lielākas platības jeb 101.1 tūkst. ha (ziemas rapsis – 75.1 tūkst. ha un vasaras rapsis – 26 tūkst. ha) ar vidējo ražību no ha 27.8 cnt (CSP, 2017). Platību pieaugums ir saistāms ar biodīzeļdegvielas ražošanas attīstību. Rapsi izmanto arī

pārtikas eļļas ražošanai, un ražošanas atlikums ir izmantojams lopbarībā. Dzīves cikla analīzes pētījumu rezultāti ir izvirzījuši pieņēmumu, ka kopumā tiešās N_2O emisijas sastāda 20 līdz 40 % no biodīzeļdegvielas ražošanas un patēriņa emisijām (Ruser et al., 2017).

Ziemas rapsim ir nepieciešamas lielas ikgadējās slāpekļa mēslojuma devas, kā arī augam ir citādākas slāpekļa uzņemšanas tendences gada griezumā, salīdzinot ar graudaugiem. Rudenī ziemas rapsis intensīvi piesaista slāpekli no augsnes, taču augu atliekas pēc kulšanas satur ievērojamu daudzumu slāpekli, jo rapša sēklu slāpekļa akumulācija ir neliela. Tas norāda uz aktuālo problēmu - slāpekļa zudumiem pēc kultūras ražas novākšanas. Salīdzinot ar graudaugiem, ziemas rapša ikgadējās N_2O emisijas ir par 22 % lielākas, izmantojot vienādas mēslošanas devas (Walter et al., 2015).

Rapša iekļaušanai augu sekā ir arī pozitīvi aspekti, jo tas pārtrauc augu patogēnu ciklu, samazinot pesticīdu nepieciešamību nākamo kultūru audzēšanā. Tiek uzlabota augsnes struktūra lielās sakņu sistēmas dēļ. Viena no piemērotākajām sekojošām kultūrām ir ziemas kvieši. Tie izmanto augsnē uzkrāto slāpekli pēc rapša kultivācijas, palielinot ražas produktivitāti (Vinzent et al., 2017).

1.4.4. Zālāji

Daudzgadīgie zālāji tiek izmantoti gan lauksaimniecības dzīvnieku ganībām, gan siena sagatavošanai. Eiropas Savienībā apmēram 22 % no platībām ir apsaimniekoti zālāji (Drewer et al., 2016). Latvijā ilggadīgo zālāju sējplatības 2016. gadā bija 298.7 tūkst. ha (CSP, 2017).

Zālāji ir viens no nozīmīgākajiem N_2O , CO_2 un CH_4 avotiem, ja tiek izmantoti kā ganības atgremotājdzīvniekiem. Maksimālās ražības sasniegšanai – tie tiek intensīvi mēsloti, veicinot N_2O emisijas. Periodiski zālāji tiek atjaunoti uzarot, kas var izraisīt izmaiņas SEG emisiju bilancē. Slikti drenētu augšņu uzaršana var labvēlīgi ietekmēt tās struktūru (porainību, ūdens infiltrāciju), samazinot denitrifikāciju un N_2O emisijas. Periodā pēc mehāniskās zemes apstrādes palielinās SEG emisijas atbilstoši augsnes un klimatiskajiem apstākļiem (Drewer et al., 2016).

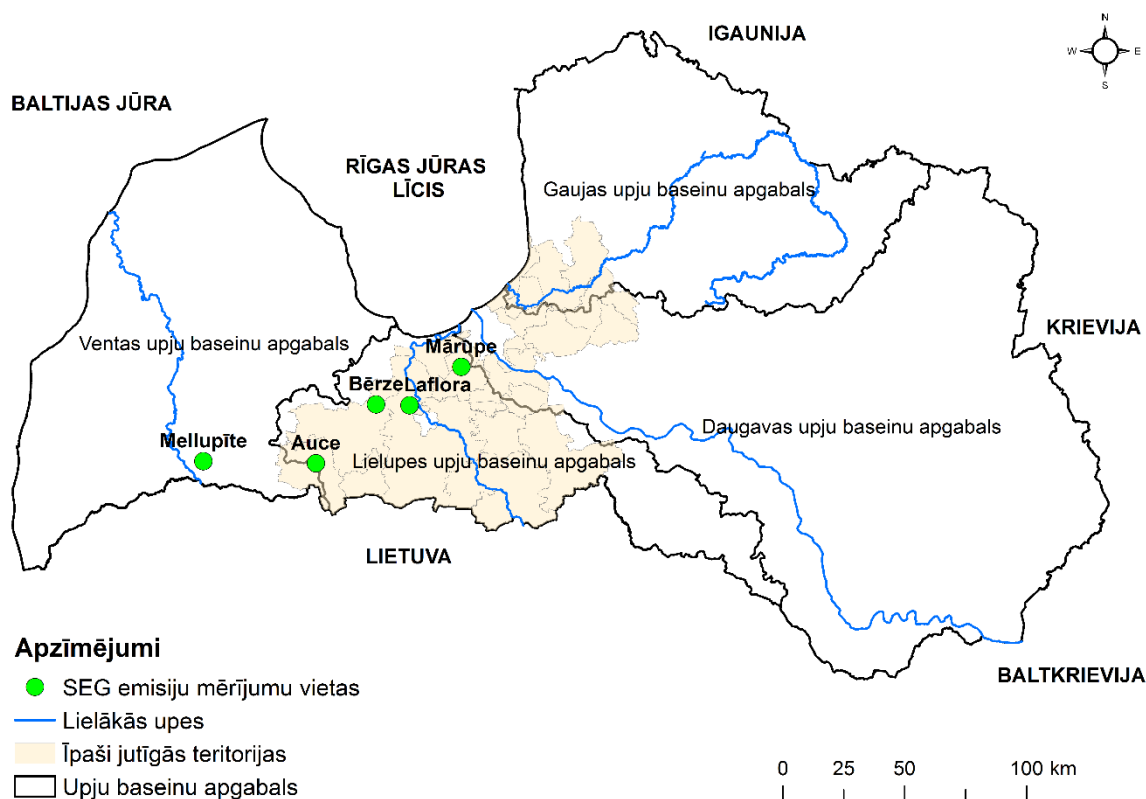
Galvenā atšķirība starp zālāju un viengadīgām kultūrām ir augšanas sezonas garums. Zālāji garākā periodā uzņem slāpekli, novēršot minerālā slāpekļa uzkrāšanos augsnē. Tos ir lietderīgi sēt laikā, kad lauksaimniecībā izmantojamā

zeme ir nenosegta (Freibauer and Kaltschmitt, 2003). Intensīvi kopti zālāji, piesaistot atmosfēras CO_2 , nespēj līdzsvarot N_2O emisijas, izteiktas CO_2 ekvivalentā, kas rodas apsaimniekošanas rezultātā (Soussana et al., 2007).

2. MATERIĀLI UN METODES

2.1. Pētījuma objektu izvēle un raksturojums

2017. 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 lauksaimnieciskās darbības ietvaros tiek izmantotas minerālaugsnes (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 6.att.



6.att. SEG emisiju mērījumu vietas.

Izklaidētā 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	N/a	28.07.2016	08.09.2016	N/a	N/a
Sēja	N/a	12.08.2016	10.09.2016	N/a	N/a
Kultūraugs	Kukurūza	Ziemas rapsis	Ziemas kvieši	Atmata	Krūmmellenes
Ražas novākšana	N/a	11.08.2017	21.08.2017	N/a	N/a
Augsnes apstrāde	N/a	25.08.2017	27.08.2017	N/a	N/a
Sēja	N/a	01.10.2017	Neiesēja	N/a	N/a
Kultūraugs	N/a	Ziemas kvieši	Neiesēja	N/a	N/a

N/a – informācijas 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 7. att.

7. att., 8. att., 9. att., 10. att. un 11. 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. Šajā reģionā dominējošās velēnu karbonātaugsnes uz karbonātiskiem cilmiežiem ir dabīgi auglīgas un lauksaimniecības aktivitātēm piemērotas augsnes (Nikodemus et al., 2008). 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.



7. 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 izklīdēts vairākās mēslošanas devās, norādīts 2. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums tika izteikts tīrvielā, ņemot vērā izklīdēto minerālmēslojumu un slāpekļa tīrvielas saturu minerālmēslos.

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

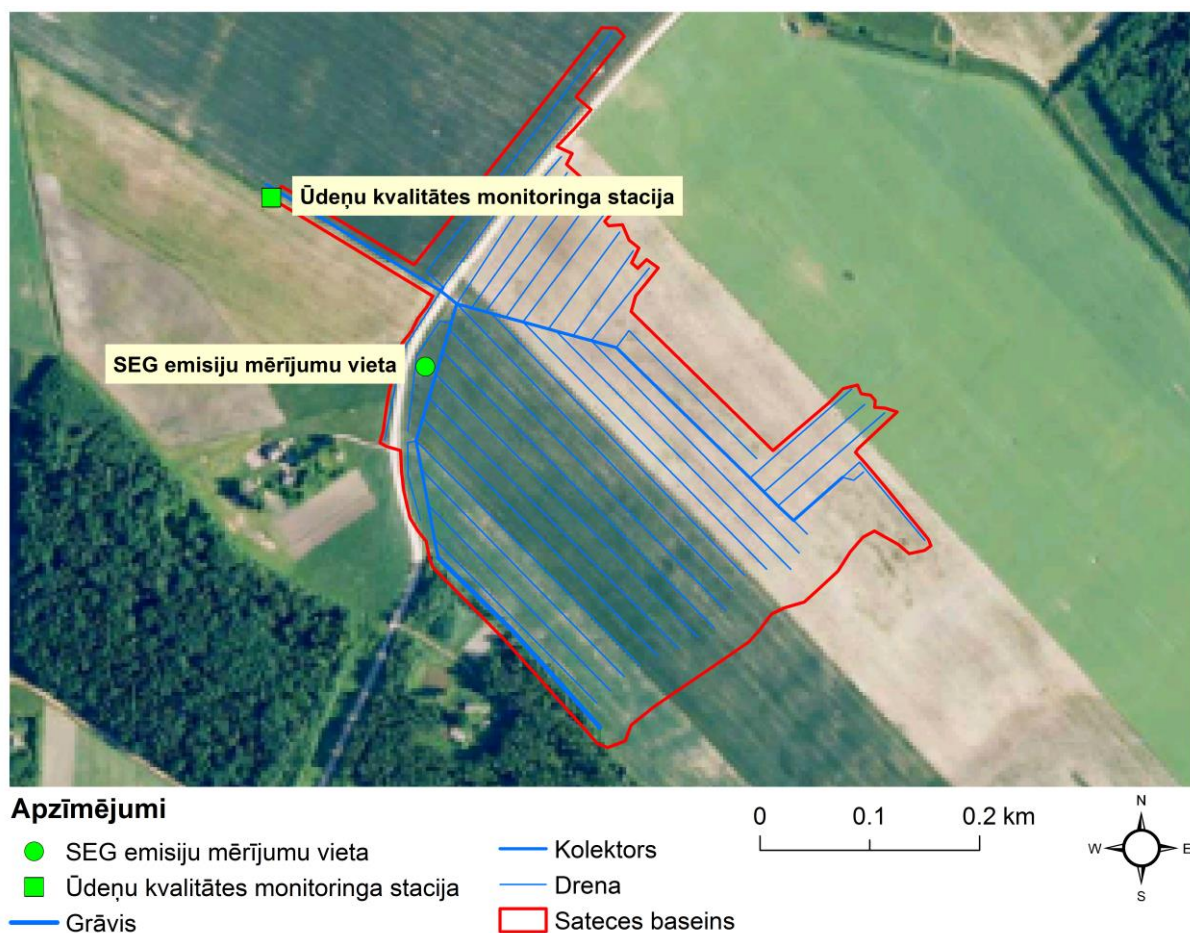
Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpeklis tīrvielā
	dd.mm.yyyy	kg N ha ⁻¹
Pamatmēslojums	N/a	N/a
Papildmēslojums	N/a	N/a
Papildmēslojums	N/a	N/a

N/a – informācijas nav pieejama, jo aizkavējusies kukurūzas ražas novākšana.

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. Drenu lauka ūdeņu kvalitātes monitoringa stacija, SEG emisiju mērījumu vieta un nosusināšanas sistēmas redzamas 8. att.



8. 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 3. tab.

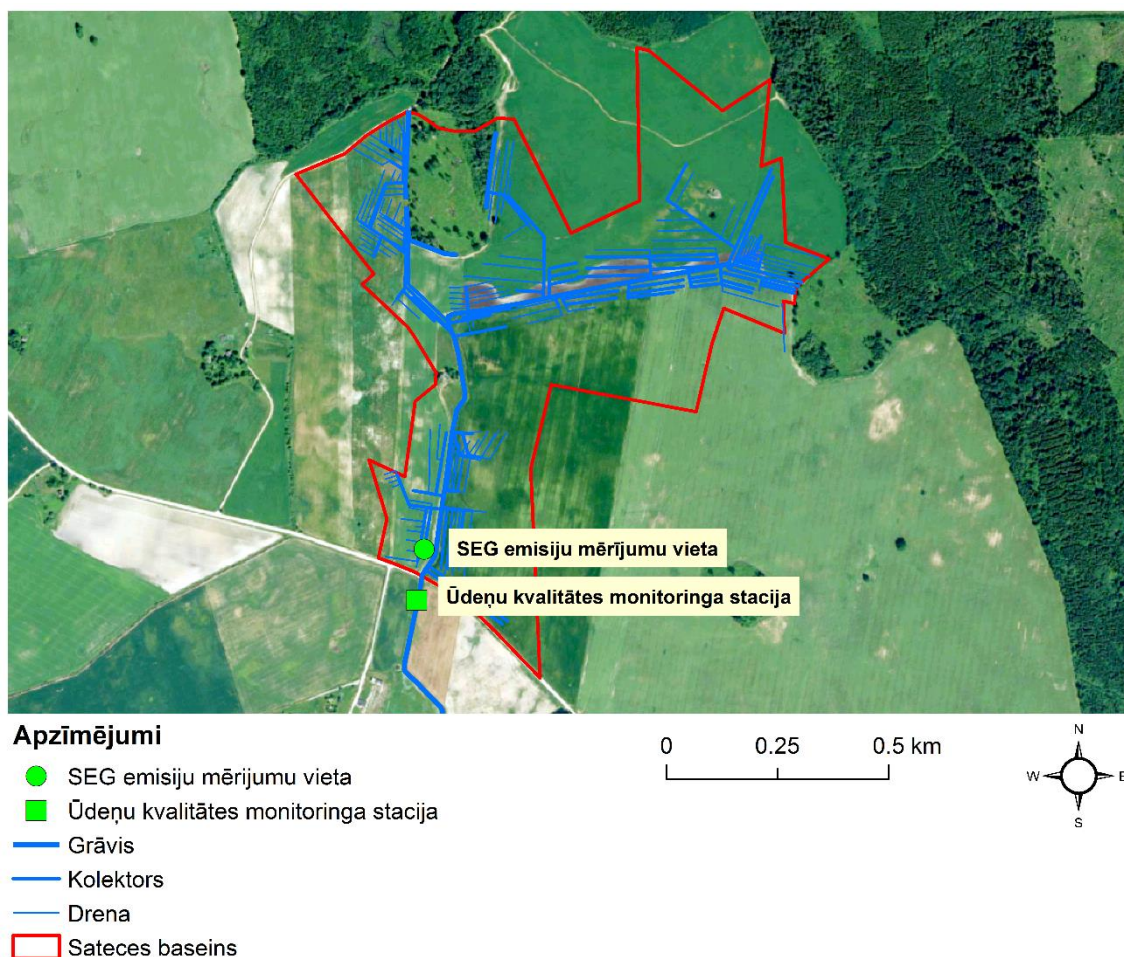
3. tab. Iestrādātais slāpekļa daudzums Mellupītes pētījuma teritorijās.

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums	Slāpekļis tīrvielā
	dd.mm.yyyy	kg N ha-1
Pamatmēslojums	12.08.2016	37.5
Papildmēslojums	27.03.2017	38.8
Papildmēslojums	24.04.2017	36
Papildmēslojums	15.05.2017	60

N/a –informācijas tiks papildināta līdz gala ziņojuma iesniegšanas laikam.

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. Ūdeņu kvalitātes monitoringa stacija un SEG emisiju mērījumu vietas norādītas 9. att.



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

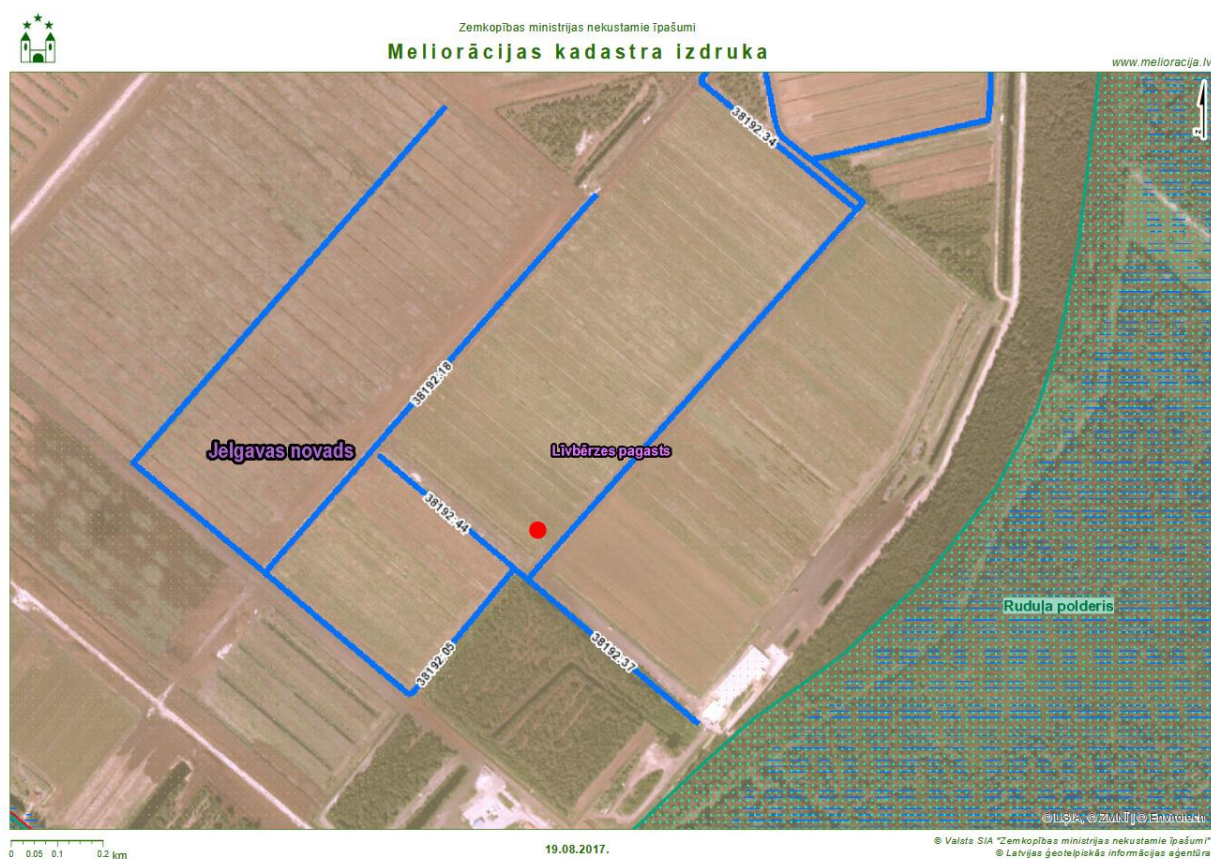
Auces monitoringa stacijas sateces baseina teritorijā iestrādātais slāpekļa daudzums tīrvielā ir apkopots 4. tab.

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

Kultūrauga mēslošana	Iestrādes datums dd.mm.yyyy	Slāpekļlis tīrvielā kg N ha-1
Pamatmēslojums	10.09.2016	20
Papildmēslojums	27.03.2017	68
Papildmēslojums	16.05.2017	72

2.1.4. Lafloras pētījumu vieta

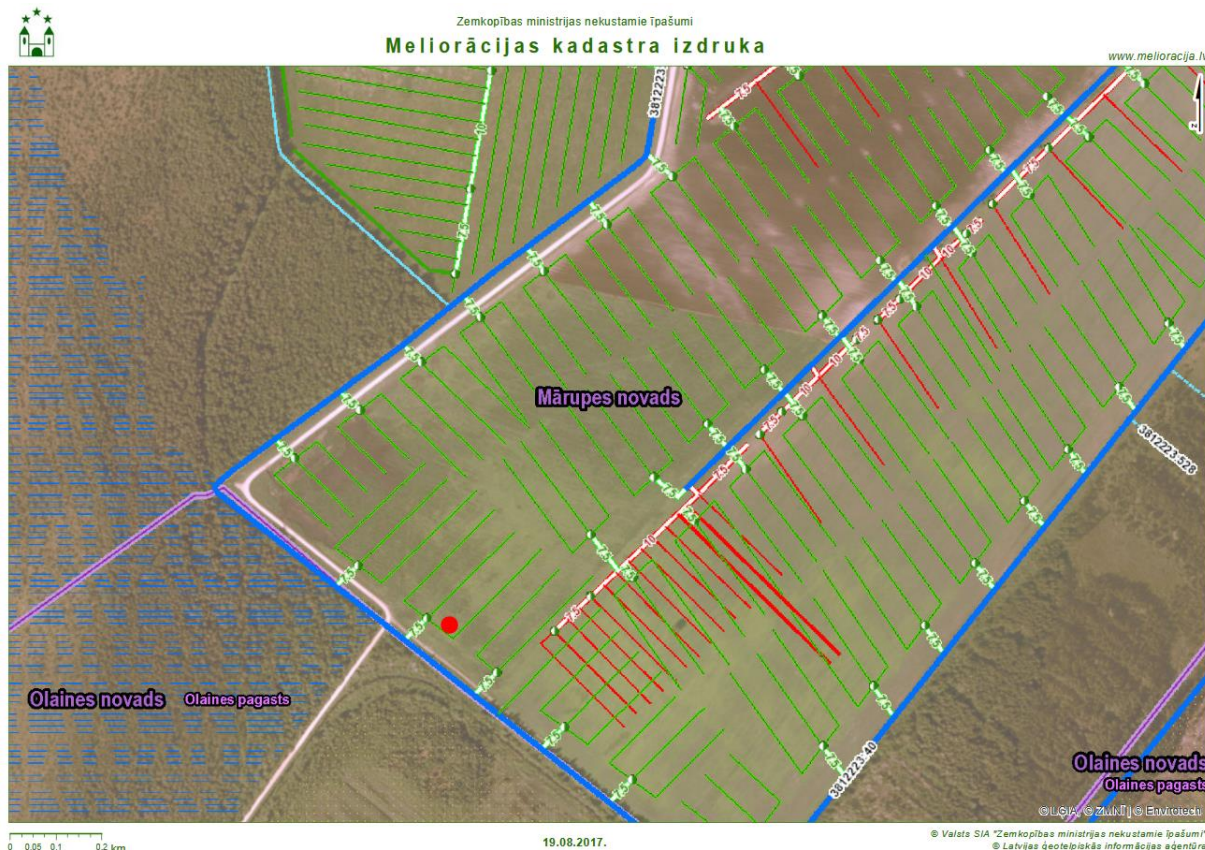
Lafloras pētījumu vieta atrodas Kaigu kūdras purvā, kurā rūpnieciski tiek iegūta un ražota kūdras produkcija. SEG emisiju mērījumu vietā tiek audzētas krūmmellenes, teritorija ir meliorēta, izmantojot plašu grāvju sistēmu, regulāri tiek veikti nokaltošu zaru un zāles plaušana. Nav pieejama informācija mēslojuma izmantošanu šajā pētījuma vietā. Laflora pētījumu vieta un tai raksturīgie melioratīvie pasākumi norādīti 10. att.



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

2.1.5. Mārupes pētījumu vieta

Pētījuma perioda sākuma posmā Mārupes pētījumu vietā lauksaimniecībā izmantojamā zeme bija atstāta atmatā. Pētījuma gaitā laukā tika izsmidzināti augu aizsardzības līdzekļi, kā arī veikta augsnes pirmreizējā apstrāde un veikta mēslošana. Nav pieejama informācija par izmantoto mēslojuma veidu. Mārupes pētījuma vieta attēlota 11. att.



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

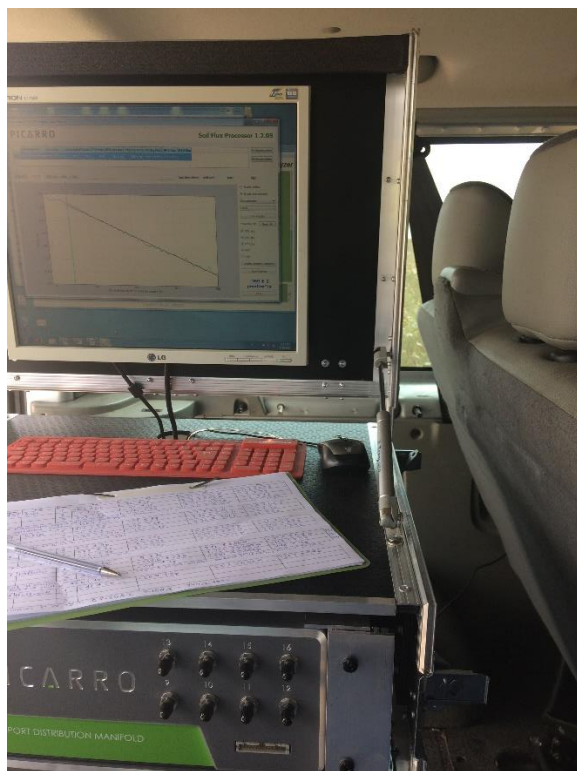
2.2. Mērījumu veikšana ar Picarro

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

2.2.1. 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 N_2O , CH_4 , CO_2 , NH_3 , un H_2O ar vienas sekundes vidējo intervālu. Sīkāk par iekārtas tehniskajiem parametriem un tās izmantošanas iespējām ir aprakstīts Fleck et al., (2013) pētījumā. Gāzu mērījumi tika veikti izmantojot caurspīdīgas 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: J.Pilecka).



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

Pirms augsnē gāzu emisiju mērījumiem tika veikti augsnē mitruma mērījumi, izmantojot mitruma mērītāju gruntīm Theta Probe, Delta-T Devices, kas veic augsnē mitruma mērījumus augsnē virsējā slānī (skat. 14. att.). Augsnē 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.



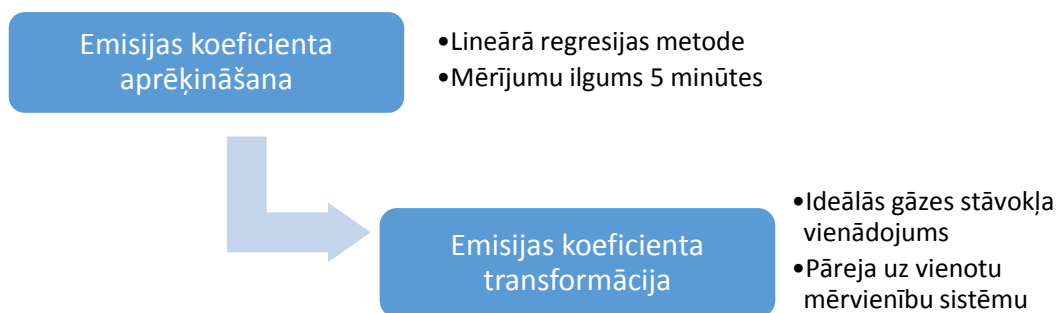
14. att. Augsnes mitruma mērītājs (autors: J.Pilecka).



15. att. Diver barometriskā spiediena mērītāji (autors: J.Pilecka).

2.2.2. 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.

2.2.2.1. Emisiju koeficienta aprēķins

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

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

(1)

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

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

(2)

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

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

(3)

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

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

(4)

R^2 - determinācijas koeficients

y – koncentrācija
x – laiks sekundēs
n – mērījumu skaits

2.2.2.2. Emisijas koeficienta transformācijas

Emisiju koeficienta pārrēķinam uz koncentrāciju diennaktī no hektāra 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 m³;

A – kameras laukums m²;

Δc/ΔT – vidējā koncentrācijas izmaiņa laikā ppm/s;

T – kameras temperatūra °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

3.1. SEG mērījumi

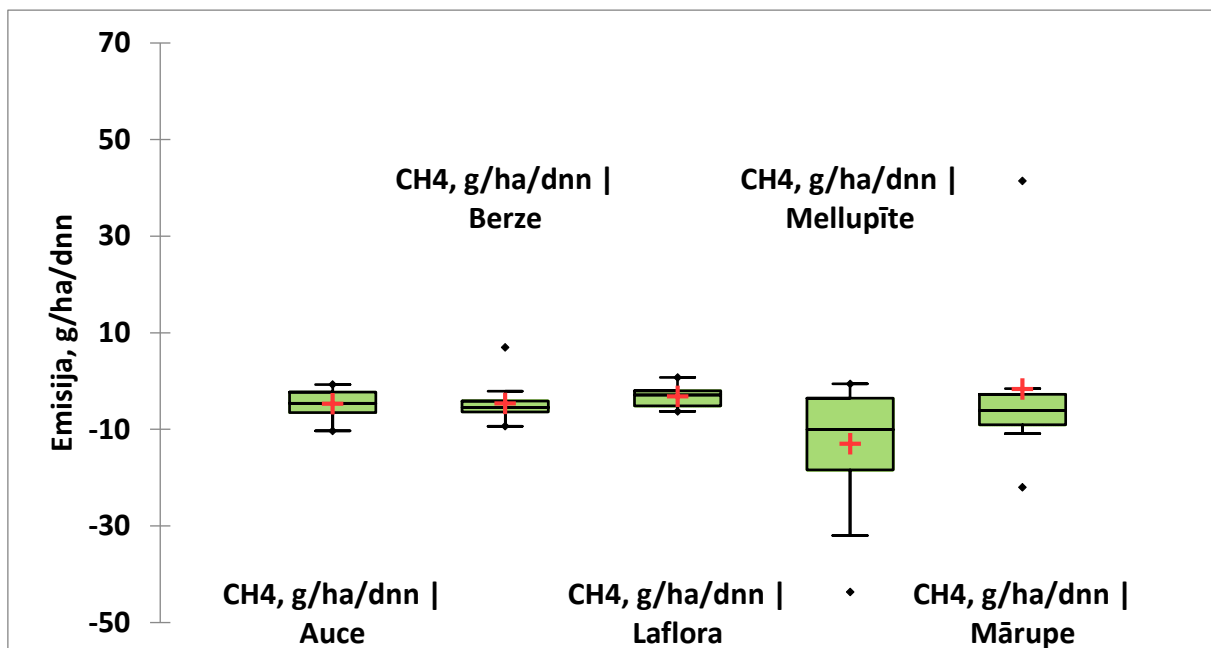
Auces, Bērzes, Mellupītes un Mārupes pētījumu vietās mērījumi tika veikti 5 reizes, bet Lafloras pētījuma vietā – 6 reizes. Katrā objektā tika veikti N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 mērījumi 3 kamerās, augsnes mitruma un temperatūras mērījumi. Iegūto datu statistiskās analīzes rezultāti ir paskaidroti 3. nodaļas apakšnodaļās.

3.1.1. Metāna mērījumu rezultāti

CH_4 emisijas, veicot mērījumus, bija ar negatīvu tendenci, kas arī atspoguļojas rezultātos (skat. 5. tab. un 17. 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. Vislielākā amplitūda tika novērota Mārupes pētījuma objektā. Šajā objektā ir organiskā augsne, kas strauji reaģē uz mitruma režīma izmaiņām, kā rezultātā notiek anaerobi procesi un izdalās metāna emisija.

5. tab. CH_4 emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.

Statistiskie rādītāji	CH_4 , g/ha/dnn Auce	CH_4 , g/ha/dnn Berze	CH_4 , g/ha/dnn Laflora	CH_4 , g/ha/dnn Mellupīte	CH_4 , g/ha/dnn Mārupe
Novērojumu skaits	15	15	18	16	15
Minimālā vērtība	-10,306	-9,355	-6,274	-43,656	-22,018
Maksimālā vērtība	-0,722	6,960	0,761	-0,564	41,450
Amplitūda	9,583	16,315	7,034	43,092	63,468
1. kvartile	-6,535	-6,364	-5,143	-18,414	-9,070
Mediāna	-4,579	-5,479	-2,908	-10,058	-6,046
3.kvartile	-2,297	-4,126	-2,003	-3,553	-2,719
Summa	-70,913	-69,509	-57,216	-207,269	-24,833
Vidējā vērtība	-4,728	-4,634	-3,179	-12,954	-1,656
Variance (n)	8,137	14,383	4,103	130,472	250,355
Standartnovirze (n)	2,853	3,792	2,026	11,422	15,823
Variācijas koeficients	-0,603	-0,818	-0,637	-0,882	-9,557
Vidējās vērtības standartklūda	0,762	1,014	0,491	2,949	4,229



17. att. CH₄ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.

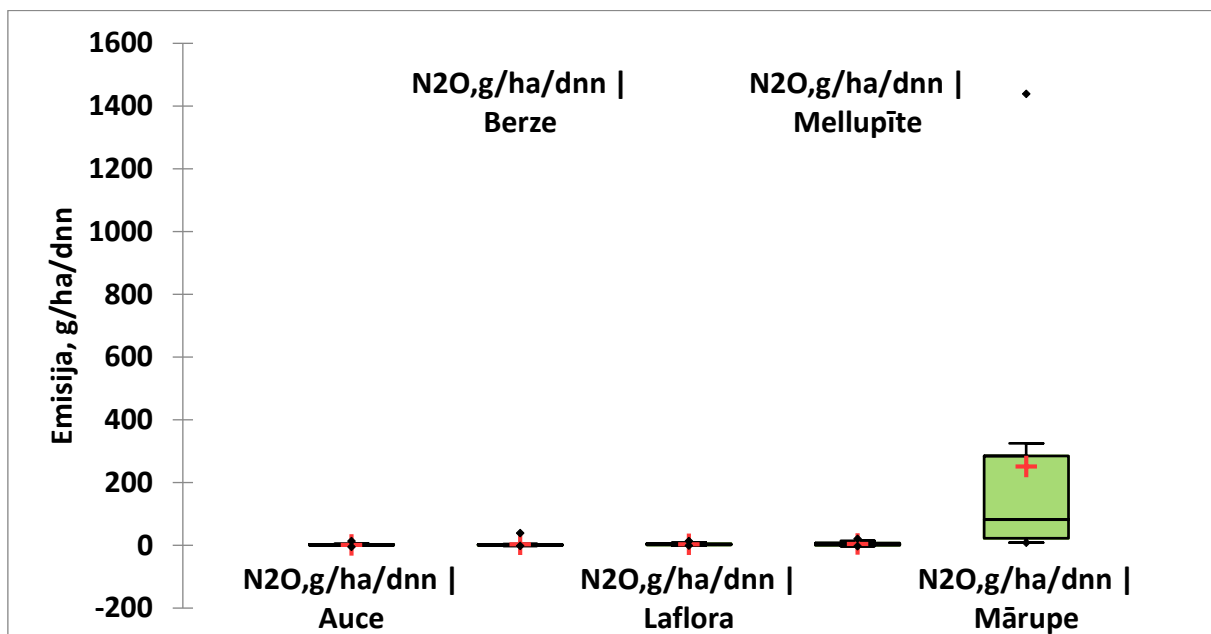
3.1.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultāti

Mērījumu rezultāti rāda (skat. 6. tab.), ka N₂O koncentrācijas nozīmīgi atšķiras, salīdzinot Mārupes pētījuma vietu ar pārējām pētījuma vietām. Vislielākā mērījumu rezultātu amplitūda arī ir novērojama tieši Mārupes pētījuma vietā, maksimālā vērtība Mārupes pētījuma stacijā vairākkārtīgi pārsniedz pārējās stacijās novēroto (skat. 18. att.).

6. tab. N₂O emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.

Statistiskie rādītāji	N ₂ O, g/ha/dnn Auce	N ₂ O, g/ha/dnn Berze	N ₂ O, g/ha/dnn Laflora	N ₂ O, g/ha/dnn Mellupīte	N ₂ O, g/ha/dnn Mārupe
Novērojumu skaits	15	15	18	16	15
Minimālā vērtība	-3,917	-1,673	-0,379	-2,549	8,594
Maksimālā vērtība	13,577	39,547	14,261	21,144	1439,323
Amplitūda	17,494	41,220	14,640	23,693	1430,729
1. kvartile	0,628	-0,209	1,417	0,542	22,170
Mediāna	1,066	0,761	2,986	2,947	82,025
3.kvartile	2,795	2,167	5,219	6,844	284,443
Summa	30,725	51,413	67,346	76,817	3780,842
Vidējā vērtība	2,048	3,428	3,741	4,801	252,056
Variance (n)	13,532	95,460	12,520	41,028	155934,422
Standartnovirze (n)	3,679	9,770	3,538	6,405	394,885
Variācijas koeficients	1,796	2,851	0,946	1,334	1,567

Statistiskie rādītāji	N ₂ O, g/ha/dnn Auce	N ₂ O, g/ha/dnn Berze	N ₂ O, g/ha/dnn Laflora	N ₂ O, g/ha/dnn Mellupīte	N ₂ O, g/ha/dnn Mārupe
Vidējās vērtības standartklūda	0,983	2,611	0,858	1,654	105,538



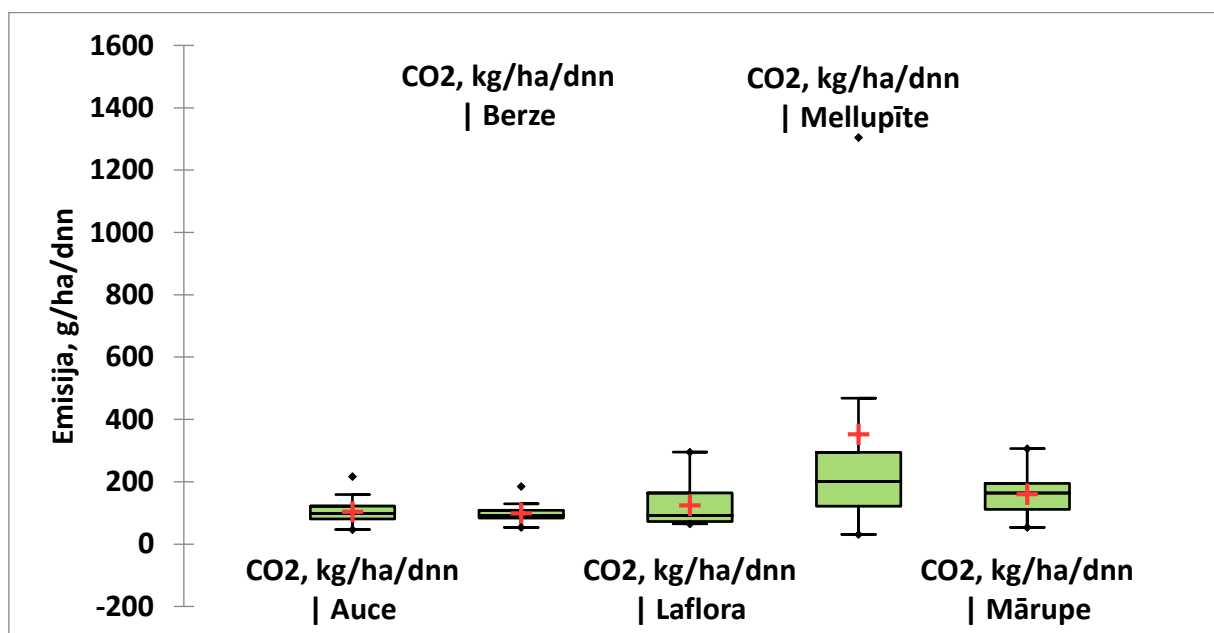
18. att. N₂O emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.

3.1.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti

CO₂ emisijas Auces, Bērzes, Lafloras un Mārupes objektos ievērojamas atšķirības netika konstatētas (skat. 7. tab.), taču Mellupītes poligonā atšķirības ir nozīmīgas. Vidējā CO₂ emisijas vērtība ir aptuveni 3 reizes lielāka nekā pārējos objektos, bet ir jāņem vērā, ka Mellupītes objektā tika novēroti vairāki ekstrēmi, kas arī ietekmē šo rezultātu, tāpēc, lai to attiecinātu uz visu pētījuma objektu, ir nepieciešams palielināt mērījumu skaitu iespēju robežās (skat. 19. att.).

7. tab. CO₂ emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.

Statistiskie rādītāji	CO ₂ , kg/ha/dnn Auce	CO ₂ , kg/ha/dnn Berze	CO ₂ , kg/ha/dnn Laflora	CO ₂ , kg/ha/dnn Mellupīte	CO ₂ , kg/ha/dnn Mārupe
Novērojumu skaits	15	15	18	16	15
Minimālā vērtība	46,697	53,618	65,292	31,144	53,618
Maksimālā vērtība	217,135	184,812	295,204	1304,328	306,498
Amplitūda	170,437	131,193	229,912	1273,184	252,880
1. kvartile	81,188	84,059	72,518	121,592	111,666
Mediāna	97,730	92,025	92,159	200,536	164,277
3.kvartile	122,067	108,187	164,258	294,539	194,318
Summa	1564,471	1485,679	2234,242	5646,106	2400,078
Vidējā vērtība	104,298	99,045	124,125	352,882	160,005
Variance (n)	1877,948	891,787	4196,113	147414,541	4061,807
Standartnovirze (n)	43,335	29,863	64,777	383,946	63,732
Variācijas koeficients	0,415	0,302	0,522	1,088	0,398
Vidējās vērtības standartklūda	11,582	7,981	15,711	99,134	17,033



19. att. CO₂ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.

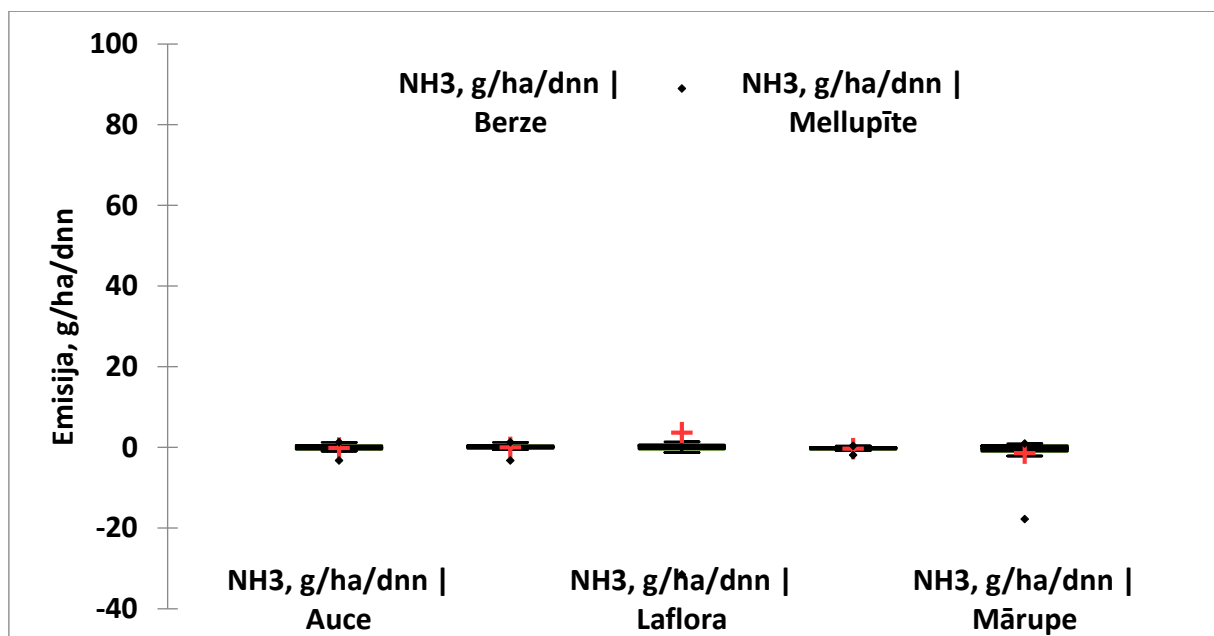
3.1.4. Amonjaka mērījumu rezultāti

Amonjaka koncentrācijas visu mērījumu laiku bija svārstīgas, taču, kā redzams 8. tab., ir vērojamas atšķirības starp pētījumu vietām, kurās ir minerālaugsne un kurās ir organiskā augsne. Negatīvas amonjaka vērtības norāda

uz augsnes aktīvā slāņa iesaisti amonjaka patēriņā. Vislielākā amplitūda un vidējā vērtība tika novērota Lafloras pētījuma vietā (skat. 1. att.).

8. tab. NH₃ emisijas statistiskie rādītāji pētījumu objektos 2017. gadā.

Statistiskie rādītāji	NH ₃ , g/ha/dnn Auce	NH ₃ , g/ha/dnn Berze	NH ₃ , g/ha/dnn Laflora	NH ₃ , g/ha/dnn Mellupīte	NH ₃ , g/ha/dnn Mārupe
Novērojumu skaits	15	15	18	16	15
Minimālā vērtība	-3,274	-3,274	-31,524	-1,901	-17,758
Maksimālā vērtība	1,255	1,255	88,982	0,379	0,938
Amplitūda	4,529	4,529	120,506	2,280	18,696
1. kvartile	-0,419	-0,185	-0,386	-0,451	-0,918
Mediāna	-0,149	0,084	0,185	-0,101	-0,319
3.kvartile	0,442	0,456	0,602	0,019	0,449
Summa	-2,290	-0,026	65,153	-5,244	-21,022
Vidējā vērtība	-0,153	-0,002	3,620	-0,328	-1,401
Variance (n)	1,022	1,024	484,872	0,402	19,728
Standartnovirze (n)	1,011	1,012	22,020	0,634	4,442
Variācijas koeficients	-6,624	-575,038	6,083	-1,934	-3,169
Vidējās vērtības standartklūda	0,270	0,270	5,341	0,164	1,187



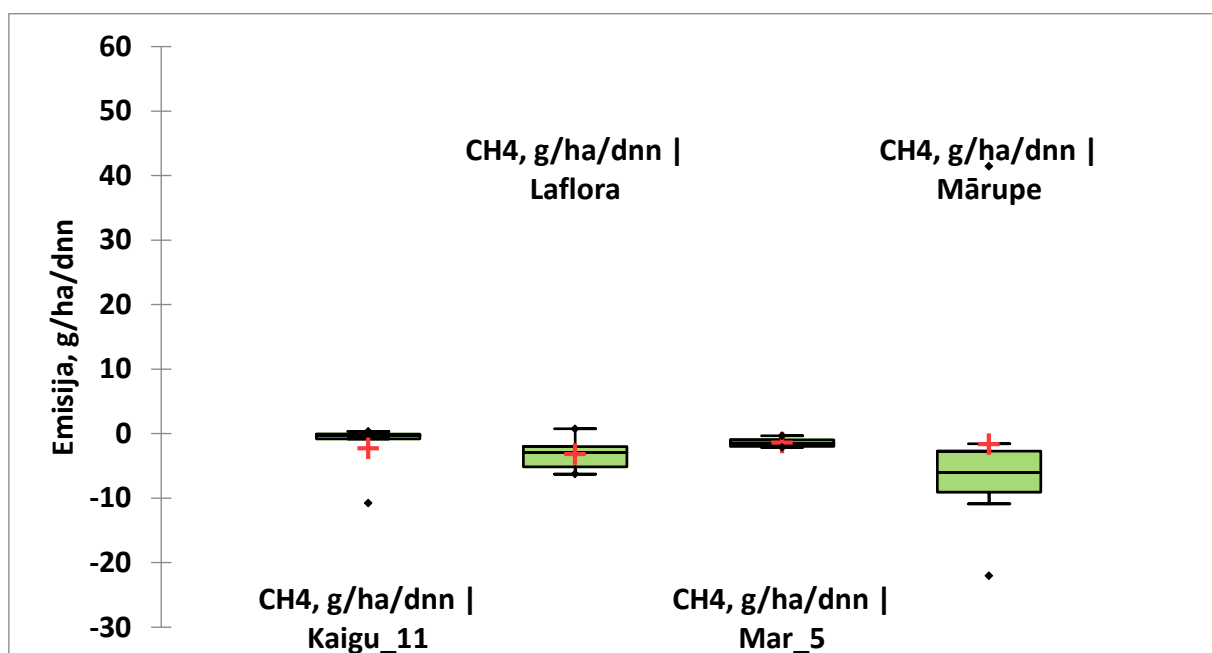
20. att. NH₃ emisiju novērojumi pētījumu objektos 2017. gadā.

3.2. SEG mērījumu verifikācija

SEG mērījumu verifikācija tika veikta, sadarbojoties ar LVMI “Silava” pētniekiem, kuri LIFE REstore projekta ietvaros veic CO₂, N₂O un CH₄ mērījumus Kaigas purvā un Mārupē, izmantojot slēgto kambaru metodi. LIFE Restore veiktā mērījuma laiks katrā objektā ir viena stunda, kuras laikā gaisa paraugs manuāli tiek paņemts ik pēc 20 min. Gāzu koncentrācija paraugā tiek noteikta laboratorijā ar gāzu hromatogrāfu. Mērījumi tika veikti jūlija un augusta mēnešos – LIFE Restore 2 reizes katrā objektā, subsīdiju projekta ietvaros 5 reizes Mārupes objektā un 6 reizes Lafloras objektā.

3.2.1. Metāna mērījumu rezultātu salīdzinājums

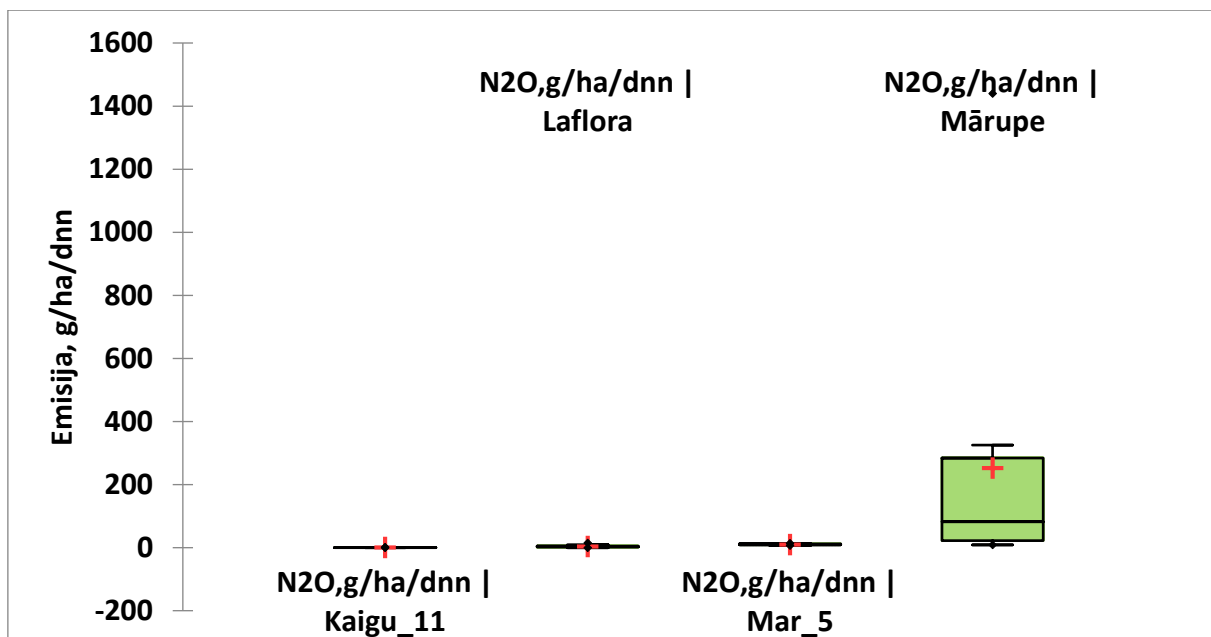
Metāna emisiju vidējās vērtības vērā ņemami neatšķiras, salīdzinot abas mērījuma metodes (skat. 21. att.).



21. att. CH₄ mērījumu salīdzinājums (Kaigu_11 un Mar_5 ir LVMI “Silava” veiktie mērījumi).

3.2.2. Dislāpekļa oksīda mērījumu rezultātu salīdzinājums

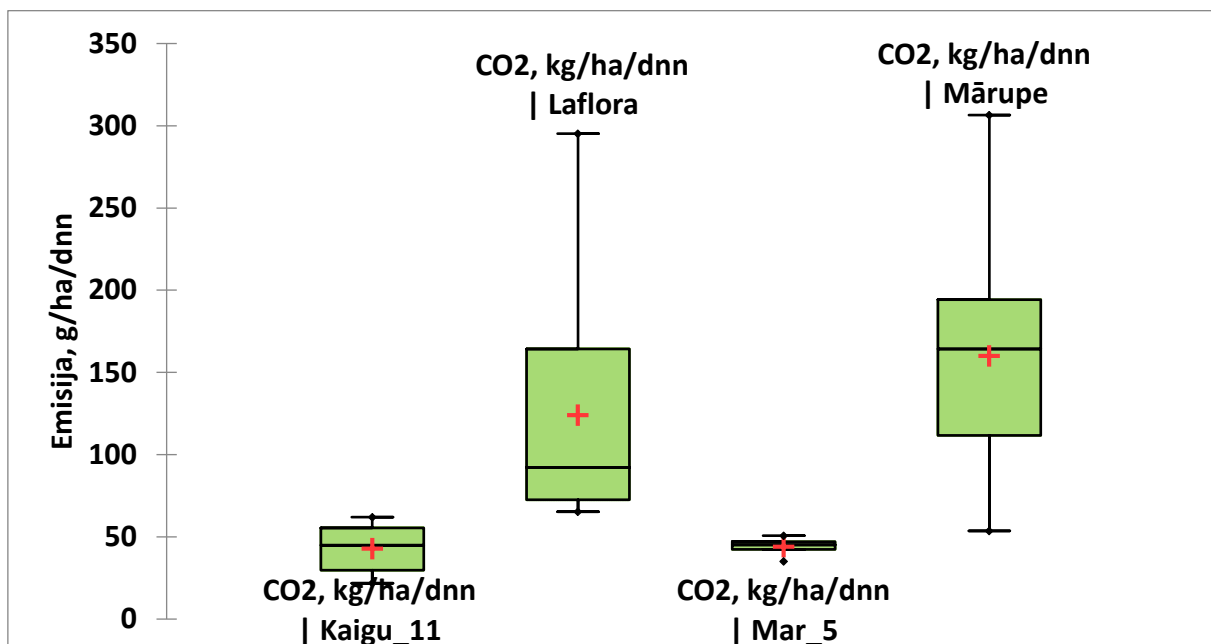
Nav novērojamas būtiskas atšķirības starp mērījumiem Lafloras pētījuma objektā. Atšķirības starp mērījumu rezultātiem ir skaidrojamas ar atšķirīgo metodi.



22. att. N₂O mērījumu salīdzinājums (Kaigu_11 un Mar_5 ir LVMI “Silava” veiktie mērījumi).

3.2.3. Ogļskābās gāzes mērījumu rezultāti

Ir novērojamas būtiskas atšķirības starp mērījumiem Lafloras pētījuma objektā un Mārupes pētījuma objektā. Atšķirības starp mērījumu rezultātiem ir skaidrojamas ar atšķirīgo metodi.



23. att. CO₂ mērījumu salīdzinājums (Kaigu_11 un Mar_5 ir LVMI “Silava” veiktie mērījumi).

3.3. Augsnes organiskā satura ietekme

Augsnes organiskās vielas saturs ir viens no nozīmīgākajiem SEG emisiju ietekmējošajiem faktoriem. Šajā apakšnodaļā ir analizētas gāzu savstarpējās sakarības, kā arī augsnes mitruma ietekme uz SEG emisiju koeficientiem. SEG emisiju koeficienti neatbilst normālam sadalījumam, tādēļ sakarību identificēšanai tika izmantots Kendala korelācijas koeficients (Chen, Popovich, 2002; Coffman et al., 2008). Gāzu savstarpējā sakarība visos objektos visās kamerās ir parādīta 10. tab. Statistiski nozīmīga pozitīva korelācija ir starp CO₂ un N₂O emisijām, kas ir izskaidrojams ar augstu mikroorganismu aktivitāti aerobos un anaerobos apstākļos. Statistiski nozīmīga negatīva korelācija ir starp CO₂ un CH₄, kas apstiprina literatūrā pieminētās likumsakarības starp gāzu koncentrācijām.

9. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām kamerām.

Emisiju koeficienti	N ₂ O, g/ha/dnn	CH ₄ , g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
N ₂ O, g/ha/dnn	1	-0,041	0,172**	0,095
CH ₄ , g/ha/dnn	-0,041	1	-0,290***	-0,013
CO ₂ , kg/ha/dnn	0,172**	-0,290***	1	-0,059
NH ₃ , g/ha/dnn	0,095	-0,013	-0,059	1

*** p vērtība <0.01; ** p vērtība <0.05; *p vērtība <0.1

Analizējot atsevišķi organisko augšņu un neorganisko augšņu kameru gāzu emisijas, ir redzams, ka neorganiskajās augsnēs veidojas pozitīva statistiski nozīmīga sakarība starp CO₂ un N₂O emisijām, kā arī negatīva statistiski nozīmīga sakarība starp CH₄ un CO₂, kas apstiprina līdzšinējo pētījumu rezultātus (skat. 11.tab.).

10. tab. Kendala korelācijas koeficienti neorganiskās augsnes kamerām.

Variables	N ₂ O, g/ha/dnn	CH ₄ , g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
N ₂ O, g/ha/dnn	1	-0,123	0,262**	0,144
CH ₄ , g/ha/dnn	-0,123	1	-0,426***	-0,034
CO ₂ , kg/ha/dnn	0,262**	-0,426***	1	-0,063
NH ₃ , g/ha/dnn	0,144	-0,034	-0,063	1

*** p vērtība <0.01; ** p vērtība <0.05; *p vērtība <0.1

Organiskajās augsnēs netika atrasta statistiski nozīmīga sakarība starp gāzu emisijām, kas varētu būt izskaidrojams ar atšķirīgajiem augšņu apsaimniekošanas apstākļiem (skat. 12.tab.).

11. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām.

Variables	N ₂ O, g/ha/dnn	CH ₄ , g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
N ₂ O, g/ha/dnn	1	-0,144	0,065	0,019
CH ₄ , g/ha/dnn	-0,144	1	-0,129	-0,004
CO ₂ , kg/ha/dnn	0,065	-0,129	1	-0,087
NH ₃ , g/ha/dnn	0,019	-0,004	-0,087	1

*** p vērtība <0.01; ** p vērtība <0.05; *p vērtība <0.1

3.4. Augsnes temperatūras ietekme

Analizējot visas kameras kopā, augsnes temperatūrai ir statistiski nozīmīga pozitīva korelācija, ar N₂O emisijām (skat. 13.tab.).

12. tab. Kendala korelācijas koeficienti visām augsnes kamerām.

Variables	Augsnes temperatūra, C°	N ₂ O, g/ha/dnn	CH ₄ , g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, C°	1	0,238***	-0,088	0,128	0,026
N ₂ O, g/ha/dnn	0,238***	1	-0,041	0,172**	0,095
CH ₄ , g/ha/dnn	-0,088	-0,041	1	-0,290***	-0,013
CO ₂ , kg/ha/dnn	0,128	0,172**	-0,290***	1	-0,059
NH ₃ , g/ha/dnn	0,026	0,095	-0,013	-0,059	1

*** p vērtība <0.01; ** p vērtība <0.05; *p vērtība <0.1

Analizējot atsevišķi kameras pa grupām, redzams, ka N₂O emisijām nav statistiski nozīmīgi korelācija ar augsnes temperatūru neorganiskās augsnes kamerās. CH₄ emisijas statistiski nozīmīgi negatīvi korelē ar augsnes temperatūru neorganiskajās kamerās, kas arī ir saistīts ar to, ka mērījumi tika veikti pie augsnes temperatūru amplitūdas no 13 līdz 22 °C, kas savukārt saistīts ar vasaras mitruma deficītu augsnē. Augsnes temperatūrai ir statistiski nozīmīga pozitīva korelācija neorganiskās augsnes kamerām kopā, kā arī drenētu un nedrenētu kameru grupām ar CO₂ koncentrāciju (skat. 14.tab.)

13. tab. Kendala korelācijas koeficienti neorganiskās augsnes kamerām.

Variables	Augsnes temperatūra, °C	N2O, g/ha/dnn	CH4, g/ha/dnn	CO2, kg/ha/dnn	NH3, g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, C0	1***	-0,020	-0,294***	0,336***	-0,072
N2O,g/ha/dnn	-0,020	1	-0,123	0,262***	0,144
CH4, g/ha/dnn	-0,294***	-0,123	1	-0,426***	-0,034
CO2, kg/ha/dnn	0,336***	0,262***	-0,426***	1***	-0,063
NH3, g/ha/dnn	-0,072	0,144	-0,034	-0,063	1***

*** p vērtība <0.01; ** p vērtība <0.05; *p vērtība <0.1

Organiskajās augsnēs netika atrasta statistiski nozīmīga sakarība starp gāzu emisijām un augsnes mitrumu, kas varētu būt izskaidrojams ar atšķirīgajiem augšņu apsaimniekošanas apstākļiem (skat. 15.tab.).

14. tab. Kendala korelācijas koeficienti organiskās augsnes kamerām.

Variables	Augsnes temperatūra, C0	N2O, g/ha/dnn	CH4, g/ha/dnn	CO2, kg/ha/dnn	NH3, g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, C0	1	0,162	-0,114	-0,085	0,197
N2O,g/ha/dnn	0,162	1	-0,144	0,065	0,019
CH4, g/ha/dnn	-0,114	-0,144	1	-0,129	-0,004
CO2, kg/ha/dnn	-0,085	0,065	-0,129	1	-0,087
NH3, g/ha/dnn	0,197	0,019	-0,004	-0,087	1

4. 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. Mitruma režīma atjaunošana organiskajās augsnēs samazina CO₂ un N₂O emisijas, bet palielina CH₄ emisiju, bet šādu secinājumu nevar attiecināt uz visām augsnēm, kur ir atjaunots mitruma režīms. Jāņem vērā zemes izmantošanas veids un apsaimniekošana, jo, piemēram, lauksaimniecības vajadzībām izmantotajā organiskajā augsnē veidojas slāpekļa uzkrājums, kas izraisa augstas N₂O emisijas pēc lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas.
2. Pētījuma rezultāti, salīdzinot ar 2016. gadā novērotajiem, norāda, ka neorganiskajās augsnēs vidējās N₂O emisijas ir nedaudz zemākas, taču organiskajās augsnēs vidējās N₂O emisijas ir divas reizes augstākas. Savukārt vidējās CO₂ emisijas ir piecas reizes augstākas, kas ir izskaidrojams ar augsnes labvēlīgajiem apstākļiem aerobo mikroorganismu attīstībai. Kā arī izteikti labvēlīgākiem augsnes mitruma un temperatūras apstākļiem aerobo mikroorganismu attīstībai.
3. Salīdzinot organisko un neorganisko augšņu emisiju rādītājus, izteikti augstākas N₂O emisijas vērtības ir novērotas Mārupes parauglaukumā, kas saistīts ar augsnes intensīvu izmantošanu lauksaimnieciskajā darbībā un izteikti labvēlīgiem N₂O emisiju veidošanās apstākļiem augusta mēnesī, kas saistīts ar paaugstinātu augsnes mitrumu un augsnes temperatūru, kā arī mēslojuma iestrādi Mārupes parauglaukumā.
4. Veicot mērījumu salīdzinājumu ar projekta LIFE Restore iegūtajiem rezultātiem, iespējams secināt, ka metāna emisijas abu projektu mērījumos atrodas nenoteiktības robežas ietvaros. Savukārt, CO₂ un N₂O emisijas šajā projektā ir statistiski būtiski augstākas nekā projektā LIFE Restore, kas varētu būt saistīts ar vairākiem iemesliem. Pirmkārt, iekārta Picarro G2508 veic koncentrācijas mērījumu katru sekundi un emisijas koeficients tiek aprēķināts aptuveni no 400 datu punktiem, kas ļauj noteikt neietekmētu emisiju no augsnes. Otrkārt, N₂O un metāns ir smagākas gāzes par gaisu un ilgstoši turot kameru var veidoties gāzu stratifikācija. Treškārt, mērījumi netika veikti vienlaicīgi.

5. LITERATŪRAS AVOTI

- Achtnich, C., Bak F., Conrad R., (1995). Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil. *Biol. Fertil. Soil.* 19, 65–72.
- 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.
- Bowden, R.D., Davidson E., Savage K., Arabia C., Steudler, P., (2004). Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest. *Forest Ecol. Manage.* 196 (1), 43–56.
- CSP, 2017, Centrālā statistikas pārvalde. Galveno lauksaimniecības kultūru sējumu platības. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/lauksaimnieciba-galvenie-raditaji-30325.html>
- Cuhel, J., Simek, M., Laughlin, R.J., Bru, D., Chèneby, D., Watson, C.J., Philippot, L., (2010). Insights into the effect of soil pH on N₂O and N₂ emissions and denitrifier community size and activity. *Appl. Environ. Microbiol.* 76, 1870–1878.
- Dalal, R.C., Allen, D.E., 2008. Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. Turner review no. 18, *Australian. J. Bot.* 56, 369–407.
- Degryze, S., Six, J., Paustian, K., Morris, S.J., Paul, E.A., Merckx, R., (2004). Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. *Glob. Change Biol.* 10, 1120–1132.
- Dorodnikov, M., Blagodatskaya, E., Blagodatsky, S., Marhan, S., Fangmeier, A., Kuzyakov, Y., (2009). Stimulation of microbial extracellular enzyme activities by elevated CO₂ depends on soil aggregate size. *Glob. Change Biol.* 15, 1603–1614.
- Drewer J., Anderson M., Levy P.E., Scholtes B., Hefter C., Parker J., Rees R.M., Skiba U.M., (2016). The impact of ploughing intensively managed temperate grasslands on N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes. *Plant and Soil* 411/1-2, p. 193-208
- 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.

- Freibauer A., Kaltschmitt M., (2003). Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry* 63, p. 93–115.
- Fumoto, T., Kobayashi, K., Li, C., Yagi, K., Hasegawa, T., (2008). Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes. *Glob. Change Biol.* 14, 382–402.
- Gundersen, P., Christiansen, J.R., Alberti, G., Brüggemann, N., Castaldi, S., Gasche, R., Kitzler, B., Klemetsson, L., Lobo-do-Vale, R., Moldan, F., Rütting, T., Schleppi, P., Weslien, P., Zechmeister-Boltenstern, S., (2012a). The response of methane and nitrous oxide fluxes to forest change in Europe. *Biogeoscience* 9, 3999–4012.
- Gundersen, P., Christiansen, J.R., Frederiksen, P., Vesterdal, L., (2012b). Influence of hydromorphic soil conditions on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in a Danish temperate forest. *For. Ecol. Manage.* 284, 185–195.
- Kasimir-Klemetsson, Å., Weslien, P., Klemetsson L. (2009). Methane and nitrous oxide fluxes from a farmed Swedish Histosol. *Eur. J. Soil Sci.*, 60 (2009), pp. 321–331
- Kløve, B., Berglund, K., Berglund, Ö., Weldon, S., Maljanen, M. (2017). Future options for cultivated Nordic peat soils: Can land management and rewetting control greenhouse gas emissions? *Environmental Science & Policy*, Volume 69, p. 85-93.
- Kögel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Kölbl, A., Schloter, M., (2010). Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma* 157, 1–14.
- Lapveteläinen, T., Regina, K., Perälä, P. (2007). Peat based emissions in Finland's national greenhouse gas inventory. *Boreal Environ. Res.* 12, 225–236.
- Leppelt T, Dechow R, Gebbert S et al. (2014). Nitrous oxide emission hotspots from organic soils in Europe. *Biogeosciences*, 11, 6595–6612.
- 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>

- Maljanen, M., Komulainen, V.M., Hytönen, J., Martikainen, P., Laine, J. (2004). Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biol. Biochem.*, 36 (2004), pp. 1801–1808
- Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J., Martikainen, P.J. (2003) Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. *Soil Biol. Biochem.*, 35 (2003), pp. 689–700
- Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T., and Martikainen, P. J. (2010). Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps, *Biogeosciences*, 7, 2711-2738, doi:10.5194/bg-7-2711-2010.
- McSwiney, C.P., Robertson, G.P., (2005). Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Glob. Change Biol.* 11, 1712–1719.
- Micks, P., Aber, J.D., Boone, R.D., Davidson, E.A., (2004). Short-term soil respiration and nitrogen immobilization response to nitrogen applications in control and nitrogen-enriched temperate forests. *For. Ecol. Manage.* 196, 57–70.
- Montanarella, L., Jones, R. J. A., and Hiederer, R. (2006). The distribution of peatland in Europe, *Mires and Peatland*, 1.
- 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.
- Niu, S., Wu, M., Han, Y.I., Xia, J., Zhang, Z.H., Yang, H., Wan, S., (2010). Nitrogen effects on net ecosystem carbon exchange in a temperate steppe. *Glob. Change Biol.* 16, 144–155.
- Nugroho, R.A., Röling, W.F.M., Laverman, A.M., Verhoef, H.A., (2007). Low nitrification rates in acid Scots pine forest soils are due to pH-related factors. *Microbiol. Ecol.* 53, 89–97.
- Oertel, C., Matschullat J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde* 76 327–352.
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M. and Stringer, L. (Eds.) (2008). *Assessment on Peatlands, Biodiversity and*

- Climate Change: Main Report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Peng, Q., Dong, Y., Qi, Y., Xiao, S., He, Y., Ma, T., (2011). Effects of nitrogen fertilization on soil respiration in temperate grassland in Inner Mongolia, China. *Environ. Earth Sci.* 62, 1163–1171.
- Pilegaard, K., Skiba, U., Ambus, P., Beier, C., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl, K., Dick, J., Dorsey, J., Duyzer, J., Gallagher, M., Gasche, R., Horvath, L., Kitzler, B., Leip, A., Pihlatie, M.K., Rosenkranz, P., Seufert, G., Vesala, T., Westrate, H., Zechmeister-Boltenstern, S., (2006). Factors controlling regional differences in forest soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O). *Biogeoscience* 3, 651–661.
- Regina, K., Syvasalo, E. Hannukkala, A., Esala, M. (2004). Fluxes of N₂O from farmed peat soils in Finland. *Eur. J. Soil Sci.*, 55 (2004), pp. 591–599
- Roßkopf, N., Fell, H., Zeitz, J. (2015). Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena* 133 (2015) 157–170.
- Rusera R., Fußb R., Andresc M., Hegewaldd H., Kesenheimera K., Köbkee S., Rübigerf T., Quinonesg T.S., Augustinc J., Christend O., Ditterte K., Kagef H., Lewandowskih I., Prochnowg A., Stichnothej H., Flessab H. (2017). Nitrous oxide emissions from winter oilseed rape cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 249 p. 57–69.

- Sahrawat, K.L., (2004). Terminal electron acceptors for controlling methane emissions from submerged rice soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35, 1401–1413.
- Saiz, G., Byrne, K.A., Butterbach-Bahl, K., Kiese, R., Blujdea, V., Farrell, E.P., (2006). Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. *Glob. Change Biol.* 12, 1007–1020.
- Schwenke, G.D., Herridge, D.F., Scheer, C., Rowlings, D.W., Haigh, B.M., McMullen, K.G., 2015. Soil N₂O emissions under N₂-fixing legumes and N-fertilised canola: a reappraisal of emissions factor calculations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 202, 232–242.
- Shi, W.Y., Yan, M.J., Zhang, J.G., Guan, J.H., Du, S., (2014). Soil CO₂ emissions from five different types of land use on the semiarid Loess Plateau of China, with emphasis on the contribution of winter soil respiration. *Atmos. Environ.* 88, 74–82.
- 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.
- Snyder C. S., Bruulsema T. W, Jensen T. L., P.E. Fixen P. E., (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133/ 3-4, p. 247 – 266.
- Soussana J.F., Allard V., Pilegaard K., Ambus P., Amman C., Campbell C., Ceschia E., Clifton-Brown J., Czobel S., Domingues R., Flechard C., Fuhrer J., Hensen A., Horvath L., Jones M., Kasper G., Martin C., Nagy Z., Neftel A., Raschi A., Baronti S., Rees R.M., Skiba U., Stefani P., Manca G., Sutton M., Tuba Z., Valentini R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* Volume 121, p.121–134.
- Tenuta, M., Beauchamp, E.G., (2003). Nitrous oxide production from granular nitrogen fertilizers applied to a silt loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 83, 521–532.
- Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski,

- G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Roßkopf, N., Sommer, M., Zeitz, J. (2016). High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biol.*, <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13303>.
- 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>
- Venterea, R.T., Halvorson, A.D., Kitchen, N., Liebig, M.A., Cavigelli, M.A., Del Grosso, Stephen J., Motavalli, P.P., Nelson, K.A., Spokas, K.A., Singh, B.P., Stewart, C.E., Ranaivoson, A., Strock, J., Collins, H., (2012). Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems. *Front. Ecol. Environ.* 10 (10), 562–570.
- Vinzenta B., Fußb R., Maidla F. X., Hülsbergena K. J. (2017). Efficacy of agronomic strategies for mitigation of after-harvest N₂O emissions of winter oilseed rape. *European Journal of Agronomy*, Volume 89 p.88 – 96.
- Walter K., Don A., Fus R., Kern J., Drewer J., Flessa H., (2015). Direct nitrous oxide emissions from oilseed rape cropping – a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 7, p. 1260–1271.
- Weslien, P., Kasimir Klemetsson, Å., Börjesson, G., Klemetsson, L., (2009). Strong pH influence on N₂O and CH₄ fluxes from forested organic soils. *Eur. J. Soil Sci.* 60, 311–320.
- 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.
- Zariņa L., (2009) Augsnes skābums. LLU Agroresursu un ekonomikas institūts, Priekuļu pētniecības centrs. 3 lpp.

PIELIKUMI

SEG PROJEKTA S317 LAUKU DARBU DATU LAPA

Objekts: ☐ Mellupīte ☐ Auce ☐ Bērze ☐ Mārupe ☐ Laflora

Datums: _____

Laikapstākļu **raksturojums:**

Augsnes **raksturojums:**

Mērījumu uzsākšanas laiks:

Logeru dati:

Augsnes temperatūra _____ °C Čembera _____ temperatūra _____ °C

Gaisa temperatūra _____ °C Atmosfēras spiediens čemberī _____ hPa

Augsnes mitruma mērījumi:
