

PĀRSKATS

Pētījuma
nosaukums:

ARAMZEMES UN ILGGADĪGO ZĀLĀJU APSAIMNIEKOŠANAS
RADĪTO SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU (SEG) EMISIJU UN
OGLEKĻA DIOKSĪDA (CO₂) PIESAISTES UZSKAITES SISTĒMAS
PILNVEIDOŠANA UN ATBILSTOŠU METODISKO RISINĀJUMU
IZSTRĀDĀŠANA

PĀRSKATS PAR 2024. GADA DARBA UZDEVUMU IZPILDI

IZPILDES LAIKS:

19.04.2024-15.11.2024

IZPILDĪTĀJS:

LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"

LĪGUMA NR.

24-00-S0INZ03-000 026

PROJEKTA VADĪTĀJS:

A. Lazdiņš

Kopsavilkums

Saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes regulu (ES) 2023/839, ar ko groza Regulu (ES) 2018/841 attiecībā uz darbības jomu, ziņošanas un izpildes noteikumu vienkāršošanu un dalībvalstu 2030. gada mērķrādītāju noteikšanu un Regulu (ES) 2018/1999 attiecībā uz monitoringa, ziņošanas, progresa apsekošanas un izskatīšanas uzlabošanu, aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes ziņošana 2021.-2030. gadā ir obligāta un pēc 2025. gada aramzemju un ilggadīgo zālāju radītās SEG emisijas iekļautas kopīgā zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektora mērķī un visām oglekļa krātuvēm jānodrošina augstākā (tier 3) līmeņa SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķinu metožu ieviešana. Jaunus izaicinājumus SEG inventarizācijas sistēmas pilnveidošanai nosaka Eiropas Parlamenta un Padomes regulas (ES) 2023/839 V pielikuma 3. daļa, kurā noteiktas jaunas zemes izmantošanas kategorijas SEG emisiju ziņošanai.

Iepriekšējos pētījuma etapos veicām empīrisko datu ieguvu, lai raksturotu daļējas augsnes apstrādes un dažādu pasējas augu ietekmi uz SEG emisijām no augsnes un oglekļa apriti, kā arī lai izstrādātu vienādojumus SEG emisiju raksturošanai no aluviālās augsnēs zālajos un aramzemēs. Lai pilnveidotu jau izstrādātos aprēķinu vienādojumus un samazinātu to nenoteiktību, turpināta empīrisko datu ieguve un analīze. Pētījuma ietvaros risināti jautājumi, kas saistīti ar inventarizācijas un prognožu ziņojumu pilnveidošanu, izstrādājot un integrējot LVMI Silava sadarbībā ar Zemkopības ministriju, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāti un citām institūcijām gatavojamajos ziņojumos augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes un ar tām saistītās N₂O un CH₄ emisijas no minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm lauksaimniecībā izmantojamās zemēs, kā arī vērtētas brīvprātīgo oglekļa piesaistes vienību platformu ieviešanas iespējas un iespējamās konsekvences attiecībā uz SEG emisiju samazināšanas mērķu izpildi Latvijā.

Izmantotie saīsinājumi

CO₂ – oglekļa dioksīds;

EK – Eiropas Komisija;

ES – Eiropas Savienība

ETS – emisiju tirdzniecības sistēma

KLP – kopējā lauksaimniecība politika;

MZV - monitorings, ziņošanas un verifikācija;

SEG – siltumnīcefekta gāzes;

UNFCCC - Apvienoto Nāciju Organizācija Vispārējai konvencijai par klimata pārmaiņām;

ZIZIMM – zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektors;

SEG – siltumnīcefekta gāzes;

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.

Saturs

Kopsavilkums.....	2
Izmantotie saīsinājumi.....	3
Saturs.....	4
Ievads.....	5
Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums.....	9
Ievads.....	9
Izzinātības apskats.....	10
SEG emisijas no minerālaugsnes.....	10
Bioloģiskās un konvencionālās lauksaimniecības ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	11
Pasējas ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	13
Materiāli un metodes.....	14
Pētījuma objekta raksturojums.....	14
Mērījumu veikšana ar Picarro.....	21
Meteoroloģisko apstākļu raksturojums.....	24
Rezultāti.....	25
SEG mērījumu no augsnes rezultāti.....	25
Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	26
Augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme uz SEG emisijām.....	30
Lauksaimnieciskās darbības veida ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	31
Augsnes un audzējamās kultūras ietekme uz SEG emisijām.....	32
Sarkanā āboliņa iekļaušanas augu sekā ietekme uz SEG emisijām.....	34
Secinājumi.....	38
Oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmu analīze.....	40
Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂, N₂O un CH₄ emisijas no aluviālajām augsnēm.....	57
Ievads.....	57
Materiāli un metodes.....	60
Pētījuma vietas.....	60
Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi.....	62
Gāzu paraugu ņemšana un SEG plūsmu novērtēšana.....	62
Vides parametru mērījumi.....	63
Virszemes un sakņu biomasas paraugu ņemšana un analīze.....	64
Gada SEG plūsmu aplēses.....	64
Statistiskā analīze.....	65
Rezultāti.....	65
Augsnes fizikāli ķīmiskie mainīgie lielumi.....	65
Siltumnīcefekta gāzu plūsmu svārstības un ietekmējošie faktori.....	70
Siltumnīcefekta gāzu gada plūsmas.....	77
Diskusija.....	78
Augsnes īpašības.....	79
Augsnes siltumnīcefekta gāzu plūsmas.....	80
Secinājumi.....	82
Izmantotā literatūra.....	84

Ievads

Pētījuma mērķis ir pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmu 2026.-2030. gada SEG emisiju mazināšanas saistību kontekstā, kā arī pilnveidot metodes SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķiniem aramzemēm un zālājiem, virzoties uz augstākā līmeņa aprēķinu metodēm visu oglekļa krātuvju ziņošanai un precīzākai darbību datu raksturošanai.

Pētījuma ietvaros precizēti vienādojumi, kas raksturo pasējas augu ietekmi uz SEG emisijām no augsnes un oglekļa apriti, ņemot vērā izmaiņas oglekļa ieneses rādītājos; raksturotas SEG emisijas no aluviālām augsnēm, ko izmanto kā aramzemes un zālājus, tajā skaitā sagatavota zinātniska publikācija par 2022. un 2023. gadā gadā iegūtajiem gāzu apmaiņas mērījumu datiem; iegūti empīriski dati par augsnes apstrādes metožu ietekmi uz SEG emisijām no augsnes; un sagatavots vērtējums par aktualitātēm Eiropas Komisijas priekšlikumos oglekļa saistīgas lauksaimniecības un mežsaimniecības ieviešanai.

Pētījumā izstrādātos risinājumus izmantosim nacionālās SEG inventarizācijas pilnveidošanai ZIZIMM sektorā, novērtējot augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas un SEG emisijas lauksaimniecībā izmantojamās zemēs. Pētījuma rezultātus izmantosim šādu starptautisko ziņojumu pilnveidošanai:

- Divgadu ziņojums un valstu nacionālais ziņojums saskaņā ar EK Īstenošanas Regulu 2020/1208, kā arī lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu;
- Ziņošana par emisijām un piesaisti, ko rada aramzemes apsaimniekošana un ganību apsaimniekošana (Lēmuma Nr. 529/2013/ES izpildei) saskaņā ar EK Īstenošanas Regulu 2020/1208; kā arī lēmumiem COP 6/CMP.9 un 2/CMP.8;
- Ziņojums par prognozēm, politiku un pasākumiem saskaņā ar Regulu 2018/1999/ES;
- Ziņojums, kurā aprakstīts zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības darbību īstenošanā panāktais progress saskaņā ar Regulas 529/2013/ES 10. pantu.

Īstenotie pētnieciskie uzdevumi saskaņā ar Ministru kabineta noteikumu Nr. 229 "Grozījumi Ministru kabineta 2015. gada 3. februāra noteikumos Nr. 59 "Valsts un Eiropas Savienības atbalsta piešķiršanas kārtība investīciju veicināšanai lauksaimniecībā"" 7. pielikumu:

-
1. pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām raksturojums (pētījums īstenots sadarbībā ar Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāti (LBTU)):
 - a) turpināta CO₂, CH₄ un N₂O emisiju vērtēšana lauksaimniecībā izmantotajās zemēs, izmantojot sarkano āboliņu kā pasējas augu (trīs kultūraugi ar pasējas auga izmantošanu un bez tā);
 - b) turpināta pasējas auga izmantošanas un izvēlēto kultūraugu ietekmes uz SEG emisijām raksturošana izpētes teritorijā, ko apsaimnieko LBTU APP "Agroresursu un ekonomikas institūts" (AREI) Stendes pētniecības centrs, tostarp novērtēta augsnes īpašību, augsnes mitruma, gaisa temperatūras, nokrišņu, mēslojuma izkliešanas un saimniekošanas veida ietekme uz SEG emisijām;
 - c) sagatavots ziņojumu un zinātniska publikācija par pētījuma rezultātiem;
 2. izvērtēti Eiropas Komisijas (EK) priekšlikumus oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai (pētījumu īsteno LVMI Silava):
 - a) izvērtēti Eiropas Savienības (ES) regulējuma priekšlikumi saistībā ar zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektora SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumiem, to darbību datiem un nepieciešamajiem uzlabojumiem, ziņojot par klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmi;
 - b) vērtēta Latvijas ZIZIMM sektora klimata pārmaiņu mazināšanas darbību atbilstība kritērijiem, kurus ES noteikusi oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumiem, un sagatavot priekšlikumus pasākumu atbilstības nodrošināšanai;
 3. raksturota augsnes heterotrofās elpošanas ietekme uz CO₂ apriti, SEG emisijām no augsnes un oglekļa ienesi ar augu atliekām aluviālās (palieņu) augsnēs ilggadīgajos zālajos un aramzemēs (pētījums īstenots sadarbībā ar AREI Stendes pētniecības centru):
 - a) turpināta empīrisku datu ieguve (par SEG emisiju un augsnes heterotrofo elpošanu) trijās sējplatībās;
 - b) sagatavota zinātniska publikācija par pētījuma rezultātiem ilggadīgajos zālajos un aramzemēs, tostarp par CO₂ emisijas faktoriem aluviālām augsnēm;
 - c) sagatavots ziņojumu par pētījuma rezultātiem;
 4. turpināta empīrisku datu ieguve aprobēto audzēšanas tehnoloģiju ietekmes uz CO₂, CH₄ un N₂O emisijām no augsnes raksturošanai, augu
-

sekā lietojot trīs atšķirīgus augsnes apstrādes paņēmienus un nodrošinot datu kopu vismaz par divām sezonām (pētījums īstenots sadarbībā ar AREI Stendes pētniecības centru).

Pētījuma 1. darba uzdevuma 1. darbības īstenošanai veģetācijas sezonas laikā turpināta iepriekš uzsākto empīrisko datu ieguve CO₂, CH₄ un N₂O emisiju raksturošanai no lauksaimniecībā izmantotām zemēm, izmēģinājumu platībās ar sarkano āboliņu kā pasējas augu 3 kultūraugiem. Pētījuma vajadzībām ierīkoti izmēģinājuma objekti ar pasēju un kontroles laukumus bez pasējas. Gāzu apmaiņas mērījumi veikti, izmantojot Picarro G2508 gāzu analizatoru. SEG emisiju raksturošanai izmantoti laukumi ar neskartu veģetāciju, bet heterotrofās elpošanas mērījumiem – laukumi, kur noņemta veģetācija. Mērījumi veikti ar necaurspīdīgām kamerām. Oglekļa ieneses raksturošanai izmantoti laukaugu biomasas vienādojumi (Rancane, S. u.c., 2023; Rancāne u.c., 2023). Gāzu apmaiņas mērījumi veikti vienreiz mēnesī veģetācijas sezonas laikā, no maija līdz septembrim, tos ieskaitot.

Pasējas auga izmantošanas ietekme uz SEG emisijām vērtēta izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko AREI Stendes pētniecības centrs, paralēli SEG emisiju un augsnes elpošanas mērījumiem, mērot augsnes mitrumu, augsnes un gaisa temperatūru, nokrišņus, kā arī nosakot mēslojuma izkliedēšanas ietekmi uz SEG emisijām, nosakot SEG emisiju izmaiņas pēc mēslojuma izkliedēšanas. Iepriekšējā gada rezultātus apkoposim zinātniskā publikācijā “Red clover (*Trifolium pratense* L.) Effect of GHG emissions from soil in temperate climate”.

Pētījuma 2. darba uzdevuma īstenošanas ietvaros izskatīti aktuālie Eiropas Komisijas priekšlikumi oglekļa apsaimniekošanas iniciatīvas ieviešanai un pieejamo informāciju par Eiropas Savienības iniciatīvām saistībā ar oglekļa piesaistes vienību tirdzniecības nacionālo platformu izveidi un prasībām to uzturēšanai, nodrošinot zinātnisku kompetenci Latvijas pozīcijas formulēšanā un aizstāvēšanā. Priekšlikumos Eiropas Savienības oglekļa apsaimniekošanas iniciatīvas ieviešanai Latvijā ietverta informācija par pārvaldību, attiecināmajām jomām, oglekļa vienību uzskaites monitoringu, ziņošanas un pārbaudes sistēmu, darbību ietekmes identificēšanu Nacionālajā SEG inventarizācijas sistēmā. Izstrādāto priekšlikumu teorētiskai pārbaudei pētījuma ietvaros izvērtēti Nacionālā klimata un enerģētikas plānā iekļautie pasākumi klimata pārmaiņu mazināšanai, tomēr pagaidām ir pāragri vērtēt pasākumu atbilstību vai papildus kritēriju nepieciešamību, jo vēl neviena no Eiropas Komisijas metodikām nav izstrādāta, bet publiski pieejamie melnraksti satur pretrunīgu informāciju, piemēram, organisko augšņu renaturalizācijas metodikā iekļauta virkne rakstu (ne tikai Latvijas), kas apšaubā šī pasākuma efektivitāti vai norāda uz sagaidāmā efekta lielo nenoteiktību. Darbību ieviešanas iespējas izvērtētas atbilstoši pašreizējam zināšanu līmenim un tehniskajām iespējām.

Pētījuma 3. darba uzdevumā turpināta empīrisku datu ieguve par augsnes heterotrofās elpošanas radītajām CO₂ emisijām no aluviālajām augsnēm, ko izmanto kā ganības, zālājus vai aramzemes. Mērījumi aramzemēs uzsākti 2023. gadā, bet mērījumi zālājos turpināti platībās, kur tie uzsākti 2022. gadā. Pētījums veikts 5 platībās, kas raksturo dažādas aluviālās augsnes – no aluviālajām normāli mitrajām augsnēm līdz aluviālajām purva augsnēm, tajā skaitā 3 laukos zālājos un 2 laukos aramzemēs. Pētījumā noteiktas augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas, kā arī CH₄ un N₂O emisijas no augsnes, augsnes temperatūra, mitruma saturs augsnes virskārtā, virszemes un pazemes biomasas un biomasas ieguve siena vai zaļbarības sagatavošanai. Augsnes heterotrofās elpošanas parauglaukumos vienu mēnesi pirms mērījumu uzsākšanas novākta visu veģetācija, bet sakņu augšana nav ierobežota, ņemot vērā iepriekšējos pētījumos gūto pieredzi, ka šāda prakse būtiski ietekmē SEG emisiju iznākumu. Gāzu apmaiņa mērīta veģetācijas sezonas laikā, 9 mēnešu ilgumā. Mērījumi veikti 9 pastāvīgos heterotrofās elpošanas laukumos katrā izmēģinājumu platībā, bet paraugi CH₄ un CO₂ satura analīzēm ievākti no 6 kamerām katrā platībā. Mērījumu metodiku harmonizēta ar LIFE OrgBalt projektā izmantojamo metodiku gāzu apmaiņas raksturošanai. Darba uzdevumu īstenoja AREI Stendes pētniecības centrs sadarbībā ar LVMI Silava.

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Nodaļa sagatavota, izmantojot Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes (LBTU) sagatavoto pārskatu "Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana". Pārskata autori Inga Grīnfelde, Jovita Pilecka-Uļčugačeva, Olga Šķiste, Kristaps Siltumēns, Lidiya Vojevoda. Projekta vadītāja Kristīne Valujeva.

Ievads

Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas ir būtisks faktors, kas veicina klimata pārmaiņas un uzsver nepieciešamību pēc ilgtspējīgām risinājumu sistēmām emisiju mazināšanai. Lauksaimniecības sektors rada aptuveni 12% no pasaules antropogēnajām SEG emisijām, galvenokārt caur oglekļa dioksīda (CO₂), metāna (CH₄) un slāpekļa oksīda (N₂O) izdalīšanos. Šīs emisijas ir atkarīgas no daudziem faktoriem, tostarp augsnes īpašībām, klimatiskajiem apstākļiem un izmantotajām apsaimniekošanas metodēm. Lai efektīvi pārvaldītu SEG emisijas un nodrošinātu ilgtspējīgu lauksaimniecību, ir nepieciešama precīza šo emisiju uzskaitē un kontrolētas metodoloģijas, kas atbilst gan starptautiskām, gan nacionālām prasībām.

Šis ziņojums ir izstrādāts ar mērķi pilnveidot SEG emisiju uzskaites sistēmas aramzēmēs un ilggadīgajos zālajos, īpašu uzmanību pievēršot pasējas augu izmantošanas ietekmei. Projekta ietvaros tika veikti pētījumi par emisiju mazināšanas iespējām un oglekļa piesaistes veicināšanu, izmantojot ilgtspējīgas apsaimniekošanas metodes. Ziņojumā ir analizēti gan bioloģiskās, gan konvencionālās lauksaimniecības prakses aspekti, izvērtējot to ietekmi uz SEG emisiju apjomiem. Pētījums sniedz nozīmīgus datus, kas palīdzēs informēt turpmāko politiku un veicinās ilgtspējīgu zemes apsaimniekošanu.

Problēmas aktualitāte un mērķis. Latvijā SEG emisiju uzskaitē lauksaimniecības nozarē iepriekš tika veikta brīvprātīgi, taču ar 2021. gadu, saskaņā ar starptautiskajiem līgumiem, tā ir kļuvusi par obligātu prasību. Lauksaimniecības praksē izdalītās SEG emisijas ir ne tikai globāla, bet arī vietēja mēroga problēma, jo tās ietekmē augsnes kvalitāti, ūdens resursus un kopējo ekosistēmu noturību. Tādējādi ir būtiski veidot metodoloģijas, kas ļauj ne tikai novērtēt pašreizējo emisiju līmeni, bet arī identificēt efektīvākās stratēģijas to mazināšanai.

Šī pētījuma galvenais mērķis ir detalizēti izpētīt sarkanā āboliņa un citu pasējas augu lomu SEG emisiju regulēšanā, īpaši uzsverot to ietekmi uz CO₂, CH₄ un N₂O emisijām. Pētījumā izmantota inovatīva pieeja, kuras ietvaros mērījumi veikti dažādās lauksaimniecības sistēmās – bioloģiskajās un konvencionālajās saimniecībās. Šī pieeja sniedz iespēju salīdzināt dažādu metožu efektivitāti un izstrādāt rekomendācijas ilgtspējīgai praksei.

Pētījuma struktūra un uzdevumi. Ziņojums ir strukturēts, lai sniegtu visaptverošu priekšstatu par pētījuma ietvaros veikto darbu un iegūtajiem rezultātiem. Ievadā tiek apskatīts konteksts un problēmas aktualitāte, savukārt turpmākās nodaļas detalizēti aplūko izmantotos materiālus un metodes, gūtos rezultātus un izdarītos secinājumus. Īpaša uzmanība ir pievērsta SEG emisiju no augsnes kvantitatīvai un kvalitatīvai analīzei, izmantojot sarkano āboliņu kā pasējas augu. Galvenie uzdevumi ir:

1. Turpināt SEG emisiju mērījumus un analīzi lauksaimniecības zemēs, iekļaujot dažādus pasējas augus un kultūraugus.
2. Izpētīt, kā klimata un augsnes apstākļi, kā arī izmantotie mēslošanas paņēmieni ietekmē SEG emisiju apjomus.
3. Sagatavot metodoloģiskos ieteikumus ilgtspējīgai lauksaimniecībai un SEG emisiju samazināšanai.

Šis ziņojums kalpo ne tikai kā iegūto datu apkopojums, bet arī kā ceļvedis nākotnes pētniecībai un politikas veidošanai, lai veicinātu ilgtspējīgu attīstību Latvijas un Eiropas kontekstā.

Izzinātības apskats

SEG emisijas no minerālaugsnes

Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas no minerālaugsnēm lauksaimniecībā ir atkarīgas no dažādiem biofizikāliem procesiem, kas saistīti ar organisko vielu uzņemšanu un sadalīšanos augsnē. Galvenās SEG, kas izdalās no augsnēm, ir oglekļa dioksīds (CO₂), metāns (CH₄) un slāpekļa oksīds (N₂O). Šīs emisijas ietekmē vairāki faktori, piemēram, augsnes temperatūra, mitrums, mikroorganismu aktivitāte, augsnes struktūra, kā arī izmantotie lauksaimniecības zemju apstrādes paņēmieni. Lauksaimniecība rada gandrīz 12% no pasaules antropogēnajām SEG emisijām.

CO₂ emisijas no augsnēm galvenokārt rodas mikrobioloģisko procesu rezultātā, kad mikroorganismi sadala organisko vielu aerobos apstākļos. CO₂ emisijas var ietekmēt arī augu atliekas un augsnes pH līmenis. Piemēram, neitrāls augsnes

pH līmenis veicina augstākas CO₂ emisijas (Čuhel u.c., 2010). Auglīgāka augsne ar lielāku organiskās vielas saturu un mikroorganismu aktivitāti var radīt lielāku CO₂ izdalīšanos (Ferdush u.c., 2023; Kuzyakov, 2006).

CH₄ emisijas galvenokārt rodas anaerobos apstākļos, kur metanogēnas baktērijas ražo metānu. Šie apstākļi bieži rodas ūdenī piesātinātās augsnēs, piemēram, purvos vai applūdušās lauksaimniecības zemēs. Tādēļ CH₄ emisijas pozitīvi korelē ar augsnes mitruma līmeni (Conrad, 2020; Le Mer & Roger, 2001).

N₂O emisijas rodas nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu rezultātā. Nitrifikācija notiek aerobos apstākļos, kad mikroorganismi pārvērš amoniju nitrātā, bet denitrifikācija - anaerobos apstākļos, kad nitrāti tiek reducēti līdz slāpekļa oksīdam vai slāpekļa gāzei. N₂O emisijas var pieaugt, ja pēc sausuma periodiem seko augsnes samitrināšanās, kā arī pēc mēslojuma lietošanas, jo tas palielina pieejamo minerālo slāpekli (Butterbach-Bahl u.c., 2013; Oertel u.c., 2016).

Bioloģiskās un konvencionālās lauksaimniecības ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Lielākā daļa lauksaimniecības zemju tiek apstrādātas, izmantojot konvencionālās metodes, kurās galvenā loma ir sintētiski ražotiem minerālmēsliem un ķīmiskiem augu aizsardzības līdzekļiem. Šāda pieeja ir izteikti mehanizēta, kas samazina nepieciešamību pēc manuāla darbaspēka. Konvencionālajā saimniekošanā iegūtā pārtika ir ekonomiski izdevīga, jo tā nodrošina augstākas ražas uz vienu platības vienību, padarot ražošanu efektīvāku un mazāk izmaksu ietilpīgu, salīdzinot ar citām metodēm. Konvencionālā lauksaimniecības sistēmā dabas procesu un cilvēku darbības rezultātā tiek veicinātas augsnes auglības izmaiņas:

- Lietojot minerālmēslus, tiek veicināta augsnes paskābināšanās. Tīrumos, dārzos, pļavās un ganībās ir daudz skābo augšņu, tās ir augsnes, kurās ir nepietiekams kalcija saturs. Papildu augsnes paskābināšanos veicina arī skābie lieti, kas veidojas fosilā kurināmā sadedzināšanas rezultātā. Lai regulētu augsnes pH līmeni, ir nepieciešams augsnes kaļķot;
- Ja papildus netiek pievadītas organiskas izcelsmes augu barības vielas, notiek organiskās vielas satura samazināšanās. Organiskā viela augsnē rodas no trūdošām augu atliekām un citiem atmirušiem organismiem, un to noārdīšanās nodrošina barības vielas augu attīstībai un uzlabo augsnes auglību. Lai uzlabotu organiskās vielas saturu augsnē, jālieto organiskais mēslojums, jāveic zaļmēslojuma augu sēšana un iestrāde augsnē;

- Konvencionālā saimniecībā audzēto kultūraugu sugu skaits ir neliels, tāpēc augu maiņa ir vienveidīga un, lai nodrošinātu kultūraugiem nepieciešamās barības vielas, lieto minerālmēslus. Lai tos lietojot nepiesārņotu vidi, ir jāievēro mēslojuma izkliedes laiks un devas (Grantina u.c., 2011).

Bioloģiskā lauksaimniecība ir kļuvusi arvien populārāka, jo tā sniedz ilgtermiņa ieguvumus videi. Bioloģiskā lauksaimniecība ir saimniekošanas sistēma, kurā lauksaimniecības produkcija tiek iegūta, saimniekojot ar videi draudzīgām metodēm, nelietojot minerālmēslus un ķīmiskos augu aizsardzības līdzekļus. Bioloģiskā lauksaimniecība samazina enerģijas patēriņu minerālmēslu un ķīmisko augu aizsardzības līdzekļu ražošanas procesā, bet nezāles, kaitēkļus un sīkbūtnes iznīcina ar bioloģiskām vai mehāniskām metodēm, un kultūraugu ražību nodrošina, veidojot veselīgu augsni. Bioloģiskā lauksaimniecības sistēmā ražas palielināšanai nevis pievada papildu minerālmēslus, bet ar dažādiem paņēmieniem rosina dzīvības procesus augsnē, piemēram:

- Augu maiņā obligāti iekļauj augus, kas spēj slāpekli uzņemt no gaisa (tauriņzieži un pākšaugi spēj piesaistīt 200 – 300 kg slāpekļa no ha gadā);
- Barības vielas augiem nodrošina ar organisko mēslojumu (pakaišu kūtsmēsli, virca u.c.) un zaļmēslojuma augu audzēšanu un iestrādi augsnē (āboliņš, eļļas rutks, sinepes u.c.);
- Lieto mikroorganismu darbību veicinošus augsnes apstrādes paņēmienus (augsnas apvēršanu, dziļirdināšanu) (Grantina u.c., 2011).

Augsnes mikroorganismiem ir svarīga loma barības vielu apritē un organiskās vielas sadalīšanā, kas ir, cieši saistīta ar siltumnīcefekta gāzu, tostarp CO₂, N₂O un CH₄ emisijām. Organisko savienojumu sadalīšanās rezultātā mikroorganismi izdala CO₂, N₂O un CH₄. Amonijs tiek nitrificēts, izraisot slāpekļa oksīda zudumu nitrifikācijas laikā, un nitrātu var denitrificēt anaerobos apstākļos, kā rezultātā rodas papildu slāpekļa oksīda un slāpekļa gāzes emisijas. Metānu ražo metogēnas baktērijas un oksidē augsnē esošās metanotrofās baktērijas. Anaerobos apstākļos metanoģenēze pārsniedz metanotrofiju, kā rezultātā rodas metāna emisija (Zhao u.c., 2024).

Tradicionālās lauksaimniecības sistēmas parasti ir ļoti produktīvas, nodrošinot augstu ražu, lai pabarotu pieaugošo pasaules iedzīvotāju skaitu, taču ar ievērojamām vides izmaksām. Turpretim bioloģiskā lauksaimniecība tiek uztverta kā ilgtspējīga lauksaimniecības iespēja, tomēr bieži tiek kritizēta par zemāku ražu sasniegšanu, tāpēc, ņemot vērā šo faktoru, bieži tiek apšaubītas tās priekšrocības (Boschiero u.c., 2023).

Bioloģiskā lauksaimniecība var samazināt SEG emisijas, samazinot sintētisko mēslošanas līdzekļu un augu aizsardzības līdzekļu patēriņu un ražošanu, ieviešot starpkultūras, kultūraugu rotāciju un komposta izmantošanu, tādējādi palielinot oglekļa uzkrāšanos, ierobežojot nezāļu izplatību, samazinot ūdens noteci un uzlabojot augsnes auglību (Squalli & Adamkiewicz, 2018). Tomēr ir pētījumi, kas parāda, ka SEG emisijas no augsnes ir augstākas tieši bioloģiski apstrādātiem laukiem, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātiem laukiem. Piemēram, Somijā veiktajā pētījumā, kur SEG emisijas tika mērītas bioloģiski un konvencionāli apsaimniekotos zālajos un konvencionāli apsaimniekotos graudaugos, statistiski nozīmīgas koncentrāciju atšķirības netika novērotas (Syväsalo u.c., 2006), bet Anglijā veiktajā pētījumā tika secināts, ka SEG emisijas konvencionāli apsaimniekotos laukos uz hektāru ir daudz lielākas (Hop u.c., 2011).

Salīdzinot abas lauksaimniecības sistēmas pēc dzīves cikla novērtējuma (t.sk. laistīšana, tehnikas izmantošana un mēslošana), bioloģiskā lauksaimniecība ir videi draudzīgāka, salīdzinot ar konvencionālo saimniekošanas metodi, ja salīdzinājums ir veikts uz platības vienību (1 ha). Savukārt, ja salīdzinājums ir izteikts uz produkta vienību (1 tonna), tad konvencionālā lauksaimniecība uzrāda labākus vides rādītājus. Rezultāti liecināja, ka bioloģiskās audzēšanas sistēma uz hektāru radija par 11% mazāku ekoloģisko nospiedumu un par 15% mazākas CO₂ emisijas, salīdzinot ar konvencionālo sistēmu (Foteinis & Chatzisyneon, 2016).

Pasējas ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Pasēja sniedz vairākus gan agronomiskus, gan vides uzlabojumus, piemēram, veicina oglekļa uzkrāšanos augsnē (Padarian u.c., 2022), uzlabo ūdens infiltrāciju, mazina eroziju un barības vielu zudumus, kā arī uzlabo augsnes struktūru un auglību. Tā palīdz samazināt arī minerālmēsli izmantošanu. Turklāt pasējas augi efektīvi cīnās pret nezālēm, samazinot to izplatību laukos (Hartwig & Hoffman, 1975).

Zems slāpekļa saturs augsnē ir priekšrocība pākšaugu attīstībai pasējā, salīdzinot ar galveno kultūru, bet, ja slāpekļa saturs augsnē ir augsts, tad galvenā kultūra izkonkurē pākšaugus, kas ļauj secināt, ka slāpekļa saturam augsnē ir ļoti svarīga regulējoša loma. Liela pākšaugu biomasa var liecināt par zemu slāpekļa saturu augsnē, zemu nitrātu izskalošanās risku, bet augstu nepieciešamību pēc slāpekļa piesaistes, savukārt augsta galvenās kultūras biomasa liecina par augstu slāpekļa izskalošanās potenciālu un nepieciešamību pēc slāpekļa aiztures (De Notaris u.c., 2021). Daryanto u.c. (2018) meta analizē izpētīja, ka pasēja palielina N₂O emisiju par 49%, bet CO₂ emisiju par 46%, salīdzinot ar papuvi, kas ir skaidrojams ar palielinātu sadalīšanos, ko izraisa mikroorganismu aktivitāte, tomēr ražas

pieauguma dēļ globālais sasilšanas potenciāls uz ražas vienību ir līdzīgs vai zemāks, kā tas ir bez pasējas (Gougoulias u.c., 2014).

Galvenie faktori, kas ietekmē N_2O emisiju, ir pasējas auga veids, cik daudz biomasa tiek saražota, lignīna saturs un augu atlieku C/N attiecība (Li u.c., 2023). N_2O emisija samazinās, ja palielinās pasējas augu biomasa, kas arī nozīmē, ka optimāliem agroklimatiskajiem apstākļiem ir ļoti būtiska loma N_2O emisijas samazināšanā, savukārt ja pasējas augu augšana ir apgrūtināta, tad tiek samazināta N- NO_3 uzņemšana, kas noved pie palielinātas N_2O emisijas. Siltākas ziemas ļauj pasējas augam aktīvāk uzņemt slāpekli, veidojot biomasu, tādā veidā augsne samazinās slāpekļa daudzums, no kura veidoties N_2O emisijai, kā arī aktīvi augošie pasējas augi uzņem augsnes ūdeni, radot nelabvēlīgus apstākļus denitrifikācijai, līdz ar to samazinās N_2O emisija (Behnke & Villamil, 2019). Augsta oglekļa ienese no pasējas augiem, kas nav tauriņzieži, var stimulēt N_2O emisijas veidošanos (Kaye & Quemada, 2017). Kaye & Quemada (2017), apkopojot citu autoru pētījumus, secināja, ka pasējas augiem nav ietekme uz CH_4 emisiju no augsnes. CO_2 emisiju no augsnes ietekmē ne tikai pasējas augs, bet arī daudz citu faktoru, piemēram, paraugu ievākšanas laiks, klimatiskie apstākļi, augu augšana un augsnes mikroorganismi, savukārt N_2O emisijas svārstības pasējas sistēmās ietekmē mijiedarbība starp šādiem faktoriem: augu augšanu, augsnes īpašībām, klimatiskajiem apstākļiem un pasējas auga veidu (Nguyen & Kravchenko, 2021). Baril u.c. (2022) pētījumā par ziemas segkultūrāzēm CO_2 koncentrācijas bija novērojamas jūnijā, kad bija vismazākais kopējo nokrišņu daudzums.

Materiāli un metodes

Pētījuma objekta raksturojums

Laikā no 2021. līdz 2024. gadam, projekta ietvaros, lauka apstākļos tika veikti N_2O , CH_4 , CO_2 un NH_3 mērījumi Stendes pētniecības centrā. Šajā centrā lauksaimniecības darbības notiek uz minerālaugsnēm, lai gan dažos laukos sastopamas arī organiskās augsnes. SEG emisiju mērījumu vietas ir attēlotas Att. 1, lauksaimniecības prakses un augsnes veidi ir parādīti Tab. 1, savukārt no Tab. 3 līdz Tab. 16 ir sniegts apraksts par katrā laukā veikto agronomisko darbību.



Att. 1. SEG emisiju no augsnes mērījumu vietas Stendes pētījumu stacijā.

Tab. 1. Augsnes veids un apstrāde mērījumu veikšanas laukos (skaitlis norāda uz lauka atrašanās vietu Att. 1)

Mērījuma vieta	2024	Saīsinājums	Saimniekošana	Augsne
1	Ziemas kvieši	ZK	Biol	Min
2	Ziemas kvieši	ZK	Biol	Org
3	Auzas	A	Biol	Min
4	Auzas	A	Biol	Org
5	Kartupeļi	K	Konv	Min
6	Griķi	G	Biol	Min
7	Vasaras mieži	VM	Konv	Min
8	Vasaras kvieši	VK	Biol	Min
9	Auzas	A	Konv	Min

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Mērījuma vieta	2024	Saisinājums	Saimniekošana	Augsne
10	Rudzi ar āboliņa pasēju	RP	Biol	Min
11	Ziemas kvieši	ZK	Konv	Min
12	Sarkanais āboliņš	SĀ	Biol	Min
13	Sarkanais āboliņš	SĀ	Biol	Org
14	Sarkanais āboliņš	SĀ	Konv	Min

Tab. 2. Augu seka mērījumu laukos

Mērījuma vieta	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	ZK	A	G	VK	VM	SĀ	ZK
2	ZK	A	G	VK	VM	SĀ	ZK
3	A	G	VK	VM	SĀ	ZK	A
4	A	G	VK	VM	SĀ	ZK	A
5	A	GP	ZK	VM	Z	VK	K
6	GP	VK	VM	SĀ	ZK	A	G
7	GP	ZK	VM	SĀ	VK	K	VM
8	VK	VM	SĀ	ZK	A	G	VK
9	K	A	GP	ZK	VM	SĀ	A
10	-	-	-	VKP	P	Z	RP
11	ZR	ZK	A	P	GZ	ZR	ZK
12	SĀ	ZK	AZP	G	VK	VMP	SĀ
13	-	-	-	-	-	VMP	SĀ
14	ZK	K	ASP	G	ZK	VMP	SĀ

Tab. 3. Agronomiskās darbības 1. laukā

Ziemas kvieši, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšsargs	Griķi sēklai (šķ. Aiva) (2020), V.kvieši (šķ. "Uffo") (2021), V.mieži +s.āboliņš (2022), s.āboliņš (2023)
Augsne	pH-6.8, VG, mS, P2O5-23mg/kg; K2O-66 mg/kg, organika-4.2%
Augsnes apstrāde	Aršana, šļūksana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2
Izsējas norma	247
Sējas laiks	29.09.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 4. Agronomiskās darbības 2. laukā

Ziemas kvieši, 2024

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	Griķi sēklai (šķ. Aiva) (2020), V.kvieši (šķ. "Uffo") (2021), v.mieži (2022), s.āboliņš (2023)
Augsne	pH-6.8, VG, mS, P2O5-23mg/kg; K2O-66 mg/kg, organika-4.2%
Augsnes apstrāde	Aršana 08.23, šļūksana 09.23
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2 šķ. Brencis
Izsējas norma	247
Sējas laiks	29.09.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 5. Agronomiskās darbības 3. laukā

Auzas, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	v. kvieši (šķ. Uffo) (2020), mieži (šķ. "Austris") (2021), s.āboliņš (2022), z.kvieši (2023)
Augsne	pH-6.7, VG, mS, P2O5-39mg/kg; K2O-66 mg/kg, organika-4.5%
Augsnes apstrāde	Aršana, šļūksana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB1, šķ. Stendes Lote
Izsējas norma	208
Sējas laiks	12.04.24
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 6. Agronomiskās darbības 4. laukā

Auzas, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	v. kvieši (šķ. Uffo) (2020), mieži (šķ. "Austris") (2021), s.āboliņš (2022), z.kvieši (2023)
Augsne	pH-6.9, VGT, mS, P2O5-14mg/kg; K2O-95 mg/kg, organika-34.8%
Augsnes apstrāde	Aršana, šļūksana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB1, šķ. Stendes Lote
Izsējas norma	208
Sējas laiks	12.04.24
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 7. Agronomiskās darbības 5. laukā

Kartupeļi, 2024	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugi	z.kvieši (2020), mieži (šķ. Didzis) (2021), zirņi (2022), v.kvieši (2023)
Augsne	pH-5.7, Pv mS, P2O5-133mg/kg; K2O-119 mg/kg, organika-1.6%
Augsnes apstrāde	Aršana, šļūkšana, dziļā kultivācija
Pamatmēslojums	NPK 12-11-18 –400 kg/ha
Sēkla	E, A kategorijas
Izsējas norma	3 t/ha
Sējas laiks	17.05-18.05.24
Papildmēslojums	Nica 5 L/ha
Kartupeļi, 2024	
Smidzinājumi	Pret nezālēm Feniks- 2l/ha –28.05.24, CenturionPlus-1 l/ha pret lakstu puvi – Infinito 1.5 L/ha 2 reizes- 25.06, 06.07, Revus Top – 0.6 L/ha,22.07, Carnadine-0.15 l/ha –06.07 pret kolorado vabolēm.

Tab. 8. Agronomiskās darbības 6. laukā

Griķi, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugi	v.kvieši (2019), v.mieži (2020), āboliņš (šķ. Dižstende) (2021), z.kvieši (2022), auzas (2023)
Augsne	pH-6.7, VG, mS, P2O5-39mg/kg; K2O-66 mg/kg, organika-4.5%
Augsnes apstrāde	Diskošana 09.23, aršana 04.24, šļūkšana 05.24
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2, šķ. Aiva
Izsējas norma	69 kg/ha
Sējas laiks	28.05.24
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 9. Agronomiskās darbības 7. laukā

Vasaras mieži, 2024	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugi	z.kvieši (2019), v.mieži (2020), āboliņš (šķ. Dižstende sēklai) (2021), v.kvieši (2022), kartupeļi (2023)
Augsne	pH – 6.2, Pv, sM3, P2O5 –135 mg/kg, K2O – 133 mg/kg, organika - 2.1%
Augsnes apstrāde	Aršana 10.23, šļūkšana un kultivēšana pirms pavasarī
Pamatmēslojums	NPK 16-15-15 –350 kg/ha, Axan NS-200 kg/ha
Sēkla	Selekcijas materiāls
Izsējas norma	200-210 kg/ha
Sējas laiks	08.05.24

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Vasaras mieži, 2024	
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Nuance 15 g/ha+Saracen 75 ml/ha+Contakt 100 ml+Decis 0.15 kg/ha -27.05.24

Tab. 10. Agronomiskās darbības 8. laukā

Vasaras kvieši, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaug	s.āboliņš (2020), Ziemas kvieši (šķ. Edvins) (2021), auzas (2022), griķi (2023)
Augsne	pH-7.0, VG, mS, P2O5-14mg/kg; K2O-49 mg/kg, organika-4.6%
Augsnes apstrāde	Aršana 03.24, šļūkšana 04.24
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2, šķ. Robijs
Izsējas norma	287
Sējas laiks	12.04
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 11. Agronomiskās darbības 9. laukā

Auzas, 2024	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaug	Griķi zaļmēslojums (2020), z.kvieši (šķ. Edvins) (2021), v.mieži (2022), s.āboliņš (2023)
Augsne	pH-5.8, Pv, mS, P2O5-137 mg/kg; K2O-98 mg/kg, organika-2.0%
Augsnes apstrāde	Aršana 10.23, šļūkšana 04.24
Pamatmēslojums	NPK 16-15-15 350 kg/ha, Axan -155 kg/ha
Sēkla	Selekcijas materiāls
Izsējas norma	180-200 kg/ha
Sējas laiks	03. - 05.05.24
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Fluorostar 0.6l/ha+Mezzo 0.02 kg/ha 26.05.24

Tab. 12. Agronomiskās darbības 10. laukā (A. Zazīša lauks)

Rudzi ar āboliņa pasēju, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaug	v.kvieši ar s.āboliņa pasēju (2021), pupas (2022), zirņi (2023)
Augsne	pH-6.0, Pv, mS, P2O5-140 mg/kg; K2O-98 mg/kg, organika-2.0%
Augsnes apstrāde	Aršana, šļūkšana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	Pašu audzēta, šķ. Amilo
Izsējas norma	220 kg/ha

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Rudzi ar āboliņa pasēju, 2024	
Sējas laiks	22.09.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 13. Agronomiskās darbības 11. laukā

Ziemas kvieši, 2024	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugš	Auzas (2020), pupas (2021), griķi zaļmēslojums (2022), z.rapsis (2023)
Augsne	pH-6.4, Pv, SM3, P2O5-175mg/kg; K2O-165mg/kg, organika-1.9%
Augsnes apstrāde	Aršana 08.23, šļūksana 09.23
Pamatmēslojums	NPK 6-26-30-300 kg/ha
Sēkla	PB2, šķ. Reinis
Izsējas norma	195 kg/ha
Sējas laiks	1.10.23
Papildmēslojums	Axan NS –200 kg/ha
Smidzinājumi	Flurostar 0.46 kg/ha +Mezzo –0.015 kg/ha 28.04.24, Falcon Forte 0.8 l/ha –14.05, 17.06.24

Tab. 14. Agronomiskās darbības 12. laukā

Sarkanais āboliņš, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	Auzas+zirņi (2020),griķi (2021),v.kvieši (2022), v.mieži ar s.āboliņa pasēju (2023)
Augsne	pH-6.8, VG, mS, P2O5-21mg/kg; K2O-61 mg/kg, organika-6.8%
Augsnes apstrāde	Aršana 10.22, šļūksana 04.23.
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB, šķirne Dižstende
Izsējas norma	10 kg/ha
Sējas laiks	03.05.23
Sarkanais āboliņš, 2024	
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 15. Agronomiskās darbības 13. laukā

Sarkanais āboliņš, 2024	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	V.mieži ar s.āboliņa pasēju (2023)
Augsne	pH-6.8, VG, mS, P2O5-21mg/kg; K2O-61 mg/kg, organika-6.8%
Augsnes apstrāde	Aršana 10.22, šļūksana 04.23.
Pamatmēslojums	-

Sarkanais āboliņš, 2024	
Sēkla	PB, šķirne Dižstende
Izsējas norma	10 kg/ha
Sējas laiks	03.05.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 16. Agronomiskās darbības 14. laukā

Sarkanais āboliņš, 2024	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugi	Auzas/sinepes(2020),griķi (2021),z.kvieši (2022), v.mieži ar s.āboliņa pasēju (2023)
Augsne	pH-5.2, Pv, mS, P2O5-143mg/kg; K2O-109 mg/kg, organika-1.0%
Augsnes apstrāde	Aršana 10.22, šļūksana 04.23.
Pamatmēslojums	NPK 14-14-21, 350 kg/ha
Sēkla	PB, šķ. Dižstende
Izsējas norma	10 kg/ha
Sējas laiks	10.05.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Bazagran 1.25 l/ha, MCPA 1 l/ha-12.06.23

Mērījumu veikšana ar Picarro

Nodaļā dots meteoroloģisko apstākļu raksturojums, apkopota informācija par projektā izmantotajām iekārtām un aprīkojumu, kā arī datu analizēšanas metodēm.

Iekārtas un aprīkojums

Lauksaimniecības augsnēs emitēto gāzu mērījumus veica izmantojot mobilo spektrofotometru Picarro G2508 (Att. 2), kas ļauj vienlaikus reģistrēt piecas gāzes - N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, un H₂O ar vienas sekundes vidējo intervālu. Katrā izpētes vietā tika veikti mērījumi trīs atkārtojumos. Iekārtas tehniskie parametri un pielietošanas iespējas ir aprakstītas Fleck u.c. (2013) pētījumā. Mērījumiem izmantoja necaurspīdīgas kameras, kuru pamatnes diametrs ir 23 cm un tilpums 3 litri (Att. 3). Pamatne ir veidota no metāla, un tās apakšējā mala ir noasināta, lai to būtu vieglāk ievietot augsnē. Uz pamatnes novieto necaurspīdīgu kupolu Blīvējumu starp pamatni un kupolu nodrošināja rūpnieciski uzstādīta gumijas blīve. Gāzu savākšana notika, izmantojot nerūsējošā tērauda savienojumus un 9 metrus garu teflona cauruli, kuras iekšējais diametrs ir 1/16 collas un ārējais 1/8 collas, savienotu ar kameru, izmantojot ātro savienojumu ar gumijas izolāciju.



Att. 2. Picarro G2508 (autors: K.Valujeva).



Att. 3. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: K.Valujeva).

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

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

Datu analīzes metodes

Lai iekārtas Picarro G2508 koncentrācijas mērījumus transformētu siltumnīcas efekta gāzu emisijās no hektāra, aprēķinam tika izmantots vairāku pakāpju algoritms (Att. 4).



Att. 4. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematiskais attēlojums.

Emisiju koeficienta aprēķins

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

Emisijas koeficienta transformācijas

Emisiju koeficienta pārrēķinam uz koncentrāciju diennaktī no hektāra tika izmantots ideālās gāzes stāvokļa vienādojums (5. formula).

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

F – emisijas apjoms no augsnes (g / ha / dnn);

p – gāzes blīvums mg / m³;

V – kameras tilpums m³;

A – kameras laukums m²;

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

T – kameras temperatūra °C.

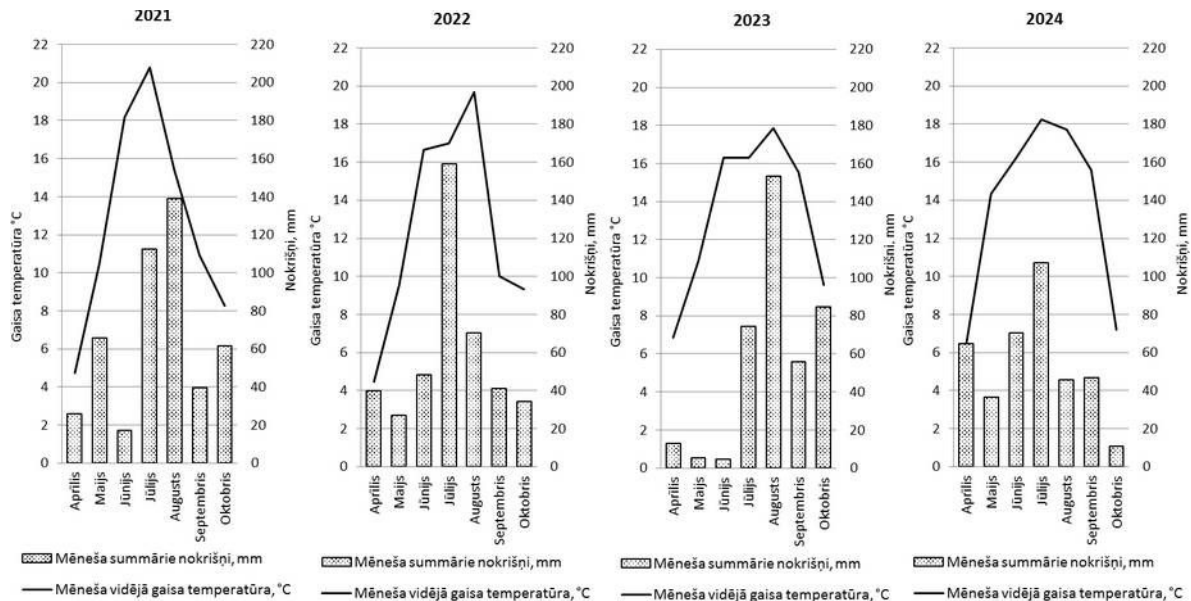
Veicot transformācijas, ir ļoti būtiski saglabāt vienotu mērvienību sistēmu. Picarro G2508 dod gāzu molārās koncentrācijas, tādēļ jāveic pāreja no molārās koncentrācijas uz masas koncentrāciju.

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Stendes LVĢMC meteoroloģiskajā novērojumu stacijā 2024. gada veģetācijas periodā nokrišņu summa bija 381.4 mm, bet vidējā gaisa temperatūra šajā periodā bija 13.7 °C. Vismazāk nokrišņu ir novērots maijā un septembrī (36.5 un 46.6 mm), bet visvairāk jūlijā (107.1 mm) (Att. 5).

Aprīlī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 0.81 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (5.7°C) un nokrišņu daudzums par 30.60 mm lielāks nekā 1981.- 2010. gada mēneša norma (34 mm). Maijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 2.94 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (11.4°C) un nokrišņu daudzums par 12.50 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (49 mm). Jūnijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 1.43 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (14.8°C) un nokrišņu daudzums par 2.70 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (73 mm). Jūlijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 0.46 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (17.8°C) un nokrišņu daudzums 31.10 mm virs 1981.-2010. gada mēneša normas (76 mm). Augusta vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 1.21 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (16.5°C) un nokrišņu daudzums par 31.30 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (77 mm). Septembrī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 3.90 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (11.7°C) un nokrišņu daudzums par 19.40 mm mazāks nekā 1981.- 2010. gada mēneša norma (66 mm) (LVĢMC, 2024).

2024. gada veģetācijas periodā gaisa temperatūra Stendes novērojumu stacijā ir pārsniegusi 1981.-2010. gada normas, bet nokrišņi tikai aprīlī un jūlijā ir bijuši virs normas.



Att. 5. Mēneša vidējās gaisa temperatūras un mēneša nokrišņu summa LVĢMC Stendes novērojamā stacijā veģetācijas periodā no 2021. līdz 2024. gadam (LVĢMC, 2024).

Rezultāti

Rezultātu nodaļas pirmajā apakšnodaļā ir apkopoti SEG mērījumu rezultāti 2024. gadā, kur sniegts ieskats N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju no augsnes apjomu raksturojošajos rādītājos, un otrajā apakšnodaļā ir analizēta audzēto kultūru ietekme, trešajā apakšnodaļā izvērtēta augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme, ceturtajā apakšnodaļā analizēta lauksaimnieciskās darbības veidu (bioloģiskā un konvencionālā) ietekme, bet piektajā apakšnodaļā ir analizēta bioloģiski apstrādātu lauku audzējamās kultūras un augsnes (minerālaugsne un organiskā augsne) ietekme, bet sestajā apakšnodaļā ir skatīta sarkanā āboliņa ietekme uz N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju apjomu.

SEG mērījumu no augsnes rezultāti

Līdz 2024. gada 31. oktobrim Stendē mērījumi ir veikti 12 mērījumu kampaņās sarkanā āboliņa, ziemas kviešu, rudzu ar sarkanā āboliņa pasēju, auzu, vasaras kviešu, vasaras miežu, griķu un kartupeļu izmēģinājuma laukos, kuros izmantotas bioloģiskās un konvencionālās saimniekošanas metodes, kā arī atsevišķos laukos ir sastopama organiskā augsne. Katrā objektā tika veikti N_2O , CO_2 un CH_4 mērījumi 3 atkārtojumos, augsnes mitruma un augsnes temperatūras mērījumi. Kopā Stendē ir veikti 1314 mērījumi, no kuriem analizē ir izmantoti 1307 mērījumi. Septiņi mērījumi atšķīrās no citiem tajā pašā dienā

veiktajiem mērījumiem un nav iespējams noteikt atšķirību iemeslu, tāpēc tos tālāk analizē neiekļauj. 2024. gada mērījumu rezultātos ir vērojama izteikta mediānas un aritmētiskās vidējās vērtības nesakritība N₂O emisijai, kas liecina par emisijas mainīgo dabu un pozitīvām ekstrēmām vērtībām. Iegūto datu aprakstošās statistiskās analīzes rezultāti attēloti Tab. 17.

Tab. 17. N₂O, CO₂ un CH₄ emisiju no augsnes statistiskie rādītāji 2024. gadā.

Variables		N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	CH ₄ , g/ha/dnn
N	Valid	1307	1307	1307
	Missing	0	0	0
Mean		2.1	162.7	-5.1
Std. Error of Mean		0.2	3.7	0.1
Median		0.8	133.8	-4.9
Std. Deviation		6.3	134.9	5.1
Variance		39.7	18 210.3	26.3
Minimum		-11.0	1.1	-24.9
Maximum		45.6	1144.6	20.5
Percentiles	25	-1.5	88.2	-7.5
	50	0.8	133.8	-4.9
	75	4.1	190.1	-2.2

Lai veicinātu izpratni par gāzu emisiju dabu un izprastu katras gāzes emisiju atšķirības audzējamo kultūru, saimniekošanas veida un augsnes kontekstā, SEG emisijas no augsnes tiek analizētas audzējamās kultūras kontekstā (sarkanais āboliņš, ziemas kvieši, rudzi ar sarkanā āboliņa pasēju, auzas, vasaras kvieši, vasaras mieži, griķi un kartupeļi), lauksaimnieciskās darbības veida (bioloģiski: sarkanais āboliņš, ziemas kvieši, auzas, griķi, vasaras kvieši, rudzi ar sarkanā āboliņa pasēju; konvencionāli: kartupeļi, vasaras mieži, auzas, ziemas kvieši, sarkanais āboliņš) un augsnes veida un audzējamās kultūras lauka griezumā (sarkanais āboliņš, ziemas kvieši un auzas uz minerālaugsni un organisko augsni).

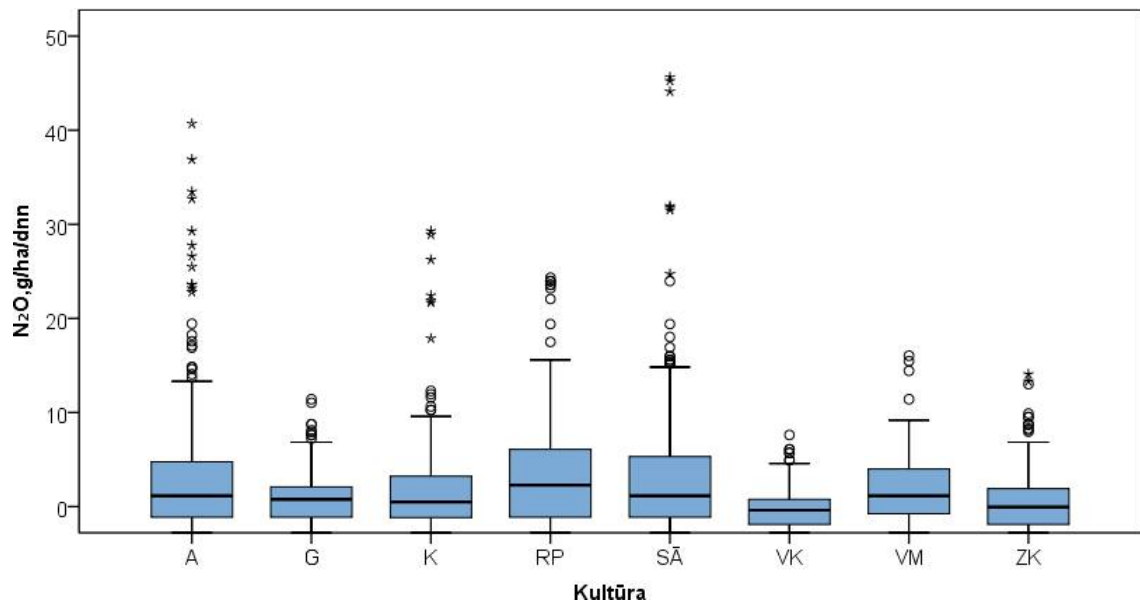
Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Vismazākās vidējās vērtības N₂O emisijai no augsnes ir novērotas ziemas kviešu un vasaras kviešu laukos, bet maksimālās N₂O emisijas ir novērotas auzu un sarkanā āboliņa laukos (Att. 6 un Tab. 18). Kartupeļu, vasaras miežu, auzu, ziemas kviešu un sarkanā āboliņa (14. lauks) laukos ir veikta mēslošana ar minerālmēsliem. No mēslotajiem laukos, kurā novērota palielināta N₂O emisija, ir sarkanā āboliņa lauks un auzu lauks. Pēc Kruskal-Wallis testa, 2024. gadā

statistiski nozīmīgas atšķirības N_2O emisijai ir vasaras kviešiem un ziemas kviešiem ar auzām, sarkano āboliņu un rudziem ar sarkanā āboliņa pasēju ziemas rapsi, kā arī starp vasaras kviešiem un vasaras miežiem ($p>0.05$).

Tab. 18. N_2O emisijas no augsnes statistiskie rādītāji 2024. gadā.

N_2O , g/ha/dnn		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Rudzi ar pasēju	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Ziemas kvieši
N	Valid	324	108	108	98	266	81	108	214
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		2,9	0.9	2.4	4.0	3.3	-0.1	1.7	0.3
Std. Error of Mean		0,4	0.3	0.7	0.8	0.5	0.3	0.4	0.2
Median		1,1	0.8	0.5	2.3	1.1	-0.4	1.1	-0.1
Std. Deviation		7,0	3.5	7.0	7.8	7.8	2.7	4.1	3.6
Variance		49,4	12.0	49.0	60.9	60.6	7.5	16.8	12.9
Minimum		-11,0	-6.5	-6.1	-9.5	-10.3	-6.8	-5.7	-9.9
Maximum		40,7	11.4	29.3	24.3	45.6	7.6	16.0	14.1
Percentiles	25	-1.1	-1.1	-1.2	-1.1	-1.1	-1.9	-0.8	-1.9
	50	1.1	0.8	0.5	2.3	1.1	-0.4	1.1	-0.1
	75	4.8	2.2	3.3	6.1	5.4	0.8	4.1	1.9

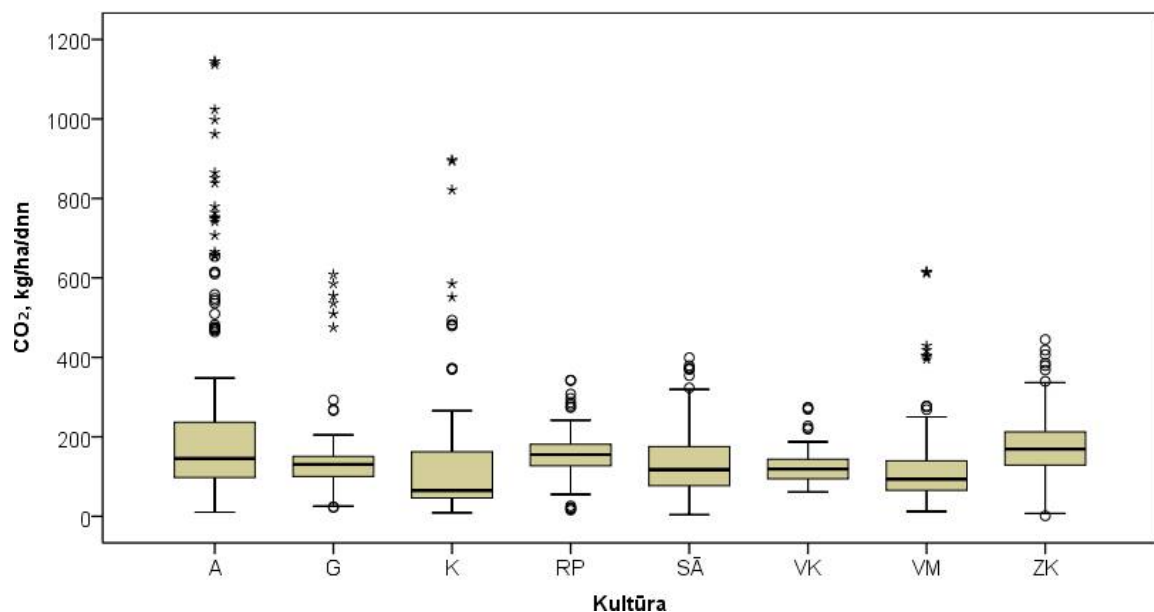


Att. 6. N_2O emisija no augsnes pēc audzētās kultūras 2024. gadā (A – auzas; G – griķi; K – kartupeļi; RP – rudzi ar sarkanā āboliņa pasēju, SĀ – sarkanais āboliņš; VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; ZK – ziemas kvieši).

Vasaras kviešu un vasaras miežu laukos vidējā CO₂ emisija no augsnes ir mazāka, salīdzinot ar pārējiem laukiem, bet visaugstākā vidējā vērtība ir auzu, ziemas kviešu un rudzu ar sarkanā āboliņa pasēju laukos (Att. 7 un Tab. 19). Lauki ar vismazākajām CO₂ emisijas vērtībām būtiski atšķiras no laukiem ar CO₂ emisijas vērtību virs 160 kg CO₂ ha⁻¹ dnn⁻¹ (p<0.05).

Tab. 19. CO₂ emisijas no augsnes statistiskie rādītāji 2024. gadā.

CO ₂ , kg/ha/dnn		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Rudzi ar pasēju	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Ziemas kvieši
N	Valid	324	108	108	98	266	81	108	214
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		211,4	147.8	140.4	160.9	130.5	125.9	130.0	178.7
Std. Error of Mean		11,1	10.5	17.0	6.7	4.7	5.0	11.6	5.3
Median		145,6	130.8	64.8	155.4	117.1	119.0	93.5	169.2
Std. Deviation		199,1	108.9	176.4	66.5	76.4	44.9	121.1	77.3
Variance		39 642,2	11 852.8	31 124.5	4418.6	5833.5	2016.1	14 657.8	5977.6
Minimum		10,3	22.4	9.1	15.6	4.2	61.2	12.4	1.1
Maximum		1144,6	608.4	897.4	342.6	399.3	274.6	615.8	444.9
Percentiles	25	97.4	100.0	46.1	126.0	77.1	93.2	65.2	128.9
	50	145.6	130.8	64.8	155.4	117.1	119.0	93.5	169.2
	75	238.0	150.7	171.2	181.8	175.8	143.8	140.1	212.7



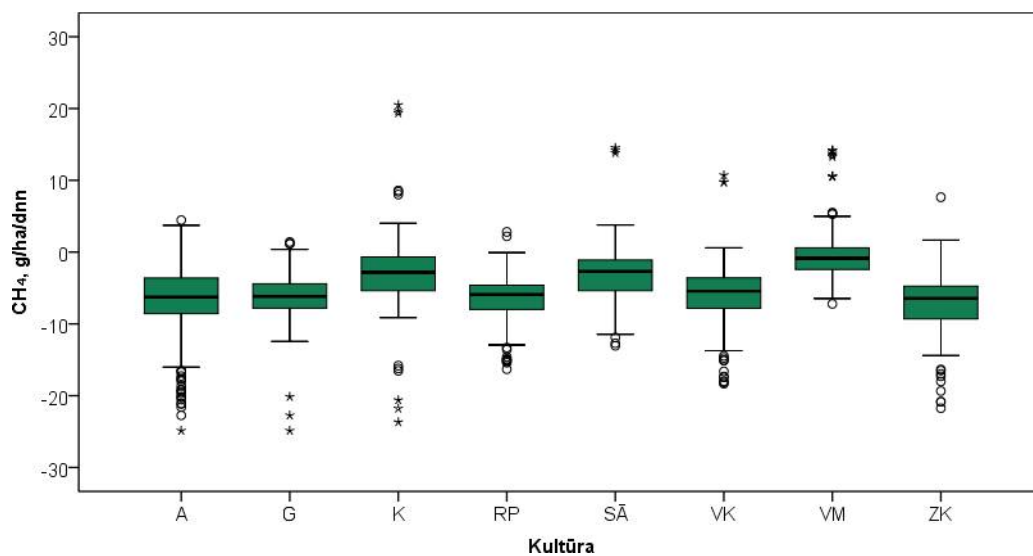
Att. 7. CO₂ emisija no augsnes pēc audzētās kultūras 2024. gadā (A – auzas; G – griķi; K – kartupeļi; RP – rudzi ar sarkanā āboliņa pasēju, SĀ – sarkanais āboliņš; VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; ZK – ziemas kvieši).

Analizējot CH₄ emisijas no augsnes, ir vērojama piesaiste un tikai atsevišķos gadījumos veidojas CH₄ emisijas (Att. 8). Vislielāko CH₄ piesaisti vidēji veido ziemas kviešu, auzu, griķu un rudzu ar sarkanā āboliņa pasēju lauki, bet vismazāko kartupeļi un sarkanais āboliņš (Tab. 20). Vasaras miežu lauks ir vienīgais lauks, kur 2024. gada rezultāti rāda, ka CH₄ emisijas ir novērotas biežāk nekā citos laukos.

Vasaras miežu laukā novērotā CH₄ emisija būtiski atšķiras no pārējām kultūrām, kur vidēji ir novērota CH₄ piesaiste ($p < 0.05$). Vasaras miežu lauks tiek apsaimniekots konvencionāli un 2023. gada rudenī ir veikta aršana, bet pavasarī šūķšana un kultivēšana, kas varētu būt izveidojusi apstākļus augsnē, kas palielina to mikroorganismu klātbūtni, kas rada CH₄ emisijas, jo metāna absorbcija parasti palielinās, kad augsne ir sausa un tās gaisa piepildītās porainības līmenis ir augsts (Fest u.c., 2017).

Tab. 20. CH₄ emisijas no augsnes statistiskie rādītāji 2024. gadā.

CH ₄ , kg/ha/dnn		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Rudzi ar pasēju	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Ziemas kvieši
N	Valid	324	108	108	98	266	81	108	214
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		-6,8	-6.5	-2.9	-6.5	-3.2	-6.0	0.3	-7.1
Std. Error of Mean		0,3	0.4	0.6	0.4	0.2	0.6	0.4	0.3
Median		-6,3	-6.1	-2.8	-5.9	-2.7	-5.4	-0.9	-6.4
Std. Deviation		5.0	3.9	6.4	3.9	3.6	5.6	4.5	4.2
Variance		24,9	15.0	40.7	15.2	12.9	31.5	20.7	17.8
Minimum		-24,9	-24.9	-23.7	-16.3	-13.0	-18.3	-7.2	-21.8
Maximum		4,5	1.4	20.5	2.8	14.5	10.7	14.2	7.6
Percentiles	25	-8.6	-7.8	-5.4	-8.0	-5.4	-7.9	-2.4	-9.3
	50	-6.3	-6.1	-2.8	-5.9	-2.7	-5.4	-0.9	-6.4
	75	-3.6	-4.4	-0.7	-4.6	-1.1	-3.5	0.7	-4.8



Att. 8. CH₄ emisija no augsnes 2024. gadā (A – auzas; G – griķi; K – kartupeļi; RP – rudzi ar sarkanā āboliņa pasēju, SĀ – sarkanais āboliņš; VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; ZK – ziemas kvieši).

Augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme uz SEG emisijām

Gāzu savstarpējā sakarība, un sakarība starp gāzēm un augsnes mitrumu un gāzēm un augsnes temperatūru tika noteikta, izmantojot Kendala korelācijas koeficientu (Chen & Popovich, 2002; Coffman u.c., 2008) visiem mērījumu rezultātiem 2024. gadā (Tab. 21).

Stendes pētniecības centrā dominē mālsmilts un smilšmāla augsnes un ir novērojama sakarība starp augsnes parametriem un SEG emisijām no augsnes. Augsnes temperatūrai un augsnes mitrumam ir statistiski nozīmīga savstarpēja korelācija un korelācija ar visām gāzēm, kas apstiprina šo augsnes parametru nozīmīgo lomu gāzu apmaiņā augsnē. Palielinoties augsnes temperatūrai, palielināsies N₂O emisija un CH₄ emisija, bet samazināsies augsnes mitrums un CO₂ emisija. Savukārt, palielinoties augsnes mitrumam, samazināsies augsnes temperatūra un N₂O emisija, bet palielināsies CO₂ un CH₄ emisijas.

Tab. 21. Kendala korelācijas koeficienti 2024. gadā¹

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	CH ₄ , g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, °C	1	-0.062**	0.039*	-0.067**	0.156**
Augsnes mitrums, %	-0.062**	1	-0.038*	0.048*	0.069**
N ₂ O, g/ha/dnn	0.039*	-0.038*	1	0.003	-0.024
CO ₂ , kg/ha/dnn	-0.067**	0.048*	0.003	1	-0.289**
CH ₄ , g/ha/dnn	0.156**	0.069**	-0.024	-0.289**	1

¹ ** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

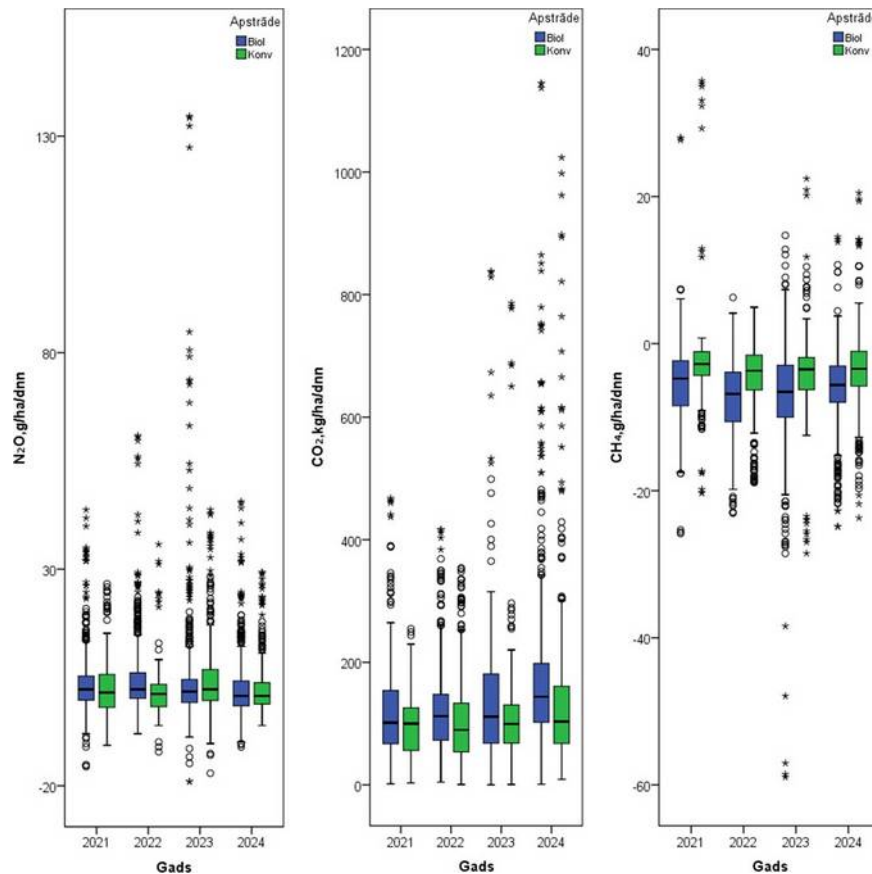
Lauksaimnieciskās darbības veida ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Lai sniegtu priekšstatu par lauksaimnieciskās darbības veida ietekmi uz SEG emisijām no augsnes, ir analizēti konvencionāli un bioloģiski apstrādātos laukos veiktie mērījumi (Att. 9). Pēc Mann-Whitney U testa CO₂ un CH₄ emisijas 2024. gadā statistiski būtiski atšķiras starp bioloģisko un konvencionālo lauksaimniecības veidu ($p < 0.05$). Bioloģiski apstrādāti lauki 2024. gada veģetācijas periodā ir izdalījuši par 12% mazāk N₂O, par 16% vairāk CO₂ emisiju, bet par 68% vairāk asimilējuši CH₄, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātiem laukiem.

N₂O emisijai no augsnes mediānas vērtība bioloģiski apstrādātos laukos 2024. gadā ir vienāda ar mediānas vērtību konvencionāli apstrādātajos laukos, kas nozīmē, ka 2024. gadā N₂O emisija ir bijusi ar līdzīgu izkliedi, tomēr konvencionāli apstrādātajos laukos ir lielāka vidējā vērtība nekā bioloģisko apstrādātajos laukos.

CH₄ emisijas salīdzinājums pēc lauksaimnieciskās darbības veida parāda, ka bioloģiski apsaimniekotos laukos vidēji ir lielāka CH₄ piesaiste. Salīdzinot visu gadu mērījumus, bioloģiski apsaimniekotie lauki asimilē vairāk CH₄, bet pēdējos divus gadus abiem saimniekošanas veidiem ir novērotas CH₄ emisijas.

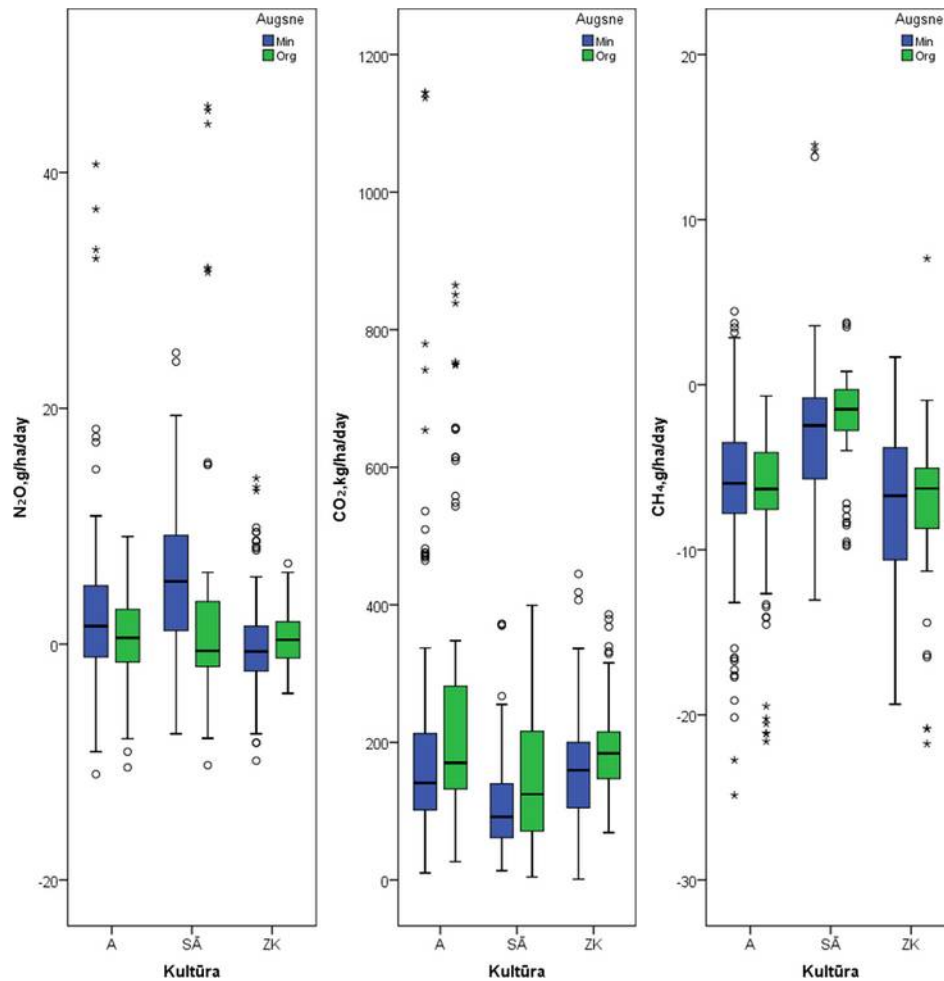
CO₂ emisiju no augsnes salīdzinājums pēc lauksaimnieciskās darbības veida parāda, ka svārstību amplitūda 2024. gadā ir bijusi līdzīga abiem saimniekošanas veidiem, lai gan bioloģiski apstrādātie lauki uzrāda augstākas CO₂ emisijas, kas ir skaidrojams ar lielāku mikrobioloģisko aktivitāti.



Att. 9. SEG emisiju no augsnes salīdzinājums no 2021. līdz 2024. gadam pēc lauksaimnieciskās darbības veida (Biol – bioloģiskā lauksaimniecība, Konv – konvencionālā lauksaimniecība).

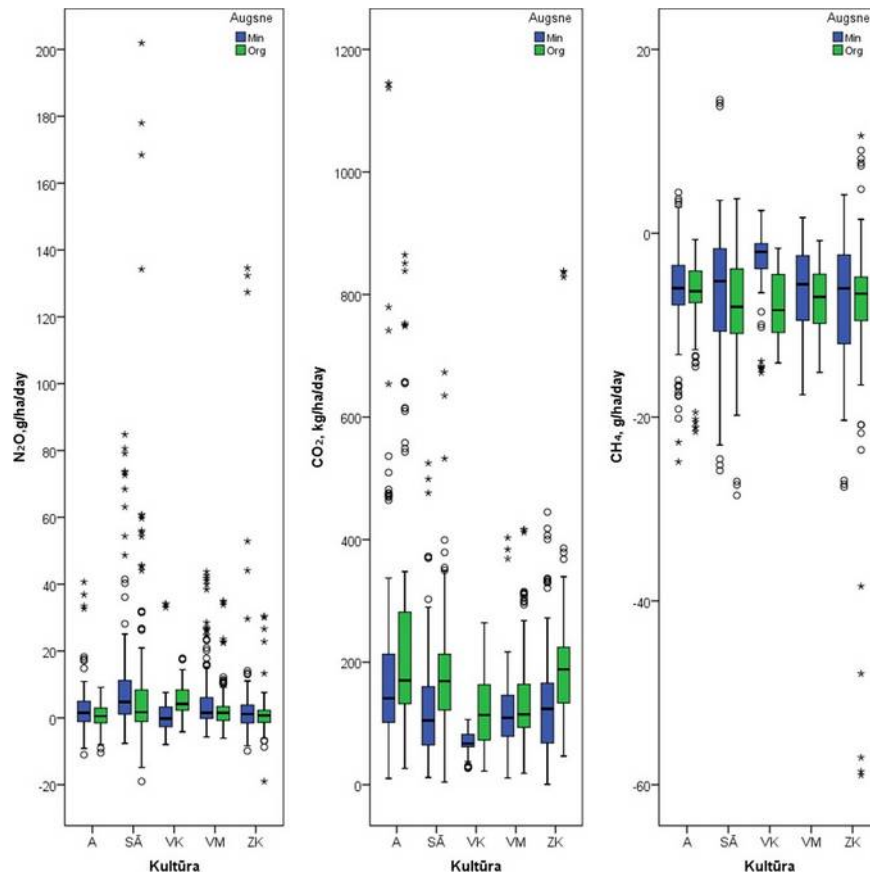
Augsnes un audzējamās kultūras ietekme uz SEG emisijām

Bioloģiski apstrādātajos ziemas kviešu, auzu un sarkanā āboliņa laukos lauka vienā pusē ir sastopama organiskā augsne, tāpēc 2024. gada SEG emisiju datiem ir veikts salīdzinājums šiem laukiem (Att. 10). Mann-Whitney U tests parāda, ka 2024. gadā ir statistiski nozīmīga atšķirība starp minerālaugsnī un organisko augsni N₂O un CO₂ emisijām šajos laukos ($p < 0.05$). Organiskā augsne 2024. gada veģetācijas periodā ir izdalījusi vidēji par 54.0% mazāk N₂O, par 24.9% vairāk CO₂, bet asimilējusi par 6.6% vairāk CH₄.



Att. 10. SEG emisiju no augsnes salīdzinājums 2024. gadam bioloģiski apstrādātos laukos ar minerālaugsnī un organisko augsni.

Salīdzinot bioloģiski apstrādāto lauku emisijas visam pētījuma periodam no 2021. līdz 2024. gadam (Att. 11), N₂O, CO₂ un CH₄ emisijas ir būtiski atšķirīgas starp augsnes veidiem, kur organiskā augsne vidēji izdala par 15.2% vairāk N₂O, par 34.2% vairāk CO₂ emisijas un par 19.3% vairāk piesaista CH₄ ($p < 0.05$). Ekstrēmās vērtības un vislielākā N₂O izkliede ir sarkanā āboliņa laukā uz organiskās augsnes un ziemas kviešu minerālaugsnes laukos, kas skaidrojams ar tauriņziežu spēju piesaistīt slāpekli no atmosfēras, jo 2023. gadā ziemas kviešu laukos ir bijis sarkanais āboliņš. CO₂ emisijai ekstrēmās vērtības un vislielākā izkliede ir novērojama auzu laukos, kur iepriekšējā gadā ir bijuši ziemas kvieši, bet vēl pirms tam sarkanais āboliņš. CH₄ vislielākā izkliede ar ekstrēmi zemām vērtībām ir novērojama ziemas kviešu laukam uz organiskās augsnes, kas nozīmē, ka konkrētais lauks ir spējis asimilēt ievērojamu daudzumu CH₄ no atmosfēras. Veģetācijas periodā 2024. gadā šī lauka daļā augsne ir bijusi labi aerēta ar daudz ar gaisu pildītām porām, kas ir veicinājušas aerobu mikroorganismu darbību.



Att. 11. SEG emisiju no augsnes salīdzinājums 2021-2024. gadam bioloģiski apstrādātos laukos ar minerālaugsnī un organisko augsni.

Sarkanā āboliņa iekļaušanas augu sekā ietekme uz SEG emisijām

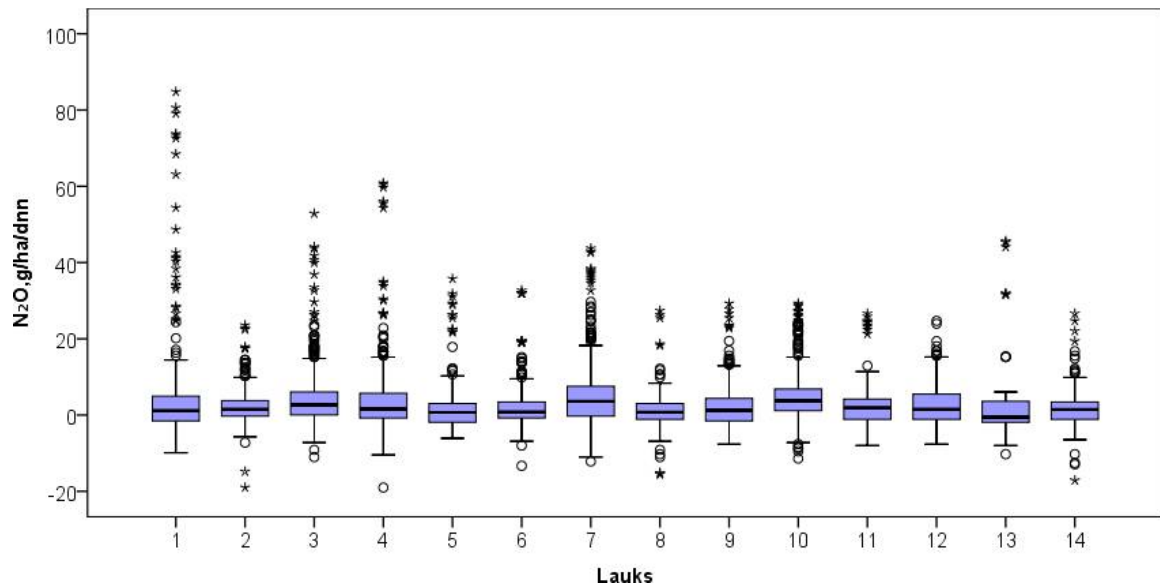
Sarkanais āboliņš ir viena no visbiežāk izmantotajām tauriņziežu kultūrām Latvijā, kas tiek audzēta, lai uzlabotu slāpekļa pieejamību augsnē un samazinātu minerālmēsli izmantošanu, tāpēc veicām 2021.-2024. gada SEG emisiju no augsnēm lauka mērījumu datu statistisko analīzi, lai noskaidrotu, kā sarkanā āboliņa iekļaušana augu sekā pa gadiem ietekmē SEG emisijas no augsnes. Visos laukos, izņemot 5. lauku un 11. lauku, kopš 2018. gada ir audzēts sarkanais āboliņš vai graudaugi ar sarkanā āboliņa pasēju. Vislielākā N_2O emisija ir laukam, kur šogad ir audzēti ziemas kvieši ($8.26 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), kas ir vidēji 3.01 kg no hektāra gadā un iepriekšējā gadā šajā laukā bija sarkanais āboliņš. Vismazākā emisija ir laukam, kur šogad ir vasaras kvieši un iepriekš sarkanais āboliņš bija sēts 2020. gadā ($1.12 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ jeb 0.41 kg gadā no hektāra) (Tab. 22). Lauki ar minimālajām N_2O vērtībām būtiski atšķiras no laukiem ar maksimālajām N_2O vērtībām ($p < 0.05$). Vidēji visaugstākā CO_2 emisijas vērtība ir laukam, kur 2024. gada sezonā ir bijušas auzas, bet 2023. gadā ziemas kvieši, bet sarkanais āboliņš bija 2022. gadā ($181.19 \text{ kg } CO_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ jeb 66.13 t gadā no hektāra), ko izskaidro organiskās vielas saturs šajā laukā, kas ir 34.8% .

Minimālajām CO₂ vērtībām ir nozīmīga atšķirība no maksimālajām vērtībām ($p < 0.05$). Arī vislielākā metāna piesaiste ir laukam, kur ir visaugstākās N₂O emisijas ($-8.44 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ jeb 3,08 kg gadā no hektāra), bet vismazākā piesaiste ir bioloģiski apsaimniekotam organiskās augsnes laukam, kur 2024. gadā ir bijis sarkanais āboliņš.

Tab. 22. N₂O, CO₂ un CH₄ emisiju no augsnes vidējās vērtības un standartklūda lauku griezumā (2021.-2024.)

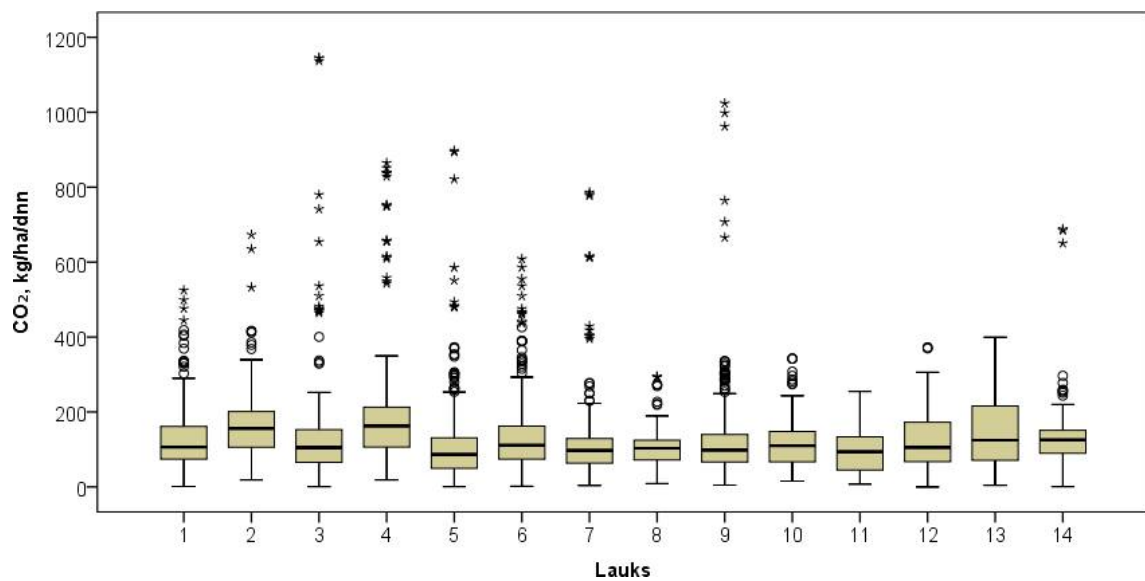
Lauks	N ₂ O, g/ha/dnn	SE	CO ₂ , kg/ha/dnn	SE	CH ₄ , g/ha/dnn	SE
1	4.26	0.60	127.41	3.84	-6.71	0.26
2	8.26	2.36	160.22	3.98	-7.61	0.19
3	5.49	0.64	127.42	6.12	-6.93	0.30
4	3.42	0.57	181.19	6.59	-8.44	0.33
5	1.39	0.28	111.01	5.26	-3.62	0.23
6	2.03	0.28	131.70	4.83	-5.51	0.26
7	5.42	0.44	111.03	4.53	-2.20	0.33
8	1.12	0.25	101.56	2.85	-6.74	0.26
9	1.82	0.32	124.05	5.41	-5.57	0.24
10	5.03	0.34	112.59	2.80	-6.20	0.22
11	2.58	0.46	99.02	4.42	-3.84	0.24
12	2.88	0.37	122.20	4.91	-3.32	0.30
13	4.08	1.63	150.75	12.81	-2.11	0.41
14	1.96	0.37	131.89	5.89	-3.99	0.28

Analizējot N₂O emisiju no augsnes izkļiedi visā mērījumu laikā no 2021. līdz 2024. gadam, ir redzams, ka visos laukos ir vērojamas pozitīvas ekstrēmās vērtības, tomēr visizteiktāk tās parādās laukos ar bioloģisko saimniekošanas veidu, kur iepriekšējos divos gados ir bijis sarkanais āboliņš (1., 3., 4., 13. laukos) un laukā ar konvencionālo saimniekošanu, kur 2024. gadā ir bijuši vasaras mieži (7. lauks) (Att. 12).



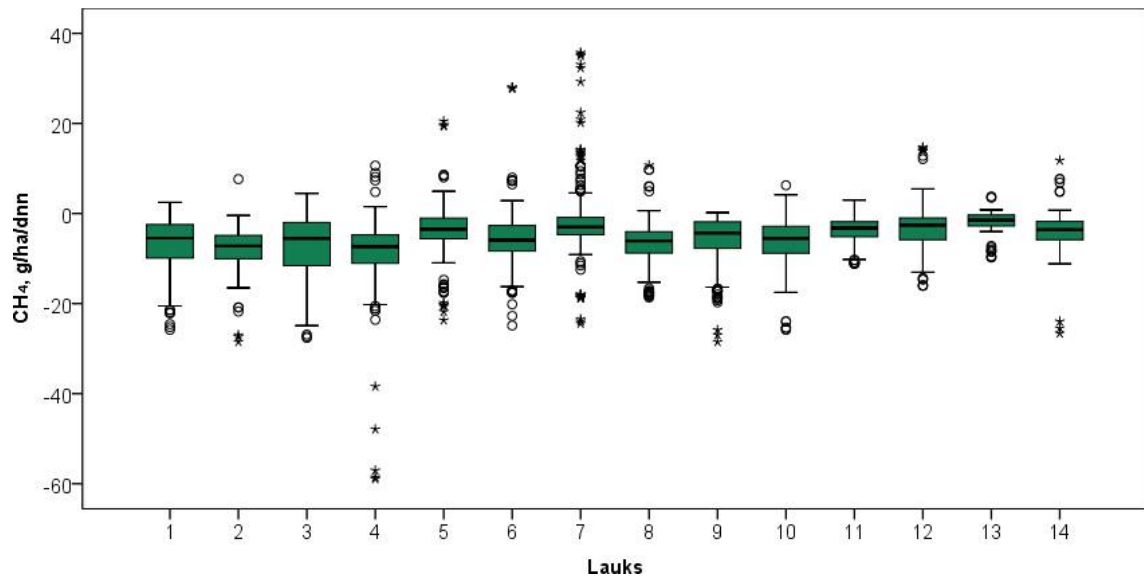
Att. 12. N_2O emisijas no augsnes salīdzinājums lauku griezumā (2021.-2024.).

Lauku griezumā CO_2 emisijas no augsnes 4 gadu mērījumu periodā ir augstākas laukos ar organisko augsni (2. un 4. lauks), bet izteikti ekstrēmas vērtības ir novērotas laukos, kur 2024. gadā ir bijušas auzas (3., 4. un 9. lauki) (Att. 13).



Att. 13. CO_2 emisijas no augsnes salīdzinājums lauku griezumā (2021.-2024.).

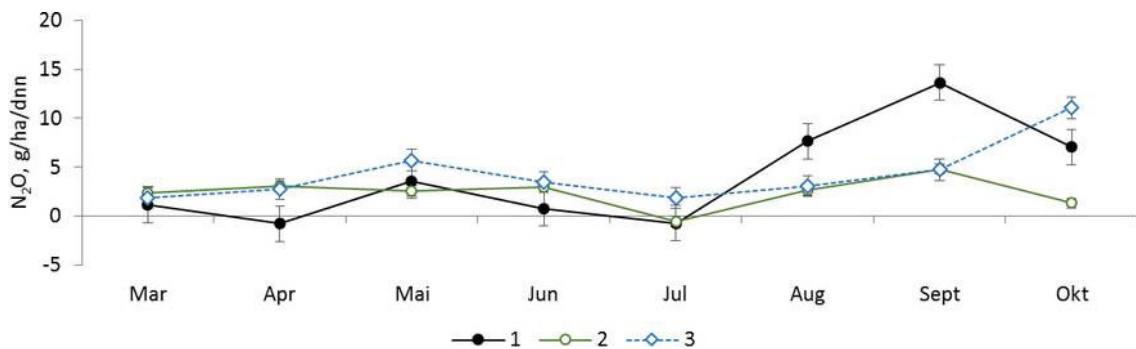
Metāna emisijas ar izteiktiem pozitīviem ekstrēmiem ir vērojamas 5., 6. un 7. laukā, no kuriem tieši konvencionāli apstrādātajā laukā ir novērotas visvairāk pozitīvas ekstrēmas vērtības (Att. 14).



Att. 14. CH₄ emisijas no augsnes salīdzinājums lauku griezumā (2021.-2024.).

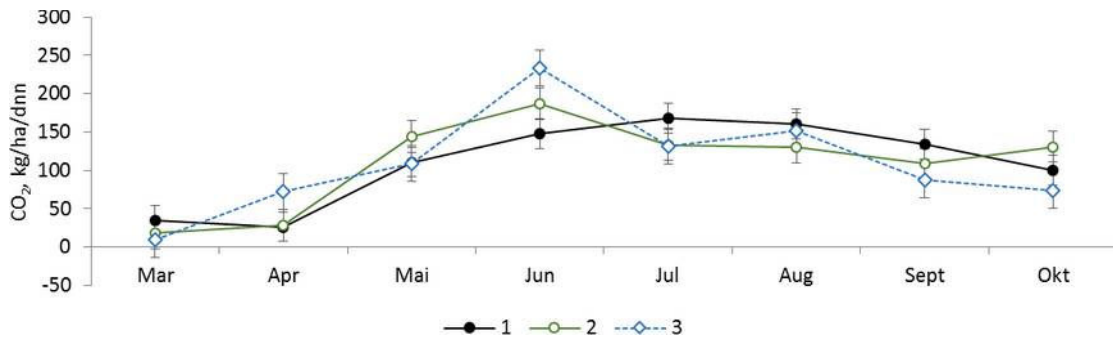
N₂O emisijas pēc sarkanā āboliņa augu rotācijā ir svārstīgas pa mēnešiem un gadiem, kad sarkanais āboliņš ir sēts (Att. 15). Pirmajā gadā pēc āboliņa sēšanas N₂O emisijas ir salīdzinoši augstas, īpaši augustā, septembrī un oktobrī,

kas varētu liecināt par pastiprinātu slāpekļa mineralizāciju augsnē. Otrajā gadā emisijas nedaudz samazinās, bet trešajā gadā atkal pieaug, kā tas novērojams maijā un oktobrī. Tas norāda, ka sarkanā āboliņa ietekme uz N₂O emisijām var būt saistīta ar bioloģiskiem procesiem, kas iedarbojas ilgākā laika posmā.



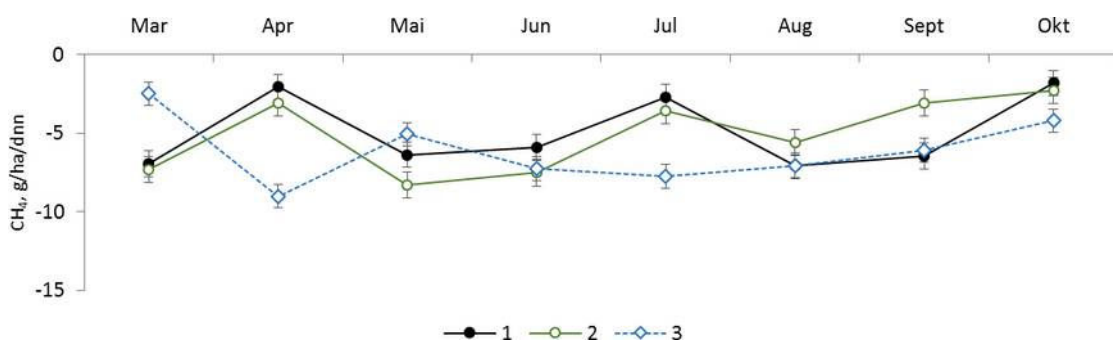
Att. 15. N₂O emisijas no augsnes salīdzinājums mēnešu griezumā (2021.-2024.).

Pirmajā gadā CO₂ emisijas pakāpeniski palielinās, īpaši vasaras mēnešos, kad tiek novērotas augstas emisijas jūlijā un augustā (Att. 16). Otrajā gadā CO₂ emisijas ir vēl augstākas, īpaši jūnijā, bet trešajā gadā tās samazinās, it īpaši sezonas beigās, piemēram, septembrī un oktobrī. Šie novērojumi liecina, ka augsnes mikrobioloģiskā aktivitāte un organiskās vielas noārdīšanās palielina CO₂ emisijas vairākus gadus pēc āboliņa audzēšanas.



Att. 16. CO₂ emisijas no augsnes salīdzinājums mēnešu griezumā (2021.-2024.).

CH₄ emisijas pēc sarkanā āboliņa sēšanas visbiežāk ir negatīvas, kas norāda uz metāna piesaisti augsnē, nevis emisiju (Att. 17). Pirmajā gadā metāna piesaiste ir svārstīga, bet otrajā un trešajā gadā tā kļūst izteiktāka, īpaši vasaras mēnešos, piemēram, jūlijā un augustā, bet, samazinoties gaisa temperatūrai, samazinās arī metāna piesaiste. Tas varētu būt saistīts ar augsnes temperatūras ietekmi uz augsnes mikrobioloģisko aktivitāti un organiskās vielas klātbūtni, kas veicina metāna piesaisti.



Att. 17. CH₄ emisijas no augsnes salīdzinājums mēnešu griezumā (2021.-2024.).

Secinājumi

- Bioloģiski apstrādāti lauki 2024. gada veģetācijas periodā ir izdalījuši par 12% mazāk N₂O, par 16% vairāk CO₂ emisiju, bet par 68% vairāk asimilējuši CH₄, salīdzinot ar konvencionālo lauksaimniecību. Izmantojot bioloģiskās saimniekošanas metodes, augsnē palielinās mikrobioloģiskā aktivitāte, kas ir būtiski barības vielu apritē, organiskās vielas veidošanā un augsnes struktūras uzlabošanā, tāpēc ir būtiski arī uzturēt optimālu mitruma režīmu, kas veicinātu metāna piesaisti. 2024. gada veģetācijas perioda nokrišņu daudzums ir gaisa temperatūra ir bijuši optimāli tieši metāna piesaistes veicināšanā un N₂O emisijas samazināšanā, salīdzinot ar iepriekšējiem pētījuma gadiem, kad veģetācijas perioda vidējā gaisa temperatūra ir bijusi zemāka, bet nokrišņu daudzums augstāks.

- Pētījuma rezultāti rāda būtisku atšķirību starp minerālaugsnī un organisko augsni. Organiskā augsne 2024. gada veģetācijas periodā ir izdalījusi vidēji par 54.0% mazāk N_2O , par 24.9% vairāk CO_2 , bet asimilējusi par 6.6% vairāk CH_4 .
- Sarkanā āboliņa iekļaušana augu sekā veicina mikrobioloģisko aktivitāti, kas var novest pie paaugstinātas N_2O emisijas, bet vienlaikus sarkanā āboliņa iekļaušana augu sekā arī veicina CH_4 asimilāciju. Laukos, kur pētījuma īstenošanas laikā no 2021. līdz 2024. gadam augu sekā nav audzēts sarkanais āboliņš, uzrāda stabilākus un zemākus SEG emisiju rādītājus, bet ir jāņem vērā, ka augsta mikrobioloģiskā aktivitāte veicina augsnes auglību.
- SEG emisijas no augsnēm būtiski ietekmē klimata apstākļi konkrētajā gadā, SEG emisiju veidošanās tendences pie konkrētiem agrotehniskajiem pasākumiem, konkrētam augsnes tipam ir iespējams identificēt, tikai veicot ilgtermiņa monitoringu.

Oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmu analīze

Ilgtspējīgu oglekļa ciklu (Sustainable Carbon Cycles) iniciatīva ir viena no stratēģiskajām Eiropas Zaļā kursa (European Green Deal) prioritātēm, kas vērsta uz klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu, īpašu uzmanību pievēršot oglekļa dioksīda piesaistei no atmosfēras un tā ilgstošai uzglabāšanai. Šīs iniciatīvas ietvaros tiek akcentēta nepieciešamība attīstīt inovācijas un veicināt ilgtspējīgu praksi dažādās ekonomikas nozarēs, lai mazinātu siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas un sekmētu globālās klimata pārmaiņas ierobežojošus pasākumus. Īpaši nozīmīga loma tiek piešķirta oglekļa saistīšanai lauksaimniecībā, mežsaimniecībā un citās zemes izmantošanas nozarēs, kas paver iespējas radīt jaunas ekonomiskās vērtības ķēdes, vienlaikus uzlabojot vides kvalitāti un stiprinot ekosistēmu noturību.

Eiropas Komisija 2024. gadā turpina aktīvi attīstīt oglekļa saistīšanas iniciatīvas, veicinot oglekļa saistīgu lauksaimniecību (Carbon Farming) un veidojot sertifikācijas sistēmu oglekļa piesaistei (Carbon Removal Certification). Šie pasākumi ir saistīti ar 2022. gada 30. novembrī publiskoto Eiropas Parlamenta un Padomes regulas priekšlikumu (CRCF regula), kas izstrādāts, lai izveidotu Savienības sertifikācijas sistēmu oglekļa piesaistei (COM(2022) 672 final) (European Commission, 2022b). Regulas mērķis ir noteikt vienotus standartus un prasības oglekļa piesaistes procesu sertificēšanai, kas būtu uzticami, pārredzami un saskaņoti visā Eiropas Savienībā. Šāda pieeja ļaus ne tikai efektīvāk uzraudzīt un izvērtēt oglekļa piesaistes pasākumu ietekmi, bet arī veicinās to integrāciju tirgus mehānismos, radot ekonomiskus stimulus uzņēmumiem un saimniecībām iesaistīties klimatneitralitātes mērķu sasniegšanā.

Īpaša uzmanība tiek veltīta oglekļa saistīgās lauksaimniecības konceptam, kas balstīts uz ilgtspējīgas prakses pielietošanu, piemēram, konservējošo lauksaimniecību, meža un lauksaimniecības zemju pārvaldību, kas palielina augsnes un veģetācijas spēju uzkrāt oglekli. Šī pieeja ne tikai sekmē SEG emisiju samazināšanu, bet arī uzlabo augsnes auglību, ūdens resursu saglabāšanu un bioloģiskās daudzveidības aizsardzību. Turklāt CRCF regula paredz sertifikācijas satvara izveidi, lai nodrošinātu precīzu oglekļa piesaistes pasākumu kvantifikāciju, pārbaudi un ziņošanu. Tā mērķis ir panākt, lai oglekļa piesaiste būtu ekonomiski izdevīga, uzticama un atbilstoša klimata politikas mērķiem.

Eiropas Komisijas aktivitātes šajā jomā tiek īstenotas ciešā sadarbībā ar dalībvalstīm, pētniecības institūcijām un privāto sektoru, lai nodrošinātu efektīvu regulējuma ieviešanu un pielāgošanu vietējiem apstākļiem. Vienlaikus

tiek veicināta arī sabiedrības izpratne par oglekļa ciklu nozīmi un to ilgtspējīgas pārvaldības nepieciešamību, radot priekšnoteikumus plašākai sabiedrības iesaistei. Līdz ar to Ilgtspējīgu oglekļa ciklu iniciatīva kļūst par nozīmīgu elementu ne tikai klimatneitralitātes, bet arī Eiropas ilgtspējīgas attīstības mērķu sasniegšanā, sekmējot videi draudzīgu tehnoloģiju ieviešanu, ilgtspējīgu ekonomikas izaugsmi un sociālo labklājību.

Šī pētījuma mērķis ir izvērtēt Eiropas Komisijas priekšlikumus oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai. Pētījuma mērķa izpildei formulēti uzdevumi:

1. izvērtēt ES likumdošanas priekšlikumus (2024.gadā) saistībā ar ZIZIMM sektora SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumiem, to darbību datiem un nepieciešamajiem uzlabojumiem, ziņojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmi;
2. novērtēt Latvijas ZIZIMM sektora klimata pārmaiņu mazināšanas darbību atbilstību kritērijiem, ko ES definējusi oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumiem un sagatavot priekšlikumus pasākumu atbilstības nodrošināšanai.

2024. gada februārī Eiropas Komisija panāca provizorisku politisku vienošanos par CRCF (Carbon Removal Certification Framework) regulu, kuras mērķis ir izveidot Savienības mēroga regulējumu oglekļa piesaistes pasākumu sertifikēšanai. Šī regula ir daļa no plašākiem Eiropas Zaļā kursa mērķiem, kas paredz panākt klimatneitralitāti līdz 2050. gadam, samazinot siltumnīcefekta gāzu emisijas un vienlaikus stimulējot dabisko un tehnoloģisko oglekļa piesaistes metožu attīstību. Lai gan 2024. gadā nav publiskoti jauni priekšlikumi oglekļa saistīgās lauksaimniecības iniciatīvu ieviešanai, CRCF regulas izstrāde iezīmē būtisku soli, veidojot skaidru un uzticamu politikas satvaru, kas paredz augstas kvalitātes oglekļa piesaistes aktivitāšu sertifikēšanu.

CRCF regulā ietvertie principi, kas apkopoti akronīmā QU.A.L.ITY (Quantification, Additionality, Liability, sustainabilITy), ir būtiski, lai nodrošinātu uzticamu oglekļa piesaistes aktivitāšu uzraudzību un to efektivitāti klimata pārmaiņu mazināšanā. Kvantifikācijas princips nosaka, ka oglekļa piesaistes apjomi ir jāaprēķina precīzi un pārbaudāmi, izmantojot standartizētas metodes un saskaņotus kritērijus. Papildināmības princips nodrošina, ka sertifikētie pasākumi sniedz pievienoto vērtību un pārsniedz parasto praksi, nepieļaujot, ka aktivitātes, kas jau īstenotas bez papildu stimulēšanas, tiktu iekļautas sertifikācijas sistēmā. Atbildības princips paredz, ka sertifikācijas shēmās jāietver ilgtermiņa saistības un riska vadības mehānismi, lai garantētu, ka oglekļa piesaiste ir noturīga un nepārvēršas par emisiju atbrīvošanu nākotnē. Visbeidzot, ilgtspējības princips nodrošina, ka oglekļa piesaistes aktivitātes

atbilst plašākiem vides, sociālajiem un ekonomiskajiem mērķiem, neapdraudot bioloģisko daudzveidību, ūdens resursus vai vietējo sabiedrību intereses.

CRCF regulā uzsvērts arī trešās puses verifikācijas princips, kas paredz, ka oglekļa piesaistes pasākumi tiek neatkarīgi pārbaudīti, lai nodrošinātu to ticamību un pārredzamību. Šī pieeja veicina uzticību starp visām iesaistītajām pusēm, tostarp uzņēmumiem, valdībām un sabiedrību, nodrošinot, ka sertifikācijas shēmas atbilst visaugstākajiem standartiem. Regula paredz arī vienotu ES līmeņa oglekļa vienību uzskaites reģistru, kas aizstāj sākotnēji pieļauto pieeju veidot nacionālus reģistrus. Vienotais reģistrs kalpos kā centrālais mehānisms oglekļa vienību uzraudzībai, izsekojamībai un pārvaldībai, vienkāršojot to izmantošanu gan brīvprātīgajos tirgos, gan obligātajos oglekļa tirgos.

Lai gan konkrēti mehānismi oglekļa saistīgās lauksaimniecības atbalstam 2024. gadā nav publicēti, Eiropas Komisijas iniciatīvas mērķis ir veicināt ilgtspējīgu lauksaimniecības praksi, kas sekmē gan oglekļa piesaisti, gan citu vides mērķu sasniegšanu. Oglekļa saistīgā lauksaimniecība ietver virkni pasākumu, piemēram, augsnes oglekļa uzkrāšanas uzlabošanu, konservējošās lauksaimniecības metodes, koku un meža stādījumu integrāciju lauksaimniecībā un bioloģiski daudzveidīgas zemes apsaimniekošanas pieejas. Šīs iniciatīvas ne tikai palīdzēs samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas, bet arī uzlabos augsnes veselību, ūdens resursu kvalitāti un lauksaimniecības ilgtspējību.

Regulas izstrādes laikā tika apspriesta nepieciešamība pēc skaidras metodoloģijas, kas ļautu ne tikai novērtēt oglekļa piesaistes pasākumu ietekmi, bet arī veicinātu to integrāciju tirgus mehānismos. Vienotais ES reģistrs un trešās puses verifikācijas mehānismi būs būtiski, lai garantētu, ka oglekļa piesaistes pasākumi ir uzticami un ekonomiski pievilcīgi uzņēmumiem un investoriem. Šī pieeja palīdzēs izvairīties no zaļmaldināšanas un veicinās klimata mērķu integrāciju uzņēmējdarbības stratēģijās.

CRCF regulas pieņemšana arī sniegs pamatu papildu iniciatīvām, tostarp finansiālu stimulu izstrādei, kas motivēs zemniekus un uzņēmējus iesaistīties oglekļa piesaistes aktivitātēs. Tā kā oglekļa saistīgās lauksaimniecības ekonomiskais potenciāls joprojām nav pilnībā apzināts, turpmākajos gados paredzama detalizēta analīze par šo aktivitāšu iespējamo pienesumu lauksaimniecības ekonomikai un klimata politikai.

Nemot vērā iepriekš minēto, CRCF regula ir nozīmīgs solis Eiropas Savienības ceļā uz klimatneitralitāti, kas vienlaikus nodrošinās stabilu regulējumu oglekļa piesaistes pasākumu ieviešanai un veicinās ilgtspējīgu attīstību. Turpmākajos gados tiks sagaidīta detalizētāka stratēģiju izstrāde un jaunu iniciatīvu ieviešana, lai nodrošinātu gan efektīvu regulas īstenošanu, gan plašāku sabiedrības un

ekonomikas sektoru iesaisti oglekļa piesaistes un klimatneitralitātes mērķu sasniegšanā.

Būtiskākais solis, ko Eiropas Komisija uzsāka 2024. gadā, ir detalizētu sertifikācijas metodoloģiju izstrāde konkrētām oglekļa piesaistes darbībām, lai nodrošinātu uzticamu un pārredzamu oglekļa piesaistes pasākumu novērtēšanu un sertificēšanu visā Eiropas Savienībā. Šī iniciatīva ir daļa no plašākas stratēģijas, kas vērsta uz klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu līdz 2050. gadam, veicinot oglekļa piesaistes pasākumu integrāciju dažādās nozarēs, īpaši lauksaimniecībā un mežsaimniecībā.

Sertifikācijas metodoloģiju izstrāde balstās uz Q.U.A.L.I.T.Y principi. Šie principi nodrošina, ka oglekļa piesaistes pasākumi ir precīzi izmērāmi, sniedz papildu labumu salīdzinājumā ar ierasto praksi, ir noturīgi un atbilst ilgtspējības kritērijiem. Turklāt tiek uzsvērtā trešās puses verifikācijas nozīme, lai garantētu neatkarīgu un objektīvu oglekļa piesaistes pasākumu novērtējumu.

Lai izstrādātu efektīvas sertifikācijas metodoloģijas, Eiropas Komisija sadarbojas ar dalībvalstīm, pētniecības institūcijām un nozares ekspertiem. Piemēram, Rīgas Tehniskās universitātes projekts "Oglekļa ietilpīgās lauksaimniecības sertifikācijas sistēma: virzība uz rezultātiem balstītu lauksaimniecības sektoru" (CarbFarmS) analizē dažādus oglekļa piesaistes risinājumus lauksaimniecībā, novērtējot to ietekmi uz siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu, kā arī to klimata, vides, ekonomisko un sociālo dzīvotspēju.

Viens no piemēriem ir konservējošās lauksaimniecības metožu sertifikācijas metodoloģija, kas ietver minimālu augsnes apstrādi, augu seguma uzturēšanu un dažādu kultūraugu audzēšanu. Šīs prakses veicina augsnes oglekļa uzkrāšanos un bioloģiskās daudzveidības saglabāšanu. Sertifikācijas metodoloģija šajā gadījumā nosaka precīzas kvantifikācijas metodes, lai izmērītu oglekļa piesaistes apjomus, un papildināmības kritērijus, lai nodrošinātu, ka šīs prakses sniedz papildu labumu salīdzinājumā ar tradicionālajām metodēm.

Vēl viens piemērs ir meža atjaunošanas un meža platību paplašināšanas pasākumu sertifikācija. Šajā gadījumā metodoloģija ietver oglekļa uzkrāšanas potenciāla novērtējumu dažādās koku sugās un meža apsaimniekošanas praksēs, kā arī ilgtspējības kritērijus, lai nodrošinātu, ka mežsaimniecības pasākumi neapdraud bioloģisko daudzveidību un vietējo kopienu intereses.

Svarīgs aspekts sertifikācijas metodoloģiju izstrādē ir arī oglekļa uzglabāšanas produktu sertifikācija, piemēram, koksnes izstrādājumiem, kas ilgstoši uzglabā oglekli. Šajā gadījumā metodoloģija nosaka oglekļa uzglabāšanas ilguma un stabilitātes novērtēšanas kritērijus, kā arī ilgtspējības prasības attiecībā uz izejvielu ieguvu un produktu ražošanu.

Eiropas Komisija plāno pakāpeniski izstrādāt un ieviest šīs sertifikācijas metodoloģijas, ņemot vērā dažādu oglekļa piesaistes pasākumu specifiku un to potenciālu klimata pārmaiņu mazināšanā. Šī pieeja nodrošinās, ka oglekļa piesaistes sertifikācija ir pielāgota konkrētām nozarēm un darbībām, veicinot efektīvu un uzticamu oglekļa piesaistes pasākumu integrāciju Eiropas Savienības klimata politikā.

Līdz ar to detalizētu sertifikācijas metodoloģiju izstrāde konkrētām oglekļa piesaistes darbībām ir būtisks solis Eiropas Savienības ceļā uz klimatneitralitāti, nodrošinot skaidrus un uzticamus standartus oglekļa piesaistes pasākumu novērtēšanai un veicinot to plašāku ieviešanu dažādās nozarēs.

2024. gadā šis darbs tikai uzsākts un tiks turpināts 2025.gadā ar mērķi 2025.gada nogalē sagatavot pirmos deleģētos aktus konkrētu pasākumu sertifikācijas metodoloģiju apstiprināšanai. Pasākumi, pie kuru sertifikācijas metodoloģiju izstrādes uzsākts darbs ir:

- gruntsūdens līmeņa pacelšana (rewetting) un mitrāju atjaunošana ar mērķi mazināt oglekļa sadalīšanās procesus un palielināt oglekļa uzkrājumu;
- agromežsaimniecība, integrējot kokaugu un lauksaimniecības sistēmas;
- augsnes aizsardzības prakses, tostarp, uztvērējaugi, mazaršana, kokaugu aizsargjoslas;
- meža atjaunošana, ņemot vērā biodaudzveidības un ilgtspējīgas meža apsaimniekošanas ekoloģiskos principus;
- uzlabotas mēslošanas stratēģijas ar mērķi samazināt slāpekļa emisijas.

Ņemot vērā, ka tikai noteikti pasākumi tiek uzskatīti par atbilstošiem CRCF regulas ieviešanas kontekstā, Latvijas zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektora klimata pārmaiņu mazināšanas darbību atbilstība regulai ir jāvērtē, balstoties uz šiem pasākumiem. 2024. gada nogalē Eiropas Komisija uzsāka ekspertu diskusijas par trīs specifisku pasākumu metodoloģijām:

1. **Augsnes oglekļa uzkrāšana minerālaugsnēs un agromežsaimniecība:** Šis pasākums ietver prakses, kas palielina oglekļa uzkrāšanos augsnē, piemēram, minimālu augsnes apstrādi, starpkultūru izmantošanu un koku integrāciju lauksaimniecības zemēs.
2. **Neizmantotu un nopietni degradētu platību apmežošana:** Šis pasākums koncentrējas uz mežu stādīšanu teritorijās, kuras ir pamestas vai stipri degradētas, lai atjaunotu ekosistēmas un palielinātu oglekļa piesaisti.

3. **Mitrāju atjaunošana, paceļot gruntsūdens līmeni:** Šis pasākums ietver darbības, kas atjauno mitrājus, paaugstinot gruntsūdens līmeni, tādējādi samazinot siltumnīcefekta gāzu emisijas un veicinot oglekļa uzkrāšanos.

Tā kā diskusijas par šīm metodoloģijām tika uzsāktas tikai 2024. gada oktobra vidū, līdz novembrim nav pieejami to rezultāti, kas ļautu detalizēti analizēt Latvijas ZIZIMM sektora klimata pārmaiņu mazināšanas darbību atbilstību ES definētajiem kritērijiem oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumiem.

Tomēr ir svarīgi atzīmēt, ka Latvija jau ir veikusi vairākus pasākumus, kas saskan ar minētajām iniciatīvām. Piemēram, bioloģiskās lauksaimniecības prakses Latvijā veicina augsnes veselību un oglekļa uzkrāšanos, izmantojot dabiskās mēslošanas metodes un daudzveidīgu kultūraugu audzēšanu. Turklāt ir īstenoti projekti mitrāju atjaunošanai, kas palīdz samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas un uzlabot bioloģisko daudzveidību.

Lai gan pašreiz trūkst detalizētas informācijas par ES līmeņa metodoloģiju izstrādes rezultātiem, Latvijai ir iespēja turpināt attīstīt un pielāgot savas prakses, lai tās atbilstu gaidāmajiem ES standartiem. Tas ietver ciešu sadarbību ar Eiropas Komisiju un citām dalībvalstīm, lai nodrošinātu, ka nacionālās iniciatīvas ir saskaņotas ar ES politikas mērķiem un veicina efektīvu klimata pārmaiņu mazināšanu.

Turpmākajos mēnešos, kad būs pieejami ekspertu diskusiju rezultāti un izstrādātās metodoloģijas, būs iespējams veikt detalizētāku analīzi par Latvijas ZIZIMM sektora darbību atbilstību ES noteiktajiem kritērijiem. Tas ļaus identificēt stiprās puses un jomas, kur nepieciešami uzlabojumi, lai pilnībā integrētu oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumus nacionālajā politikā un praksē.

Līdz ar to, lai gan pašreiz nav pieejama pilnīga informācija par ES metodoloģiju izstrādes rezultātiem, Latvijai ir jāseko līdzi šīm attīstībām un jāpielāgo savas stratēģijas, lai nodrošinātu atbilstību ES prasībām un efektīvi veicinātu klimata pārmaiņu mazināšanu ZIZIMM sektorā.

ES oglekļa sertifikācija un ZIZIMM sektora siltumnīcefekta gāzu (SEG) inventarizācijas procesi ir savstarpēji saistīti, taču tos raksturo arī būtiskas atšķirības, kas izriet no regulējuma specifikas un mērķiem. Lai gan abi procesi tiek īstenoti ar kopēju mērķi – veicināt klimatneitralitātes sasniegšanu un nodrošināt SEG emisiju mazināšanu, tie balstās uz atšķirīgiem metodoloģiskajiem pieņēmumiem, prasībām un rezultātu pielietojumu. ZIZIMM sektora regulējums, tostarp Regula 2023/839, tiecas uzlabot SEG emisiju un piesaistes uzskaiti, vienlaikus nodrošinot ilgtspējīgu zemes izmantošanu,

savukārt ES oglekļa sertifikācijas regulējums ir orientēts uz brīvprātīgu oglekļa piesaistes pasākumu sertifikāciju un ekonomisko stimulēšanu.

ZIZIMM regulējuma specifiskās prasības, piemēram, Tier 3 līmeņa monitoringa ieviešana platībās ar augstu oglekļa saturu no 2030. gada, liecina par mērķtiecīgu pāreju uz precīzākiem datu iegūšanas un analīzes metodēm. Tier 3 līmenis, kas balstās uz detalizētiem uz vietas iegūtiem datiem un dinamiskajiem modeļiem, tiek uzskatīts par augstāko uzraudzības standartizācijas līmeni, kas sniedz iespēju precīzāk novērtēt oglekļa piesaistes un emisiju procesus konkrētās teritorijās. Šis piegājiens ir īpaši nozīmīgs platībām ar augstu oglekļa saturu, piemēram, kūdrājiem un mitrājiem, kur mazas izmaiņas pārvaldības praksēs var ievērojami ietekmēt SEG emisiju bilanci.

Turklāt ģeogrāfiski referencētas pieejas prasība datu ieguvē un SEG inventarizācijas uzlabošanai akcentē nepieciešamību sasaistīt datus ar konkrētām vietām. Šī pieeja ļauj precīzāk modelēt un prognozēt klimata pārmaiņu ietekmi un identificēt tās teritorijas, kur nepieciešama īpaša uzmanība, piemēram, atjaunošanas vai apmežošanas pasākumiem. ES oglekļa sertifikācijas kontekstā šāda pieeja ir nozīmīga, lai nodrošinātu sertifikācijas programmu ticamību un novērtētu oglekļa piesaistes pasākumu efektivitāti dažādos reģionos.

ZIZIMM regulējumā iekļautais aicinājums izmantot attālās izpētes rīkus, piemēram, satelītdatus, dronus un citus ģeotelpiskās analīzes instrumentus, paver plašas iespējas SEG uzraudzības efektivitātes palielināšanai. Šīs tehnoloģijas ļauj ne tikai apkopot datus lielās teritorijās, bet arī noteikt klimata pārmaiņu mazināšanai piemērotākās platības, piemēram, reģionus, kas ir piemēroti agromežsaimniecībai vai mitrāju atjaunošanai. Tas var būt īpaši nozīmīgi, lai identificētu degradētas zemes, kuras varētu integrēt ES oglekļa sertifikācijas shēmās, tādējādi nodrošinot gan ekonomiskus stimulus, gan pozitīvu ietekmi uz klimatu.

Neskatoties uz to, ka ES oglekļa sertifikācijas un ZIZIMM regulējumi funkcionē dažādos līmeņos un kalpo atšķirīgiem mērķiem, pastāv ievērojams sinerģijas potenciāls. Piemēram, dati, kas iegūti, ieviešot Tier 3 monitoringu un ģeogrāfiski referencētas pieejas ZIZIMM sektorā, varētu tikt izmantoti arī oglekļa sertifikācijas sistēmu ietvaros, lai palielinātu oglekļa piesaistes pasākumu uzskaites precizitāti un uzticamību. Tāpat sertifikācijas programmas var veicināt brīvprātīgu dalību oglekļa piesaistes aktivitātēs, kas papildina ZIZIMM regulējumā paredzētās prasības.

Kopumā ES oglekļa sertifikācijas un ZIZIMM sektora SEG inventarizācijas procesi atspoguļo nepieciešamību pēc daudzslāņainas pieejas klimata pārmaiņu mazināšanai. Vienlaikus šo sistēmu attīstība norāda uz arvien lielāku datu analītikas un tehnoloģisko risinājumu lomu ilgtspējīgas zemes izmantošanas un

oglekļa piesaistes pasākumu īstenošanā. Turpmākajos gados sagaidāma šo procesu saskaņošana, lai nodrošinātu efektīvāku klimata pārmaiņu mazināšanas politiku īstenošanu visā Eiropas Savienībā.

CRCF regula ieviesta, lai nodrošinātu vienotu un standartizētu pieeju oglekļa piesaistes pasākumu sertifikācijai, ņemot vērā pieaugošo nepieciešamību pēc pārredzamām un ticamām oglekļa vienību aprēķināšanas un uzskaites metodēm. Prasība kombinēt uz vietas veikto monitoringu ar attālās izpētes rīkiem un modelēšanas iespējām sniedz iespēju apvienot dažādas tehnoloģijas, radot integrētu pieeju datu ieguvei. Šī kombinācija ir īpaši svarīga tādās jomās kā mitrāju atjaunošana, kur precīzi novērtēt ūdens līmeņa izmaiņu un augsnes oglekļa daudzuma korelāciju iespējams tikai, izmantojot gan vietējo datu paraugu ņemšanu, gan satelītu un citu attālās izpētes tehnoloģiju ievāktu informāciju.

Regula pieprasa standartizētu bāzes vērtību noteikšanu, kas ir būtisks solis virzībā uz sertifikācijas sistēmas uzticamību. Bāzes vērtības noteikšana reģionos ar līdzīgiem pedoklimatiskajiem apstākļiem ļauj uzlabot datu konsekvensi un mazināt metodoloģisko kļūdu riskus. Piemēram, reģioni, kuros valda mērenais klimats un dominē līdzīgas augsnes struktūras, var izmantot vienotus aprēķinu algoritmus oglekļa uzkrāšanas potenciāla noteikšanai. Šādi tiek atvieglota sertifikācijas sistēmas īstenošana un paplašināta tās piemērojamība dažādās Eiropas Savienības valstīs, vienlaikus ņemot vērā reģionālās īpatnības.

Ģeogrāfiski referencēts reģistrs, kura izveidi paredz CRCF regula, nodrošina ne tikai pārredzamību, bet arī veicina datu savietojamību starp dažādiem sektoriem un valstu līmeņiem. Šāds reģistrs varētu darboties kā vienots informācijas avots gan publiskajām institūcijām, kas atbild par politikas veidošanu, gan privātajam sektoram, kas vēlas izmantot oglekļa piesaistes pasākumus savās ilgtspējas stratēģijās. Piemēram, mežsaimniecības uzņēmumi varētu izmantot šo reģistru, lai identificētu teritorijas ar lielāko oglekļa piesaistes potenciālu, savukārt lauksaimnieki – lai pieteiktos finansējuma programmām, kas paredz atbildību par ilgtspējīgiem augsnes apsaimniekošanas risinājumiem.

CRCF regula arī iedrošina izmantot attālās izpētes rīkus, lai optimizētu datu ieguves izmaksas un uzlabotu analīzes precizitāti. Piemēram, satelīti var nepārtraukti uzraudzīt augsnes seguma izmaiņas, ļaujot agrīni noteikt neparedzētas tendences, piemēram, oglekļa izdalīšanos no augsnes intensīvas lauksaimniecības darbības rezultātā. Šāda pieeja ir būtiska, lai nodrošinātu ātru reakciju un veicinātu adaptīvo pārvaldību oglekļa piesaistes pasākumos. Turklāt dronu tehnoloģijas sniedz iespēju veikt augstas izšķirtspējas vietējās teritorijas uzmērījumus, kas palīdz identificēt nelielas, bet kritiski svarīgas zonas, piemēram, mikrodegradētas augsnes vai neatbilstoši apsaimniekotas lauksaimniecības platības.

Papildus tam CRCF regulas ietvaros paredzētā datu un metodoloģiju harmonizācija atvieglo dažādu projektu salīdzināšanu un vienlaikus veicina ieguldījumus oglekļa piesaistes aktivitātēs. Investoriem un politikas veidotājiem šī harmonizācija sniedz lielāku pārliecību par iegūto datu uzticamību un oglekļa vienību tirgus stabilitāti. Piemēram, lauksaimniecības un mežsaimniecības projekti, kas spēj apliecināt atbilstību vienotiem standartiem, var vieglāk piesaistīt finansējumu vai piedāvāt savas oglekļa vienības pārdošanai brīvprātīgajā oglekļa tirgū.

Lai arī CRCF regula vēl ir attīstības procesā, tās ietvertās prasības un mērķi veido skaidru pamatu oglekļa piesaistes pasākumu sistēmiskai pieejai. Vienlaikus tā nostiprina ES kā lideri globālajā klimapolitikas jomā, piedāvājot mehānismus, kas balstīti uz zinātniski pamatotiem risinājumiem un mūsdienīgu tehnoloģiju pielietojumu. Šādi tiek radīti ne tikai lokāli ieguvumi, piemēram, ilgtspējīga zemes apsaimniekošana, bet arī globāla ietekme uz klimata pārmaiņu mazināšanu.

ZIZIMM un CRCF regulas savstarpējās saistības oglekļa sertifikācijas kontekstā rada iespēju veidot vienotu un efektīvu sistēmu oglekļa dioksīda piesaistes monitorēšanai un uzskaitēi, izmantojot mūsdienīgus ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (GIS) rīkus. Šādi rīki sniedz unikālu iespēju apvienot valsts līmeņa SEG inventarizācijas pieeju ar oglekļa sertifikācijas metodoloģijām, kas koncentrējas uz konkrētu darbību un to rezultātu dokumentēšanu nelielās platībās. GIS tehnoloģijas ļauj sasaistīt telpisko informāciju ar laika un darbību datiem, padarot iespējamu daudzslāņainu un detalizētu oglekļa piesaistes procesu analīzi.

Viena no galvenajām priekšrocībām, ko GIS piedāvā šī konteksta ietvaros, ir iespēja integrēt datus no dažādiem avotiem, tostarp satelītiem, droniem un uz vietas veiktiem mērījumiem. Piemēram, ZIZIMM sektorā, kur tiek veikta vispārēja SEG inventarizācija valsts līmenī, GIS rīki var apvienot plašā mērogā iegūtos datus ar detalizētiem vietējiem rezultātiem no oglekļa sertifikācijas programmām, tādējādi ļaujot analizēt dažādu politiku un pasākumu mijiedarbību. Šī pieeja ne tikai uzlabo datu precizitāti un salīdzināmību, bet arī veicina koordinētu rīcību, kas nepieciešama klimatneitralitātes mērķu sasniegšanai.

Lai gan ZIZIMM regulējumā uzsvars tiek likts uz emisiju un piesaistes uzskaiti, pamatojoties uz esošo praksi un tās ietekmi, CRCF regulējuma ietvaros būtisks ir papildināmības princips. Tas nozīmē, ka sertifikācijai atbilstoši tiek atzīti tikai tie pasākumi, kas rada papildu oglekļa piesaisti vai samazina SEG emisijas salīdzinājumā ar sākotnējo stāvokli. Šeit GIS rīki var palīdzēt identificēt teritorijas ar vislielāko potenciālu papildu piesaistei, kā arī uzraudzīt, vai ieviestās prakses atbilst papildināmības kritērijiem.

Atšķirīgais precizitātes līmenis, ko prasa ZIZIMM un CRCF regulas, rada izaicinājumus, bet arī iespējas datu integrācijai. ZIZIMM sektora SEG inventarizācijai ir raksturīgs vispārīgāks pieejas līmenis, jo tās mērķis ir nodrošināt pārskatu par emisiju un piesaistes bilanci visas valsts teritorijā. Turpretī CRCF regulējums pieprasa augstāku precizitāti un detaļas par konkrētās vietās īstenotajiem pasākumiem, piemēram, lauksaimniecības platībās ieviestajiem agromežsaimniecības risinājumiem vai mitrāju atjaunošanas projektos. GIS rīku izmantošana ļauj sasniegt nepieciešamo precizitāti, izmantojot telpisko analīzi, kas sniedz iespēju veidot pielāgotus risinājumus katram sektoram un uzdevumam.

Nozīmīgs aspekts, kas saistīts ar abu regulu sasaisti, ir verifikācijas mehānismi. ZIZIMM regulējuma ietvaros galvenā uzmanība tiek pievērsta emisiju un piesaistes datu pārbaudei valsts līmenī, savukārt CRCF regulējuma gadījumā tiek prasīta trešās puses verifikācija, kas nodrošina objektīvu un neatkarīgu datu novērtēšanu. Šāda pieeja veicina uzticību oglekļa sertifikācijas tirgus mehānismiem un nodrošina, ka oglekļa piesaistes vienības atbilst visaugstākajiem kvalitātes standartiem. GIS rīki var sniegt būtisku ieguldījumu šajā procesā, automatizējot noteiktus verifikācijas posmus, piemēram, salīdzinot deklarētās oglekļa piesaistes vērtības ar satelītu novērojumiem.

Vēl viens aspekts, kas nav tieši pieminēts, bet ir cieši saistīts ar abu regulējumu mērķiem, ir ekosistēmu pakalpojumu integrēšana oglekļa piesaistes pasākumos. Lai gan gan ZIZIMM, gan CRCF regulas koncentrējas uz oglekļa piesaisti un SEG emisiju samazināšanu, daudzi šo pasākumu veidi sniedz papildu ekosistēmu pakalpojumus, piemēram, ūdens kvalitātes uzlabošanu, bioloģiskās daudzveidības veicināšanu un augsnes veselības saglabāšanu. GIS rīki ļauj identificēt teritorijas, kurās oglekļa piesaistes pasākumi varētu sniegt maksimālu papildu ieguvumu, un palīdz plānot pasākumus tā, lai tie būtu gan ekonomiski, gan ekoloģiski izdevīgi.

Apkopojot, ZIZIMM un CRCF regulas, lai arī tām ir atšķirīgi mērķi un prasības, veido pamatu integrētai un daudzslāņainai oglekļa piesaistes pārvaldībai. GIS rīku izmantošana piedāvā unikālu iespēju apvienot abu regulējumu stiprās puses, veicinot precīzāku, uzticamāku un koordinētāku pieeju klimata pārmaiņu mazināšanai. Šāda integrācija ļauj ne tikai uzlabot datu kvalitāti, bet arī veidot efektīvākas politikas un pasākumus, kas atbilst gan vietējām, gan Eiropas Savienības līmeņa prasībām.

Lai nodrošinātu oglekļa sertifikācijas sistēmas un ZIZIMM sektora SEG inventarizācijas savstarpējo saderību un efektivitāti, katram sertifikācijas ietvaros iekļautajam pasākumam ir nepieciešams ne tikai rūpīgs metodoloģiskās pieejas un datu novērtējums, bet arī tādu instrumentu un procedūru izveide, kas ļauj precīzi uzskaitīt šo pasākumu ietekmi. Šāda pieeja ir būtiska, lai

nodrošinātu, ka dabā veiktie oglekļa piesaistes pasākumi kļūst redzami un atpazīstami ZIZIMM sektora SEG inventarizācijā, kas ir plašāks valsts līmeņa process. Vienlaikus tas ir nepieciešams, lai precīzi prognozētu emisiju un piesaistes izmaiņas nākotnē.

Oglekļa sertifikācijas ietvaros īpaši nozīmīga ir drošticama alternatīvo scenāriju modelēšana, jo tā ļauj salīdzināt pašreizējo situāciju ar potenciālajiem ieguvumiem no papildu pasākumu īstenošanas. Šāda modelēšana ir svarīga arī no ekonomiskā un politiskā viedokļa, jo tā sniedz pamatu pamatotu lēmumu pieņemšanai, resursu efektīvai sadalei un ilgtspējīgu risinājumu veicināšanai. Piemēram, agromežsaimniecības pasākumu ietekmes modelēšana var palīdzēt novērtēt, cik lielā mērā šāda prakse palielina oglekļa piesaisti augsnē un vienlaikus uzlabo lauksaimniecības ražību.

Lai dabā veiktie pasākumi būtu pilnvērtīgi atspoguļoti SEG inventarizācijā, nepieciešams ieviest stingras kvalitātes kontroles un verifikācijas procedūras. Tas ietver ne tikai datu ieguves metodoloģiju standartizāciju, bet arī datu pārbaudes mehānismus. Piemēram, attālās izpētes rīki, piemēram, satelītu dati, var kalpot kā neatkarīgs datu avots, kas apstiprina uz vietas veikto mērījumu rezultātus. Šāda pieeja uzlabo datu ticamību un veicina to integrāciju SEG inventarizācijā.

Vēl viens būtisks aspekts ir datu laika dimensijas iekļaušana gan oglekļa sertifikācijas, gan SEG inventarizācijas procesos. Pasākumi, kas uzlabo oglekļa piesaisti, bieži sniedz ievērojamus rezultātus tikai ilgtermiņā, piemēram, mežu stādīšana vai mitrāju atjaunošana. Tāpēc ir svarīgi izstrādāt metodoloģijas, kas spēj precīzi novērtēt šo pasākumu ietekmi ne tikai to īstenošanas brīdī, bet arī turpmākajos gados. Tas prasa detalizētu datu uzkrāšanu un ilgstošu monitoringu, kas var tikt veikts ar progresīvām tehnoloģijām, piemēram, mākslīgo intelektu vai automatizētām modelēšanas sistēmām.

Papildus nepieciešams attīstīt mehānismus, kas nodrošina labāku saskaņošanu starp oglekļa sertifikācijas pasākumiem un ZIZIMM sektora politikas mērķiem. Lai arī šie procesi tiek īstenoti ar kopīgu mērķi – veicināt SEG emisiju samazinājumu un oglekļa piesaistes palielināšanu, tiem ir atšķirīgi fokusi. Oglekļa sertifikācija koncentrējas uz papildu ietekmes novērtēšanu konkrētās aktivitātēs, savukārt ZIZIMM inventarizācija aptver visu sektoru. Šeit svarīga loma ir integrētai datu sistēmai, kas nodrošina, ka sertifikācijas pasākumu radītie rezultāti tiek automātiski uzņemti un ņemti vērā SEG inventarizācijas pārskatos.

Kopumā veiksmīga oglekļa sertifikācijas sistēmas un ZIZIMM inventarizācijas mijiedarbība prasa ne tikai tehnoloģisko un metodoloģisko rīku pielāgošanu, bet arī efektīvu politisko un institucionālo sadarbību. Šāda pieeja ļauj ne tikai uzlabot datu kvalitāti un uzticamību, bet arī veicina koordinētu rīcību klimata

pārmaiņu mazināšanā. Tas ir izšķiroši, lai sasniegtu Eiropas Savienības klimatneitralitātes mērķus, vienlaikus nodrošinot ekonomiskos un vides ieguvumus gan vietējā, gan globālā mērogā.

Atbilstoši pieejamajai informācijai, Latvijas ZIZIMM sektora SEG inventarizācijas uzlabošana, tostarp pāreja uz Tier 3 līmeņa metodoloģijām, ir viens no būtiskākajiem soļiem, lai nodrošinātu precīzāku emisiju un piesaistes uzskaiti. Šādas metodoloģijas piedāvā iespēju izmantot dinamiskus modeļus un detalizētus datus, lai precīzi prognozētu emisijas un oglekļa piesaisti konkrētās zemes kategorijās. Tier 3 pieeja ir balstīta uz reģionālajiem un vietējiem apstākļiem, nodrošinot augstāku pielāgošanās spēju un iespēju ņemt vērā specifiskus faktorus, kas ietekmē emisiju bilanci, piemēram, augsnes tipu, klimatu un zemes apsaimniekošanas prakses.

Viens no galvenajiem ieguvumiem, ko sniedz Tier 3 metodoloģiju ieviešana, ir iespēja sinerģiski izmantot šos risinājumus gan nacionālajā SEG inventarizācijā, gan oglekļa sertifikācijas sistēmās. Piemēram, validētas modelēšanas pieejas, kas apstiprinātas ārējos auditos nacionālās SEG inventarizācijas kontekstā, var kļūt par pamatu oglekļa sertifikācijas shēmām, nodrošinot standartizētus un uzticamus aprēķinus, kas piemērojami brīvprātīgajās oglekļa tirgus iniciatīvās. Šāda datu un metodoloģiju pārnese ievērojami paātrinātu oglekļa sertifikācijas sistēmas ieviešanu, vienlaikus samazinot administratīvās izmaksas.

Lai noteiktu prioritātes Tier 3 metodoloģiju izstrādē, ir būtiski identificēt tās zemes kategorijas un emisiju veidus, kuriem ir vislielākā ietekme uz SEG bilanci. Piemēram, kūdrāji un mitrāji, kas ir nozīmīgi oglekļa uzkrājēji, varētu kļūt par vienu no galvenajām prioritātēm, ņemot vērā to jutīgumu pret izmaiņām apsaimniekošanas praksēs. Tāpat būtiski būtu pievērst uzmanību lauksaimniecības zemēm, jo pareizi pārvaldīta agromežsaimniecība un ilgtspējīga kultūraugu audzēšana var ievērojami palielināt oglekļa piesaisti un samazināt emisijas.

Gaidāmā CRCF regulas deleģēto aktu pieņemšana 2025. gadā sniegs būtisku informāciju par konkrētām oglekļa sertifikācijas praksēm, kas palīdzēs precīzi noteikt, kuras ZIZIMM sektora SEG inventarizācijas jomas būtu jāattīsta prioritāri. Piemēram, ja deleģētajos aktos tiks izvirzītas prasības sertifikācijai attiecībā uz mitrāju atjaunošanu vai degradētu platību apmežošanu, tas skaidri norādīs uz nepieciešamību attīstīt modelēšanas pieejas šīm zemes kategorijām. Šāda saskaņotība starp ZIZIMM un CRCF regulām veicinās to savstarpējo papildināmību, ļaujot izvairīties no datu dublēšanās un optimizēt monitoringa resursus.

Papildus metodoloģiju izstrādei svarīgs uzdevums būs atbilstošu datu infrastruktūras attīstīšana, kas nodrošinās regulāru datu ieguvu un apstrādi. Tas

ietver attālās izpētes rīku integrēšanu ar uz vietas veiktiem mērījumiem, kā arī ģeogrāfiski referencētu datubāzu uzturēšanu, kas ļaus efektīvi sekot līdzi izmaiņām laika gaitā. Piemēram, satelītu dati varētu tikt izmantoti, lai nepārtraukti uzraudzītu platības ar augstu oglekļa saturu un noteiktu, vai pasākumi šajās teritorijās atbilst prognozētajai ietekmei.

Ir arī būtiski nodrošināt, lai Tier 3 metodoloģijas spētu pielāgoties klimata un zemes izmantošanas izmaiņām. Dinamiskie modeļi, kas spēj ņemt vērā mainīgos apstākļus, piemēram, ekstremālu laika apstākļu ietekmi vai jaunu lauksaimniecības tehnoloģiju ieviešanu, būs neaizvietojami efektīvas klimata politikas īstenošanai. Šāda elastība ļaus ne tikai uzlabot emisiju un piesaistes prognozes, bet arī izstrādāt labāk mērķētus un adaptīvus pasākumus.

Apkopojot, Tier 3 metodoloģiju izstrāde ir būtisks solis gan Latvijas ZIZIMM sektora SEG inventarizācijas uzlabošanā, gan oglekļa sertifikācijas sistēmu attīstībā. Šīs pieejas spēja savienot nacionālās un brīvprātīgās sistēmas, balstoties uz zinātniski pamatotiem datiem un standartizētām metodēm, sniegs iespēju efektīvāk īstenot klimata politikas mērķus un veicināt ilgtspējīgu zemes apsaimniekošanu.

Brīvprātīgo oglekļa kredītu sistēmu ieviešana ZIZIMM sektorā sniedz iespēju stimulēt oglekļa piesaistes pasākumus, piemēram, meža atjaunošanu, agromežsaimniecību un mitrāju atjaunošanu. Taču efektīvas un uzticamas sistēmas izveide prasa precīzu datu telpisko uzskaiti, lai nodrošinātu pasākumu pārredzamību un integrāciju gan nacionālajās SEG inventarizācijās, gan brīvprātīgo tirgus mehānismos.

Telpiskā uzskaitē ZIZIMM sektorā balstās uz tehnoloģijām un metodēm, kas ļauj dokumentēt oglekļa piesaistes un emisiju procesus precīzi un pārredzami. Ieteiktās pieejas ietver:

1. **Attālās izpētes tehnoloģijas:** Satelītu un dronu dati tiek izmantoti, lai kartētu zemes izmantošanu un pārraudzītu izmaiņas, piemēram, meža seguma pieaugumu vai degradācijas samazināšanu. Piemēram, Sentinel-2 un Landsat satelīti nodrošina augstas izšķirtspējas attēlus, kas nepieciešami mitrāju un mežu monitorēšanai.
2. **Ģeogrāfiski referencēta datu pārvaldība:** GIS rīki ļauj sasaistīt emisiju un piesaistes mērījumus ar konkrētām vietām, sniedzot iespēju detalizēti analizēt dažādu apsaimniekošanas metožu ietekmi.
3. **Uz vietas veikti mērījumi:** Vietējie dati, piemēram, augsnes oglekļa paraugi un mežaudžu biomasa, tiek izmantoti, lai validētu attālās izpētes rezultātus un nodrošinātu modeļu precizitāti.

Lai brīvprātīgo oglekļa kredītu sistēmas ZIZIMM sektorā būtu uzticamas, nepieciešama augsta precizitāte datu iegūšanā un analīzē:

- **Telpiskā izšķirtspēja:** Meža un zemes izmantošanas monitorēšanai nepieciešami dati ar vismaz 10–30 metru izšķirtspēju, kas ļauj identificēt izmaiņas mazos mērogos.
- **Laika regularitāte:** Novērojumi jāveic vismaz reizi gadā, lai dokumentētu sezonālas izmaiņas un pasākumu ietekmi ilgtermiņā.
- **Datu validācija:** Telpiskie dati jāpārbauda ar uz vietas iegūtiem mērījumiem, piemēram, augsnes analīzi vai koku biometriskajiem mērījumiem.

Brīvprātīgo sistēmu ieviešanā ZIZIMM sektorā pastāv vairāki riski:

1. **Datu precizitātes problēmas:** Mākoņainība un zema izšķirtspēja var ierobežot attālās izpētes tehnoloģiju efektivitāti.
2. **Reģionālās atšķirības:** Dažādi augsnes tipi, klimats un apsaimniekošanas prakses apgrūtina standartizētu pieeju piemērošanu visā ES teritorijā.
3. **Pārklāšanās ar nacionālajām inventarizācijām:** Nepilnīga datu integrācija var radīt pretrunas starp brīvprātīgās sistēmas un SEG inventarizācijas rezultātiem.

Pastāv arī sistēmiskas problēmas, kas ierobežo datu telpiskās uzskaites efektivitāti:

- **Finanšu resursu trūkums:** Dažās dalībvalstīs pietrūkst līdzekļu, lai pilnībā izmantotu attālās izpētes tehnoloģijas un uzturētu ģeogrāfiski referencētus reģistrus.
- **Datu harmonizācijas trūkums:** Dalībvalstīm bieži vien trūkst vienotu vadlīniju un standartu datu vākšanai un analīzei.

Lai uzlabotu brīvprātīgo oglekļa kredītu sistēmu ZIZIMM sektorā, nepieciešami šādi pasākumi:

1. **Tehnoloģiju attīstība:** Mākslīgā intelekta un mašīnmācīšanās risinājumu izmantošana, lai analizētu lielus datu apjomus un prognozētu oglekļa piesaistes potenciālu.
2. **Vienota metodoloģija:** Izveidot ES līmeņa vadlīnijas, kas standartizē datu vākšanu, analīzi un uzskaiti.
3. **Datu pārvaldības infrastruktūra:** Nodrošināt ģeogrāfiski referencētu datubāzu izveidi, kas ļauj apkopot un pārvaldīt datus par oglekļa piesaistes pasākumiem.

4. **Ilgtermiņa monitoringa sistēmas:** Izveidot pastāvīgas datu ieguves un analīzes sistēmas, kas spēj novērtēt pasākumu ietekmi ilgākā laika posmā.

Kopumā datu telpiskā uzskaitē ZIZIMM sektorā ir kritiska brīvprātīgo oglekļa kredītu sistēmu efektivitātei. Nodrošinot augstas kvalitātes telpiskos datus un integrējot tos nacionālajās un Eiropas līmeņa sistēmās, iespējams veidot uzticamas un ilgtspējīgas klimata pārmaiņu mazināšanas stratēģijas.

ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums nedod skaidras norādes par to, kā vērtējama atbilstība QU.A.L.ITY kritērijiem. Nepieciešams arī turpmāk sekot regulas priekšlikuma attīstībai un konkrētu darbību sertifikācijas metodoloģiju izstrādei, pēc iespējas aktīvi iesaistoties šajā procesā, kas var dot skaidrāku priekšstatu par to, kādas metodes un atskaides vērtības izmantojamas novērtējuma veikšanai. Šobrīd veiktais novērtējums uzskatāms par sākotnēju.

Quantification kritērija (noteikumi neto oglekļa piesaistes ieguvumu kvantificēšanai salīdzinājumā ar bāzes vērtību) izpildes iespēju novērtējumā (Tab. 23) ņemts vērā tas, kādas ir oglekļa piesaistes darbību ietekmes aprēķināšanas iespējas, līdzšinējie pētījumi, datu pieejamība.

Tab. 23. *Quantification* kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>Quantification</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
Agromežsaimniecība	Palielināts oglekļa uzkrājums augsnē pateicoties papildus organiskās vielas ienesēi ar nobīrām, sakņu biomasu, kopšanas atliekām papildus biomasu (Cardinael, Chevallier, u.c., 2017; Cardinael, Guenet, u.c., 2017). Vidējais nesen ierīkotu (aptuveni 14 gadus pēc ierīkošanas) agromežsaimniecības sistēmu piesaistītā oglekļa apjoms variē ap 7,2 t C ha ⁻¹ gadā ⁻¹ (no tā biomasā – 70%, bet augsnē – 30%) (Kim u.c., 2016). Ir pieejami nacionāli veiktu in situ mērījumu dati, kas varētu būt izmantojami bāzes vērtības noteikšanā. Ir pieejama skaidra un salīdzinoši vienkārši izmantojama metodoloģija oglekļa uzkrājuma noteikšanai, kā arī ir nacionālas iestrādes augsnes oglekļa uzkrājuma modeļēšanai.
Paludikultūra	Oglekļa uzkrājums dzīvajā biomasā, nedzīvajā koksni, augsni un meža zemsegā (Priede & Gancone, 2019), tomēr trūkst datu visaptverošam klimata pārmaiņu ietekmes novērtējumam (Kögel-Knabner u.c., 2022) kā arī pastāv sociāli ekonomiskas ieviešanas barjeras saistībā ar zināšanu trūkumu, ierīkošanas izmaksām, nepieciešamību kompensēt neiegūtos ieņēmumus, mainot apsaimniekošanas veidu (Rhymes u.c., 2023). Augsnes oglekļa krājumu saglabāšanu anaerobos apstākļos un papildus oglekļa piesaisti kultūraugu biomasā (Wichtmann u.c., 2016). Pētījumi liecina par kūdras akumulāciju melnalkšņu audzēs, tostarp salīdzinoši sausās platībās ar gruntsūdens līmeni 0-20 cm (Schäfer & Joosten, 2005). Joprojām trūkst SEG emisiju plūsmu datu (Edenhofer, 2014; Hiraishi u.c., 2013). Ir pieejami nacionāli veiktu in situ mērījumu dati, kas varētu būt izmantojami bāzes vērtības noteikšanā. Ir pieejama skaidra un salīdzinoši vienkārši izmantojama metodoloģija oglekļa uzkrājuma noteikšanai, kā arī ir nacionālas iestrādes augsnes oglekļa uzkrājuma modeļēšanai.

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>Quantification</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
Apmežošana	Oglekļa uzkrājuma palielināšanās dzīvajā un nedzīvajā biomasā, nobīrās, augsnē, kā arī ilgtermiņa uzkrājums koksnes produktos (Bastin u.c., 2019). Dati liecina par 40 līdz 100 Gt oglekļa piesaisti no atmosfēras - meža platībām sasniedzot pieaugušu audžu vecumu (Lewis u.c., 2019; Veldman u.c., 2019). Ir pētījumi, kas atzīmē, ka trūkst datu par kūdras augsnes apmežošanas ietekmi (Sloan et al., 2018) un dati par SEG emisiju plūsmu nav viennozīmīgi (Reynolds, 2007), kā arī uzsver to, ka apmežošanas klimata pārmaiņu samazināšanas ietekme jāvērtē saistībā ar to, kāds ir sākotnējais zemes izmantošanas veids, augsnes oglekļa uzkrājums, augsnes veids, hidroloģiskais režīms un citi apstākļi konkrētajā gadījumā (Hong u.c., 2020; Laganière u.c., 2010; E. I. Vanguelova u.c., 2019). Ir pieejami nacionāli veiktu <i>in situ</i> mērījumu dati, kas varētu būt izmantojami bāzes vērtības noteikšanā. Ir pieejama skaidra un salīdzinoši vienkārši izmantojama metodoloģija oglekļa uzkrājuma noteikšanai, kā arī ir nacionālas iestrādes augsnes oglekļa uzkrājuma modelēšanai.

Additionality kritērija (piesaistes aktivitātēm jābūt papildus ES un nacionālajām prasībām, piesaiste rodas sertifikācijas stimulējošās ietekmes dēļ/virs “business as usual” līmeņa) izpildes iespēju novērtējumā (Tab. 24) ņemts vērā tas, vai darbība notiktu arī bez papildus stimula, un tas, vai darbība jau nav noteikta kā obligāti īstenojama, atbilstoši nacionālajam normatīvajam regulējumam.

Tab. 24. Additionality kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>Additionality</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
Agromežsaimniecība	Pastāv maza iespējamība, ka darbība tiktu realizēta bez ārēja stimula, kā arī tās realizācijas nepieciešamība Latvijā nav normatīvi noteikta.
Paludikultūra	Pastāv maza iespējamība, ka darbība tiktu realizēta bez ārēja stimula, kā arī tās realizācijas nepieciešamība Latvijā nav normatīvi noteikta.
Apmežošana	Pastāv maza iespējamība, ka darbība tiktu realizēta bez ārēja stimula, kā arī tās realizācijas nepieciešamība Latvijā nav normatīvi noteikta. Tomēr jāņem vērā paralēla atbalsta finansējuma eksistence un tajā noteiktais – Kopējās lauksaimniecības politikas 2023 – 2027. gadam Latvijas Stratēģiskais plāns.

Long-term storage kritērija (piesaistes aktivitāte nodrošina oglekļa ilgtermiņa uzglabāšanu, jānodrošina nepārtraukts uzkrātā oglekļa monitorings) izpildes iespēju novērtējumā (Tab. 25) ņemts vērā potenciāls dabisko traucējumu un apsaimniekošanas veida maiņas risks. ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums paredz to, ka gadījumā, kad tiek pārtraukts darbības monitorings, visa reģistrētā oglekļa piesaiste uzskatāma par atgriezušos atmosfērā (Art.6(3)), kas nozīmē to, ka nepārtraukts monitorings uzskatāms par vienu no būtiskākajiem *Long-term storage* kritērija atbilstības nodrošināšanas mehānismiem.

Tab. 25. Long-term storage kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais Long-term storage kritērija izpildes iespēju novērtējums
Agromežsaimniecība	Piesaistītā oglekļa noturību (permanence) ir iespējams nodrošināt, darbības sertifikācijas metodoloģijā nosakot konkrētu sistēmas uzturēšanas laika periodu, kā arī turpinot regulāru <i>in-situ</i> monitoringu.
Paludikultūra	Piesaistītā oglekļa noturību (permanence) ir iespējams nodrošināt, darbības sertifikācijas metodoloģijā nosakot konkrētu sistēmas uzturēšanas laika periodu, kā arī turpinot regulāru <i>in-situ</i> monitoringu.
Apmežošana	Ir pētījumi, kas izsaka bažas par apmežoto platību ilgnoturības (permanence) risku (Doelman u.c., 2020). Darbību ieviešot, nepieciešami konkrēti nosacījumi šī riska novēršanai.

Sustainability kritērija (oglekļa piesaistes darbībām jābūt ar neitrālu vai pozitīvu ietekmi uz ilgtspējas mērķu sasniegšanu un blakus ieguvumu (vides) nodrošināšanu) izpildes iespēju novērtējumā (Tab. 26) ņemts vērā tas, kāda pozitīvas un negatīvas blakus ietekmes darbības ieviešana var radīt. Ņemot vērā to, ka ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums uzsver oglekļa piesaisti, SEG samazinājumu pieminot kā blakus ieguvumu, tas šādā griezumā iekļauts arī Sustainability kritērija novērtējumā.

Tab. 26. Sustainability kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais sustainability kritērija izpildes iespēju novērtējums
Agromežsaimniecība	Kokaugu integrēšana lauksaimniecības sistēmās var būtiski uzlabot aizsardzību pret vēja bojājumiem (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Tiešo N ₂ O un CH ₄ emisiju samazināšanās līdz pat divām reizēm (Kwak u.c., 2019). Potenciāls netiešo N ₂ O emisiju samazinājums, samazinoties barības vielu notecei un potenciāls SEG emisiju samazinājums, samazinoties aramzemes platībai un attiecīgi – minerālmēsliu izlietojumam (Kim u.c., 2016). Kā negatīvs blakus efekts var tikt noteikta potenciāla SEG emisiju pārnese (leakage), pieņemot, ka lauksaimnieciskās ražošanas apjoms nesamazinās.
Paludikultūra	Samazināti meža dabisko traucējumu riski, samazinātas SEG emisijas no augsnes pateicoties uzlabotam ūdens režīmam, stādot uz pacilām, kas palīdz novadīt liekos virsūdeņus (Priede & Gancone, 2019). Melnalksnis un baltalksnis, pateicoties sakņu sistēmas simbiozei ar specifiskām baktērijām (<i>Frankia bacteria</i>), spēj piesaistīt atmosfēras slāpekli līdz 100 kg N ha ⁻¹ gadā ⁻¹ (Binkley, 1983; Rytter, 1995).
Apmežošana	SEG emisiju samazinājums no augsnes organiskās augsnes gadījumā - ņemot vērā zemes lietošanas veida maiņu no lauksaimniecības uz meža zemi (Lazdins u.c., 2021; Priede & Gancone, 2019). Ir pētījumu dati, kas liecina, ka apmežojot lauksaimniecības organisko augsni, samazinās augsnes heterotrofās CO ₂ emisijas, bet nemainās N ₂ O un CH ₄ emisijas (Maljanen u.c., 2001, 2012), turklāt augsnes SEG emisijas var saglabāties salīdzinoši lielas vēl vairākus gadu desmitus pēc apmežošanas (Regina u.c., 2016), tomēr tās (augšnes emisijas) var segt papildus oglekļa uzkrājums biomasā un augsnē (E. Vanguelova u.c., 2018; E. I. Vanguelova u.c., 2019). Pastāv viedoklis, ka organiskās augsnes apmežošana ieteicama, ja kūdras slāņa dziļums nepārsniedz 40-50 cm (IUCN, 2020).

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>sustainability</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
	Pētījumi, kā potenciāli negatīvu blakus efektu min lauksaimniecības zemes platības samazināšanos un potenciālu pārtikas cenu pieaugumu (Doelman u.c., 2020). Ir pētījumi, kas apšauba klimata pārmaiņu samazināšanas efektu saistībā ar albedo (virsmas, tostarp meža, uztvertās un atmosfērā atpakaļ atstarotās elektromagnētiskā starojuma plūsmas proporcija. Tumšām virsmām, piemēram, skuju koku mežaudzei ir augstāka absorbcijas pakāpe) izmaiņām (Naudts u.c., 2016). Kā negatīvs blakus efekts var tikt noteikta potenciāla SEG emisiju pārnese (leakage), pieņemot, ka lauksaimnieciskās ražošanas apjoms nesamazinās.

Pētījumi (Calvin u.c., 2023) liecina, ka neskatoties uz nereti konfliktējošām zemes izmantošanas interesēm un sarežģītību, ZIZIMM sektorā būtisks oglekļa piesaistes potenciāls meklējams, ieviešot darbības, kas saistītas ar zemes lietošanas veida maiņu (apmežošana, atmežošanas novēršana, fosilo resursu aizstāšana).

Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂, N₂O un CH₄ emisijas no aluviālajām augsnēm

Pētījuma ietvaros turpināta empīriskus datu ieguve augsnes heterotrofās elpošanas radīto CO₂ emisiju no aluviālajām augsnēm raksturošanai ganībās vai aramzemes. Mērījumi aramzemēs uzsākti 2023. gadā, bet mērījumi zālajos turpināti platībās, kur tie uzsākti 2022. gadā. Pētījumus veicām 5 platībās, kas raksturo dažādas aluviālās augsnes – no aluviālajām normāli mitrajām augsnēm līdz aluviālajām purva augsnēm, tajā skaitā 3 laukos zālajos un 2 laukos aramzemēs. Pētījumā noteiktas augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas, kā arī CH₄ un N₂O emisijas no augsnes, augsnes temperatūra, mitruma saturs augsnes virskārtā, virszemes un pazemes biomasa un biomasas ieguve siena vai zaļbarības sagatavošanai. Augsnes heterotrofās elpošanas parauglaukumos vienu mēnesi pirms mērījumu uzsākšanas novākta visu veģetācija. Gāzu apmaiņa mērīta veģetācijas sezonas laikā, 9 mēnešu ilgumā. Mērījumi veikti 9 pastāvīgos heterotrofās elpošanas laukumos katrā izmēģinājumu platībā, bet paraugi CH₄ un N₂O satura analizēm ievākti no 6 kamerām katrā platībā. Mērījumu metodika harmonizēta ar LIFE OrgBalt projektā izmantojamo metodiku gāzu apmaiņas raksturošanai. Darba uzdevumu īstenoja AREI Stendes pētniecības centrs sadarbībā ar LVMI Silava. Pārskata autori Inga Jansone, Sanita Zute, Andis Lazdiņš. Pētījuma rezultāti apkopoti rakstā “Greenhouse gas emissions from alluvial soils in hemiboreal agricultural lands in Latvia”, kas iesniegts publicēšanai žurnālā Land (Q2).

Ievads

Alūvijs, aluviālo augšņu pamatmateriāls, ir nesaistīti nogulumi, ko nogulsņējušas upes, strauti un citas upju sistēmas (Boettinger, 2005; Thorp, 1968). Kopumā aluviālajām augsnēm ir liela nozīme daudzās ekosistēmās un lauksaimniecības ainavās to mitruma stāvokļa un augstās potenciālās produktivitātes dēļ. Tām ir būtiska nozīme arī daudzu upju ielejās esošo aizsargājamo dabisko un daļēji dabisko ekosistēmu funkcionēšanā (Kabaļa, 2022; Šeffler u.c., 2008). Piemēram, aluviālās pļavas gar Eiropas upēm, kurām raksturīgs dabisks applūšanas režīms, ir biotopu tips, kas iekļauts Eiropas Savienības (ES) Biotopu direktīvā (Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora, 1992). Turklāt nesen (2024. gada jūnijā) pieņemta ES Regula 2024/1991, kas pazīstama kā Dabas

atjaunošanas likums (Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on Nature Restoration and Amending Regulation (EU) 2022/869 (Text with EEA Relevance), 2024), papildus pievēršas upju dabiskās savienojamības un ar to saistīto palieņu dabisko funkciju atjaunošanai. Tādējādi palieņu ar aluviālajām augsnēm ilgtspējīgai apsaimniekošanai būtu jātiecas saskaņot gan dabas aizsardzības un atjaunošanas, gan zemes īpašnieku un apsaimniekotāju intereses (Donath u.c., 2015).

Aluviālās augsnes var atšķirties pēc sastāva un tekstūras, sākot no mālainiem un bagātīgām, smilšmālainām augsnēm līdz sanesuma smiltīm, kā arī var saturēt lielu daudzumu organisko vielu un tādējādi pat atbilst Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (IPCC) (Eggleston u.c., 2006; Hiraishi u.c., 2013) noteiktajai organiskās augsnes definīcijai, tostarp Histosols augsnes tipam (Food and Agriculture Organization, 2014). Aluviālās augsnes ir vienas no pasaulē visnoderīgākajām un produktīvākajām augsnēm (Boettinger, 2005). Tajā pašā laikā aluviālās augsnes var būt primāro siltumnīcefekta gāzu (SEG), tostarp oglekļa dioksīda (CO₂), slāpekļa oksīda (N₂O) un metāna (CH₄), emisiju avots (Oertel u.c., 2016). Papildus klimatiskajiem faktoriem un lauksaimnieciskajai darbībai, kas ietekmē gan veģetācijas augšanu, gan augsnes vidi un attiecīgi SEG apmaiņas apjomu (Basheer u.c., 2024; Chataut u.c., 2023), aluviālās augsnes upju palienēs ietekmē periodiska vai periodiska ūdens uzkrāšanās (Lin u.c., 2022). Tas bioģeokīmiskās darbības un SEG apmaiņas dinamiku padara vēl sarežģītāku (Jansson & Hofmockel, 2020). Turklāt vairākos klimata pārmaiņu scenārijos ir prognozēts, ka spēcīgi nokrišņi var izraisīt ilgstošus plūdu periodus un pārmaiņus mitrus un sausus apstākļus lauksaimniecības augsnēs (Guo u.c., 2023; Tabari, 2020). Iepriekšējos pētījumos uzsvērts, ka nogulumī, kuros ir sausāki apstākļi, ir aktīvas SEG emisiju zonas, un lielākas SEG emisijas pārejas posmos starp sausumu un mitrumu ir novērotas jau iepriekš, parādot ūdens līmeņa svārstību efektu (Machado Dos Santos Pinto u.c., 2020). Šīs augsnes mitruma izmaiņas, ko izraisa ilgstoši plūdi un pārmaiņus plūdu un sausuma apstākļi, var vēl vairāk ietekmēt SEG plūsmu lielumu, potenciāli atšķirīgi ietekmējot aramzemes un zālājus (Guo u.c., 2023).

Aluviālajām augsnēm, kas veidojušās palienēs, ir vairākas kopīgas iezīmes ar organiskajām (kūdras) augsnēm, kas veidojušās mitrājos (kūdrājos). Abas augsnes var būt auglīgas un bagātas ar barības vielām, lai gan to avoti atšķiras. Aluviālās augsnes iegūst barības vielas no minerāldaļiņām un organiskām vielām, ko pārnēs ūdens (Poff & Zimmerman, 2010), savukārt kūdras augsnes iegūst barības vielas no sadalījušās organiskās vielas (Lindsay, 2010). Aluviālās augsnes bieži satur ūdens atnesto organisko un minerālo materiālu maisījumu, savukārt kūdras augsnēs ir daudz organisko vielu, tomēr kūdras slānis lauksaimnieciski izmantojamās teritorijās ilgstošas lauksaimnieciskās darbības

rezultātā var sajaukties ar zem tā esošo minerālo augsnes slāni (Ļabaz & Kabala, 2016). Abi augsnes veidi veidojas dabisku procesu rezultātā, kuros iesaistīts ūdens. Aluviālās augsnes nogulsņējas upēs un strautos (Rydin & Jeglum, 2013), savukārt kūdras augsnes veidojas pārmitros apstākļos, kur augu materiāls lēni sadalās (Rydin & Jeglum, 2013). Abiem augsnes tipiem ir labas ūdens aizturēšanas spējas. Aluviālās augsnes var aizturēt mitrumu, pateicoties to dažādaļīgu daļiņu izmēram un sastāvam (Hillel, 2003), bet kūdras augsnes ir ļoti absorbējošas, jo tajās ir augsts organisko vielu saturs (Mitsch & Gosselink, 2015). Abos augsnes tipos ir daudzveidīgas ekosistēmas, biotopi un unikālu augu un dzīvnieku sugu daudzveidība (Naiman & Décamps, 1997; Zerbe, 2023). Abus augsnes tipus izmanto arī lauksaimniecībā, taču tiem ir nepieciešama atšķirīga apsaimniekošanas prakse. Kūdras augsnēm nepieciešama rūpīga ūdens apsaimniekošana, lai novērstu to izžūšanu un sadalīšanos, savukārt aluviālajām augsnēm nepieciešama aizsardzība pret eroziju un barības vielu zudumiem (Brady & Weil, 2014).

Kopumā nosusinātās organiskās augsnes, ko izmanto lauksaimniecībā, ir nozīmīgs SEG emisiju avots daudzās valstīs, tostarp Latvijā (Petaja u.c., 2018). Nosusinātās organiskās augsnes veido nelielu daļu no kopējās lauksaimniecībā izmantojamo zemju platības Latvijā (5,77 % aramzemē un 8,32 % zālajos 2021. gadā saskaņā ar Latvijas nacionālo SEG inventarizācijas ziņojumu, tomēr šīs augsnes ir atbildīgas par lielāko daļu no kopējām SEG emisijām, kas uzrādītas aramzemju un zālāju kategorijās zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (LULUCF) sektorā (Ministry of Climate and Energy, 2023). SEG emisiju samazināšana no nosusinātām organiskajām augsnēm ir kļuvusi par vienu no galvenajiem jautājumiem gan ar klimatu saistītās zinātnes aprindās, gan politikas veidotājos. Mitrāju atjaunošana, tostarp pārmitrināšana, kas ir process, kurā nosusinātās kūdras augsnes pārveido par mitru kūdras augsni (Regula (ES) 2024/1991), tiek uzskatīta par dabā balstītu risinājumu, kas var būtiski samazināt SEG emisijas no nosusinātām organiskām augsnēm (Mander u.c., 2023). Tomēr šī stratēģija var būt pretrunā ar sociālekonomiskajām vajadzībām saglabāt produktīvu zemes izmantošanu un aizsargāt nodrošinātību ar pārtiku, kā arī saskarties ar vairākām problēmām. Tāpēc ar organisko vielu bagāto lauksaimniecībā izmantojamo augšņu apsaimniekošanas stratēģijām ir jāpanāk līdzsvars starp SEG emisiju samazināšanu un zemes izmantošanas produktivitāti (Freeman u.c., 2022). Lai gan aluviālās augsnes var uzkrāt lielu organiskā oglekļa daudzumu un potenciāli var darboties arī kā SEG emisiju avots, apsaimniekoto aluviālo augšņu, kuras periodiski applūst, ieguldījums Latvijas SEG emisiju profilā LULUCF sektorā joprojām nav skaidrs. Uzlabojot zināšanas par SEG apmaiņu no aluviālajām augsnēm, var veicināt efektīvāku šo augšņu apsaimniekošanu, nodrošinot ilgtspējīgu lauksaimniecības praksi, vides

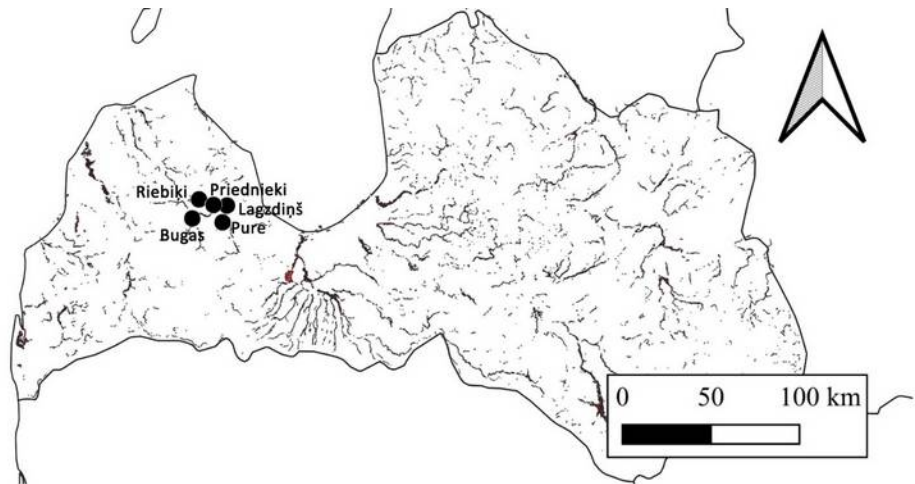
aizsardzību un klimata pārmaiņu mazināšanu, ņemot vērā klimata ekstrēmos apstākļus un to ietekmi uz tīro nulles SEG emisiju ambīcijām (Guo u.c., 2023).

Šis pētījums ir vērsts uz apsaimniekotām sezonālām upju palienēm ar aluviālajām augsnēm, kas tiek izmantotas kā pļavas un aramzeme Abavas upes ielejā. Pētījuma mērķis ir i) aprakstīt augsnes fizikāli ķīmiskos mainīgos lielumus, ii) novērtēt SEG (CO₂, CH₄, N₂O) plūsmu lieluma izmaiņas un novērtēt ikgadējās SEG emisijas un iii) noteikt šo plūsmu virzītājspēkus.

Materiāli un metodes

Pētījuma vietas

Pētījums tika veikts 2022.-2024. gadā Abavas upes ielejā hemiboreālā Latvijas daļā (mērenā klimata reģiona ziemeļu daļā (Eggleston u.c., 2006), un tajā tika pētītas palieņu aramzemes (divas vietas) un pļavas (trīs vietas, Att. 18) ar aluviālajām augsnēm (*Fluvisols*). Vispārīgs pētījuma vietu raksturojums sniegts Tab. 27, laika apstākļu (gada nokrišņu un gaisa temperatūras) raksturojums Latvijā un pētāmajā teritorijā apkopots Tab. 28.



Att. 18. Pētījuma vietu atrašanās vietas Abavas upes ielejā.

Tab. 27. Pētījuma vietu (palieņu pļavas un pļavas Abavas upes ielejā) vispārīgs apraksts

Zemes izmantošanas veids	Pētījuma vieta, koordinātas (LKS-92)	Veģetācijas veids/ kultivētās lauksaimniecības kultūras	Vispārīgs apraksts
Zālāji	Pūre X: 57.03858, Y: 22.89830	Zāle maisījums	Zālāji, ko izmanto ganišanai un zāles novākšanai (siena un skābbarības ražošanai). 2023. gadā lauks tika izmantots ganībām. Augsnes īpašības liecina, ka lauks ir uzarts pirms 5-10 gadiem. Platībās tuvāk upes krastam, kur vairāk uzkrājas palieņu sanesumi, veģetācijā dominē nātres

Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂, N₂O un CH₄ emisijas no aluviālajām augsnēm

Zemes izmantošanas veids	Pētījuma vieta, koordinātas (LKS-92)	Veģetācijas veids/ kultivētās lauksaimniecības kultūras	Vispārīgs apraksts
			(Urtica spp.) un citi platlapju augi ar lielu biomasu. Tālāk no upes krasta vairāk izplatīti graudzāles un zemāk augoši platlapu augi, piemēram, pienenes (Taraxacum spp.), skābenes (Rumex spp.) un ripzāles (Plantago lanceolata L.).
Zālāji	Bugas X: 57.00969, Y: 22.73852	Zāle maisījums	Zālāji, ko izmanto kā pastāvīgas ganības liellopiem. Pārsvarā reljefs ir līdzens ar dažām seklām ieplakām. Zemes veģetācijā dominē maura retējs (Potentilla anserina L.), baltais āboliņš (Trifolium repens L.) un grīšļa (Agrostis spp.). Zemākajās vietās tuvāk upei, kas applūst pirmās un kur uzkrājas organiskās vielas, plaši izplatījusies ložņu gundega (Ranunculus repens L.). Augstākajos apgabalos tālāk no upes dominē graudzāles.
Zālāji	Riebiķi X: 57.00969, Y: 22.73852	Zāle maisījums	Zālāji ar minimālu apsaimniekošanu, ko parasti novāc reizi gadā. Laika gaitā ir izveidojies nelīdzens reljefs. Zemes veģetācijā dominē platlapju augi un augsti graudzāles.
Aramzeme	Priednieki X: 57.04867, Y: 22.88197	Ziemas kvieši	aramzeme (tradicionālā lauksaimniecība, augsne tika uzarta 20-22 cm dziļumā). Ziemas kvieši tika audzēti 2023. gadā. Sezonas laikā lauks divas reizes tika daļēji applūdināts, kā rezultātā notika barības vielu izskalošanās (novērots barības vielu trūkums). Turklāt 2023. gada vasarā kultūraugu attīstības laikā valdīja sausi apstākļi, kā rezultātā kviešu vārpas bija īsas un vāji attīstītas, un galu galā raža bija zema. Mēslojums: 2023. gada pavasarī augsnē bija augsts mitruma saturs, tāpēc mēslošana netika veikta. Raža: 1,4 - 3,0 (2,4 ± 0,5, vidēji ± S.E.) t ha ⁻¹ (mitruma saturs 14%).
Aramzeme	Lagzdiņi X: 57.04809, Y: 22.88528	Ziemas rapsis	aramzeme (tradicionālā lauksaimniecība, augsne tika uzarta 20-22 cm dziļumā). Ziemas rapsis tika audzēts 2023. gadā; 2023. gada septembra beigās (pēc ražas novākšanas) tika iesēti ziemas kvieši. Vasarā un 2023. gada rudenī lauks tika daļēji applūdināts. Rapšu raža - vidēja. Mēslojums: N21S24 ha ⁻¹ (14.04.2023) un 200 kg N33 ha ⁻¹ (21.04.2023). Raža: 4,9 - 8,1 (6,5 ± 0,9, vidēji ± S.E.) t ha ⁻¹ (mitruma saturs 8%).

Tab. 28. Vispārīgs laika apstākļu (gada nokrišņu daudzums un gaisa temperatūra) raksturojums Latvijā un pētījuma teritorijā (LEGMC, 2024)

Parametrs	Ilgttermiņa vidējais rādītājs (1991-2020)		2023		2024	
	Latvija	Pētījuma teritorija ²	Latvija	Pētījuma teritorija ²	Latvija	Pētījuma teritorija ²
Vidējais gada nokrišņu daudzums, mm	686	696	686	656	761	721
Vidējā gada gaisa	6.8	6.8	7.3	7.4	7.8	7.7

² Tuvākā meteoroloģiskā stacija "Stende" 15 - 20 km attālumā no pētījuma vietām, Valsts sabiedrība ar ierobežotu atbildību "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs"

Parametrs	Ilgtermiņa vidējais rādītājs (1991-2020)	2023	2024
temperatūra, °C			

Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi

Katrā pētījuma vietā transektā tika izveidoti trīs variantās ar dažādiem virsmas augstumiem virs upes līmeņa. I variantā atradās vistuvāk upes krastam (zemākā platība starp variantām), II variantā - tālāk no upes krasta, bet III variantā atradās vistālāk no upes krasta (lielākā platība starp variantām). Augsnes heterotrofās elpošanas (R_{het}) mērījumus veica trīs atkārtojumos katrā variantā (kopā 9 mērījumu punkti katrā izpētes vietā). R_{het} mērījumus veica dienas laikā, izmantojot portatīvo CO₂ gāzes analizatoru EGM-5 (PP Systems International, Inc.), kas aprīkots ar augsnes elpošanas kameru SRC-2 (tilpums 1171 ml, mērījumu laukums 78 cm², laukuma/tilpuma attiecība 1/15). R_{het} mērījumus veica, novietojot augsnes elpošanas kameru uz neapstrādātas augsnes. Veģetācijas izplatīšanos un attīstību R_{het} mērījumu vietā (platībā) novērsa, starp pētījuma vietu apsekojumiem pārklājot augsni ar ģeotekstilu. CO₂ plūsmas, kas atbilst R_{het} (mg CO₂-C m⁻² h⁻¹), aprēķināja katram mērījumu gadījumam, izmantojot ideālās gāzes likuma vienādojumu un lineārās regresijas slīpumu, kas atspoguļo CO₂ koncentrācijas izmaiņas mērījumu laikā katrā kamerā.

Zālāju izpētes teritorijās CO₂ plūsmu mērījumus veica 2022., 2023. un 2024. gadā veģetācijas periodā no aprīļa līdz oktobrim (2023. gadā) vai novembrim (2022. un 2024. gadā); mērījumus veica 10 (2023. gadā) vai 11 (2022. un 2024. gadā) reizes sezonā jeb reizi trīs nedēļās. Aramzemes pētījumu vietās CO₂ plūsmu mērījumus veica augšanas periodā no aprīļa (pēc sējas) līdz oktobrim (pēc ražas novākšanas); mērījumus veica 10 reizes sezonā jeb reizi trijās nedēļās.

Gāzu paraugu ņemšana un SEG plūsmu novērtēšana

Lai novērtētu CO₂ plūsmas, kas pārstāv ekosistēmas elpošanu (R_{eco}), kā arī CH₄ un N₂O plūsmas, tika veikta gāzu paraugu ņemšana (2023. gada aprīlis - 2024. gada februāris) un pēc tam Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silava" laboratorijā tika noteiktas CO₂, CH₄ un N₂O koncentrācijas gāzu paraugos. Katrā pētījuma vietā tika izveidotas trīs variantās (tuvu R_{het} mērījumu punktiem). Katrā variantā augsnē tika uzstādītas divas pastāvīgas apaļas apkakles (līdz 5 cm dziļumam) ar 0,5-1 m attālumu starp apkaklēm, izvairoties no veģetācijas traucējumiem. Gāzu paraugu ņemšanu veica dienas laikā, izmantojot manuālu slēgtas kameras metodi. Kameras (necaurspīdīgas, tilpums 0,0655 m³, diametrs 50 cm) novietoja uz apkakles, un pēc to aizvēršanas ar 10 min intervālu (tūlīt pēc

kameras novietošanas uz apkakles un pēc 10, 20 un 30 min) ar zem spiediena (0,3 mbar) stikla flakonos paņēma četrus secīgus gāzes paraugus (100 cm³). Gāzu paraugus nogādāja laboratorijā, kur ar Shimadzu Nexis GC-230 gāzu hromatogrāfu (Shimadzu USA manufacturing, Inc., Canby, OR, ASV) noteica CO₂, CH₄ un N₂O koncentrāciju gāzu paraugos.

CO₂ plūsmas, kas pārstāv R_{eco} (mg CO₂-C m⁻² h⁻¹), CH₄ un N₂O plūsmas (mg CH₄-C m⁻² h⁻¹ un mg N₂O-N m⁻² h⁻¹, attiecīgi), aprēķināja, izmantojot ideālā gāzes likuma vienādojumu un lineārās regresijas slīpumu, kas atspoguļo CO₂ izmaiņas, CH₄ un N₂O koncentrācijas izmaiņas laika gaitā (30 min periodā) katrā kamerā (pamatojoties uz CO₂, CH₄ un N₂O koncentrācijas rezultātiem četros secīgos gāzes paraugos). Turklāt R_{het} aprēķināja, pieņemot, ka R_{het} un R_{eco} attiecība ir 0,62, ja gaisa temperatūra ir virs 5 °C, bet R_{eco} ir vienāds ar R_{het}, ja gaisa temperatūra ir zemāka par 5 °C.

Vides parametru mērījumi

Pļavu izpētes teritorijās 2022. gadā un aramzemes izpētes teritorijās 2023. gadā augsnes paraugi tika ņemti 80 cm dziļumā no noteiktiem dziļumiem: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm un 40-80 cm. Tika ņemti divi augsnes paraugu komplekti: i) viens komplekts augsnes fizikālo īpašību noteikšanai, tostarp augsnes blīvuma un struktūras noteikšanai (no katra izvēlēta augsnes slāņa vidus tika ņemti noteikta tilpuma, 100 cm³, nesajaukti augsnes paraugi); ii) otrs komplekts augsnes ķīmisko īpašību analīzei (no visa izvēlēta augsnes slāņa tika ņemti jauktie paraugi). Augsnes fizikāli ķīmiskās analīzes tika veiktas Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā "Silava". Tika noteikti šādi mainīgie lielumi: i) augsnes tilpuma blīvums, kas aprēķināts pēc sausās augsnes parauga masas un tilpuma saskaņā ar LVS ISO 11 272:2017; ii) augsnes tekstūra jeb smiltis (daļiņu izmērs 2 mm – 63 μm), māla (daļiņu izmērs 63-2 μm) un māla (daļiņu izmērs < 2 μm) daļiņu proporcija saskaņā ar LVS ISO 11 277:2010 (metode ar sijāšanu un sedimentāciju); iii) augsnes pH 1 M kālija hlorīda (KCl) suspensijā (pH KCl) saskaņā ar LVS ISO 10 390:2021; iv) kopējais slāpekļa (N_{tot}) saturs, izmantojot sausās sadedzināšanas (elementanalīzes) metodi saskaņā ar LVS ISO 13 878:1998; v) organiskā oglekļa (C_{org}) saturs, ko aprēķina kā starpību starp kopējo oglekļa saturu (C_{tot}), ko nosaka, izmantojot sausās sadedzināšanas (elementanalīzes) metodi saskaņā ar LVS ISO 10 694:2006, un neorganiskā oglekļa jeb karbonātu satura (C_{carb}), kas noteikts, izmantojot digitālo augsnes kalcimetru; vi) koncentrētas slāpekļskābes (HNO₃) ekstrahējamā fosfora (P), kālija (K), kalcija (Ca) un magnija (Mg) saturs noteikts ar induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrijas (ICP-OES) metodi saskaņā ar LVS EN ISO 11 885:2009.

Vienlaikus ar SEG plūsmas monitoringu tika noteikta augsnes temperatūra (C°) un augsnes mitrums (%) 6-7 cm dziļumā, izmantojot EGM-5, kas aprīkots ar augsnes mitruma un temperatūras zondi (Stevens Hydra Probe augsnes sensors). Zālāju platībās, veicot pētījuma vietas apsekojumus, ūdens līmeņa (WTL) mērījumus veica manuāli, izmantojot gruntsūdens urbumus (PVC caurules), kas ierīkoti vertikāli 1,5 m dziļumā (katrā variantā viens gruntsūdens urbums).

Virszemes un sakņu biomasas paraugu ņemšana un analīze

Visās pētījuma vietās virszemes un sakņu biomasas paraugi tika ņemti 2023. un 2024. gadā. Paraugu ņemšanas laukums bija 0,125 m². Sakņu biomasas paraugi tika ņemti, izrokot saknes līdz 20 cm dziļumam. Zālāju vietās virszemes biomasas paraugus veica trīs reizes veģetācijas periodā (29. jūnijā, 23.-24. augustā un 16. oktobrī), bet sakņu biomasas paraugus veica tikai veģetācijas perioda beigās (16. oktobrī). Augsnes parauglaukumos gan virszemes, gan sakņu biomasas paraugi tika ņemti vasarā, kad augu attīstības stadija atbilst maksimālajai biomasai (jūnija beigās Lazdiņos parauglaukumā un jūlija sākumā Priednieku parauglaukumā).

Visus veģetācijas paraugus nogādāja laboratorijā, un pēc žāvēšanas 70 °C temperatūrā līdz konstantas masas sasniegšanai noteica to sauso masu. Pirms žāvēšanas sakņu biomasas paraugus atdalīja no augsnes daļiņām, mazgājot ar aukstu krāna ūdeni un izmantojot mitro sietu. C_{tot.} saturu biomasas paraugos noteica, izmantojot elementārās analīzes metodi saskaņā ar LVS ISO 10 694:2006.

Gada SEG plūsmu aplēses

Augšanas sezonas (aprīlis – oktobris aramzemē un aprīlis – novembris pļavās) un gada (janvāris – decembris) SEG plūsmas tika aprēķinātas kā mēneša vidējo plūsmu kumulatīvā vērtība (izteikta kā t CO₂-C ha⁻¹ mēnesis⁻¹, kg CH₄-C ha⁻¹ mēnesis⁻¹, kg N₂O-N ha⁻¹ mēnesis⁻¹).

Gada neto CO₂ plūsmas katrai pētījuma vietai tika aprēķinātas kā starpība starp ikgadējo augsnes R_{het} un C ieplūdi augsnē ar augu pakaišiem. Gada augsnes R_{het} aprēķināja kā vidējo mēneša plūsmu R_{het} (veģetācijas periodā) un R_{het'} (ziemā) kumulatīvo vērtību. Attiecībā uz mēnešiem neaugšanas sezonā, kad R_{het'} netika aprēķināts plūdu dēļ, tika izmantota IPCC vadlīnijās (Eggleston u.c., 2006) norādītā standartvērtība difūzajai CO₂ emisijai pastāvīgi applūstošai zemei (15,2 kg CO₂ ha⁻¹ dienā⁻¹ bezledus periodā, klimats – auksts mērens, mitrs). Attiecībā uz aramzemi C daudzums augsnē ar augu pakaišiem tika aprēķināts kā C daudzuma summa virszemes un pazemes (sakņu) ražas atliekās. Attiecībā uz zālājiem tika pieņemts, ka C ieplūde augsnē ar augu virszemes daļām ir vienāda ar C krājumu virszemes biomasā veģetācijas perioda beigās, savukārt C ieplūde

augsnē ar sakņu biomasu tika aprēķināta, pieņemot, ka sakņu aprites ātrums ir 0,41 saskaņā ar Palosuo u.c. (2015).

Gada CH₄ un N₂O plūsmas katrai pētījuma vietai tika aprēķinātas kā mēneša vidējo CH₄ un N₂O plūsmu kumulatīvā vērtība. Mēnešiem, kad CH₄ plūsmas netika aprēķinātas plūdu dēļ, tika izmantota IPCC vadlīnijās (Eggleston u.c., 2006) noteiktā difūzās CH₄ emisijas standartvērtība pastāvīgi applūstošai zemei (0,061 kg CH₄ ha⁻¹ dienā⁻¹, klimats - aukstais mērenais, mitrais) bezledus periodā, savukārt tika pieņemts, ka CH₄ plūsmas ir nenozīmīgas (nulle) ledus segas periodā (Eggleston u.c., 2006). Attiecībā uz mēnešiem, kad N₂O plūsmas netika novērtētas plūdu dēļ, tika pieņemts, ka N₂O plūsmas ir nenozīmīgas (ieskaitot gan bezledus periodu, gan ledus segas periodu).

Statistiskā analīze

Visas statistiskās analīzes tika veiktas, izmantojot licencētu programmatūru Statistica ar papildus integrētiem R moduļiem (Cassell, 2016) un programmatūras vidi R (versija 4.3.3) un RStudio 2023.12.1 (R Core Team, 2022). Lai pārbaudītu hipotēzi par iegūto eksperimentālo datu normālo sadalījumu un dispersijas homogenitāti, tika izmantots Šapiro-Vilka (Shapiro-Wilk W) tests un normālā sadalījuma blīvuma histogramma, kā arī uz normālā varbūtības grafika tika izveidots salīdzinājuma grafiks. Ja eksperimentālie dati neatbilda normālā sadalījuma teorijai, tika veikta turpmāka statistiskā apstrāde, izmantojot neparametrisko statistiku.

Lai novērtētu statistiski nozīmīgas SEG plūsmu atšķirības starp dažādām pētījuma vietām un variantām, kā arī augsnes fizikāli ķīmisko mainīgo lielumu atšķirības starp dažādiem augsnes slāņiem un zemes izmantošanas veidiem, tika izmantots Vilkoksona rangū summas precīzs tests ar pāru salīdzinājumiem, kas koriģēti daudzkārtējai pārbaudei, izmantojot Bonferoni korekciju. Lai saistītu vidējās SEG plūsmas ar dažādiem vides faktoriem, tika veikta Spīrmena korelācijas (r) analīze (lai noteiktu saistību starp ranga mainīgajiem un vienkāršo regresijas analīzi). Tika izmantots nozīmīguma līmenis $p < 0,05$.

Eksperimentālo datu klasteru analīze tika veikta, izmantojot vienas saites klasterizāciju ar metodi, kas aprēķina Eiklīda attālumus un pēc tam konstruē horizontālo hierarhisko koku diagrammu. Analizējot augsnes fizikāli ķīmiskos mainīgos lielumus, attiecīgie augsnes raksturlielumi tika ņemti pa slāņiem, jo augsnes virskārtas slānī ir iespējams panākt lielāku līdzību starp dažādām vietām attiecībā uz pielietotajiem agronomiskajiem pasākumiem (mēslošanu, aršanu u. c.). Tas ir tāpēc, ka augsnes īpašību atšķirības starp slāņiem atspoguļo augsnes veidošanās procesu, kas ļauj iegūt precīzāku informāciju par līdzībām vai atšķirībām starp pētījuma vietu augsnēm.

Rezultāti

Augsnes fizikāli ķīmiskie mainīgie lielumi

Augsnes virskārtā (0-20 cm slānis) vidējais smilts daļiņu īpatsvars pētījuma vietās svārstījās no 29,4 līdz 74,7 %, vidējais māla daļiņu īpatsvars - no 14,5 līdz 37,3 %, bet vidējais māla daļiņu īpatsvars - no 9,1 līdz 33,3% (Tab. 29). Dziļākajā analizētajā augsnes slānī (40-80 cm) vidējais smilts daļiņu īpatsvars bija no 42,8 līdz 84,5%, vidējais māla daļiņu īpatsvars bija no 8,6 līdz 31,6%, bet vidējais māla daļiņu īpatsvars bija no 6,0 līdz 25,6%. Augsnes virskārtā (0-20 cm slānis) augsnes blīvums bija no 974,3 līdz 1456,5 kg m⁻³, bet 40-80 cm augsnes slānī - no 1358,5 līdz 1574,9 kg m⁻³.

Klasteru analīzes rezultāti parādīja, ka augsnes blīvums un augsnes struktūra pētījuma vietās ievērojami atšķirās. Augsnes fizikālās īpašības aramzemēs (Priedniekos un Lagzdiņos), kur audzēja ziemas kviešus un ziemas rapsi, uzrādīja līdzību. Zālāju vietās bija vērojamas būtiskas fizikālo īpašību atšķirības, lai gan Pūres un Riebiķu pētījuma vietas veidoja klasteri, un to saistes attālums pa x asi liecina par līdzības tendenci.

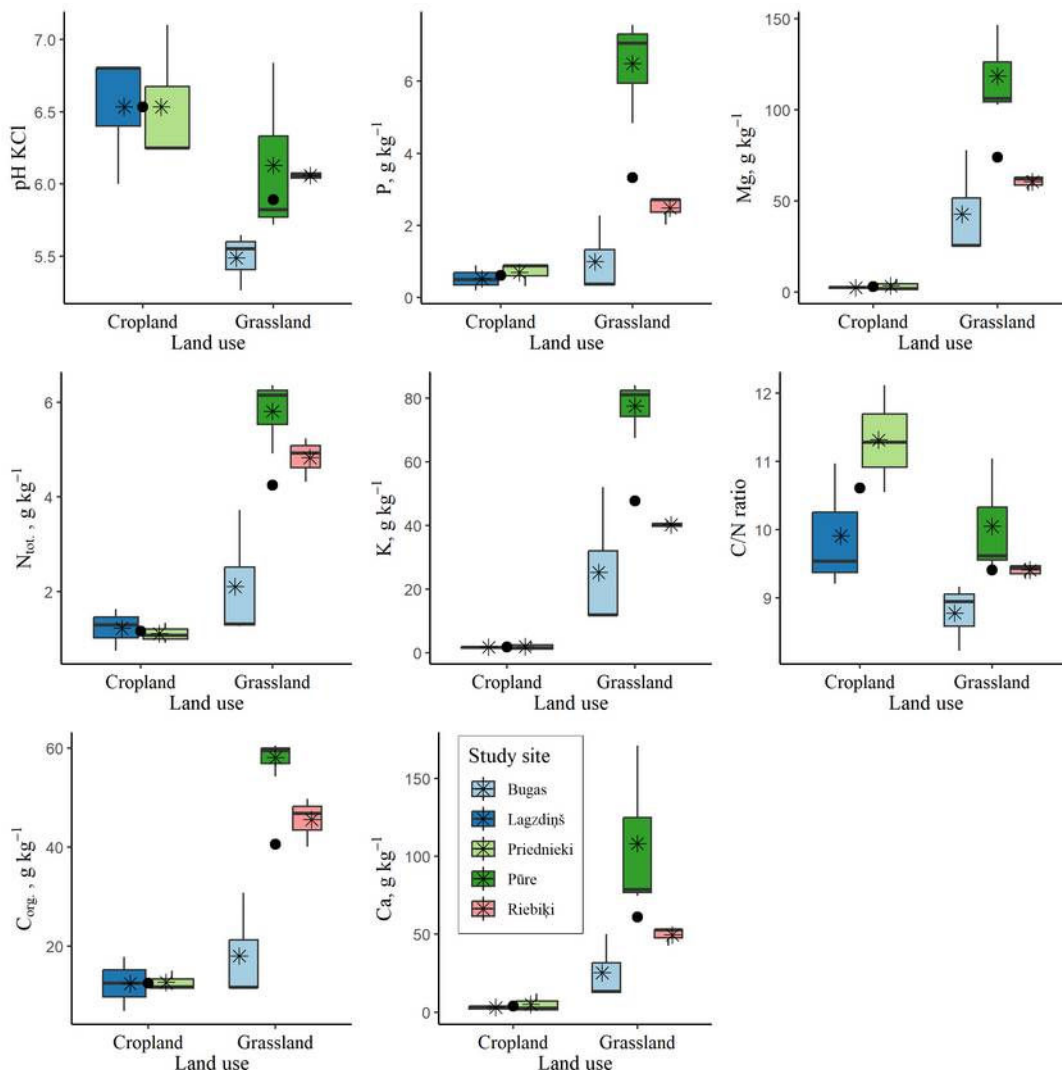
Tab. 29. Vispārīgs augsnes fizikālo mainīgo lielumu (augsnes blīvums un struktūra) apraksts pētījuma vietās.

Zemes izmantošanas veids, izpētes vieta, veģetācija	Augsnes slānis, cm	Vidējais augsnes blīvums, vidējā vērtība ± S.E., kg m ⁻³	Augsnes struktūra, vidējā vērtība ± S.E., %		
			Smiltis (2 mm - 63 μm)	Silt (63 - 2 μm)	Māls (< 2 μm)
Zālāji, Pūre, zālāju maisījums	0-10	873.8 ± 36.5	28.0 ± 7.5	40.9 ± 5.2	31.1 ± 4.7
	10-20	1074.7 ± 31.2	30.8 ± 7.3	33.7 ± 3.6	35.5 ± 7.7
	20-40	1232.9 ± 163.0	32.8 ± 11.2	35.8 ± 4.8	31.4 ± 6.6
	40-80	1358.5 ± 137.1	42.8 ± 11.5	31.6 ± 6.5	25.6 ± 5.0
Zālāji, Bugas, zāles maisījums	0-10	1304.0 ± 74.1	74.2 ± 13.5	15.4 ± 8.5	10.4 ± 5.0
	10-20	1430.4 ± 122.8	75.2 ± 13.8	13.7 ± 8.2	11.1 ± 5.6
	20-40	1453.7 ± 173.1	73.7 ± 14.9	14.3 ± 8.4	12.0 ± 6.5
	40-80	1545.2 ± 59.7	73.6 ± 23.2	13.6 ± 11.8	12.9 ± 11.5
Zālāji, Riebiķi, zālāju maisījums	0-10	873.6 ± 22.2	65.1 ± 2.6	17.2 ± 1.4	17.7 ± 1.2
	10-20	1100.9 ± 22.7	65.7 ± 2.9	16.8 ± 1.5	17.6 ± 1.3
	20-40	1547.7 ± 55.4	73.6 ± 4.1	13.6 ± 2.6	12.8 ± 1.5
	40-80	1574.9 ± 56.6	80.9 ± 7.2	10.4 ± 4.0	8.7 ± 3.3

Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂, N₂O un CH₄ emisijas no aluviālajām augsnēm

Zemes izmantošanas veids, izpētes vieta,	Augsnes slānis, cm	Vidējais augsnes blīvums, vidējā vērtība ± S.E., t/m ³	Augsnes struktūra, vidējā vērtība ± S.E., %		
			Smiltis (2 mm - 63 μm)	Silt (63 - 2 μm)	Māls (< 2 μm)
Apstrādes zeme, Priednieki, ziemas kvieši	0-10	1451.0 ± 47.3	76.7 ± 0.4	15.0 ± 1.8	8.3 ± 1.7
	10-20	1368.7 ± 22.0	71.6 ± 4.2	18.6 ± 2.1	9.9 ± 5.7
	20-40	1473.2 ± 97.3	72.4 ± 2.0	18.4 ± 2.0	9.2 ± 3.5
	40-80	1422.3 ± 122.0	78.7 ± 1.3	15.3 ± 0.3	6.0 ± 1.1
Aramzeme, Lagzdīni, ziemas rapsis	0-10	1441.5 ± 56.5	73.0 ± 3.3	17.4 ± 2.0	9.5 ± 1.2
	10-20	1471.6 ± 129.4	73.6 ± 6.0	17.4 ± 3.9	8.9 ± 2.0
	20-40	1355.2 ± 125.3	79.5 ± 9.2	14.1 ± 7.2	6.4 ± 2.1
	40-80	1479.2 ± 43.5	84.5 ± 5.8	8.6 ± 3.6	6.8 ± 2.3

Augsnes ķīmisko mainīgo lielumu izmaiņas ir parādītas Att. 19 (augšnes virskārta, 0-20 cm), S2. attēlā (20-40 cm augsnes slānis) un S3. attēlā (40-80 cm augsnes slānis), ķīmisko elementu krājumu izmaiņas ir apkopotas 4. tabulā. Pētījuma vietu aluviālo augšņu ķīmiskajām īpašībām bija kopīga tendence, kas saistīta ar specifisko aluviālo augšņu veidošanās procesu. Uzturvielu un skābuma saturs mainās pa slāņiem, atspoguļojot aluviālo augšņu uzkrāšanās īpatnības aluviālo augšņu veidošanās procesā. Tas bija vairāk vērojams pļavu pētījuma vietās, savukārt aramzemē, kas periodiski tika arta, augsnes virskārtas slāņu īpašību atšķirības bija nedaudz mazākas. Turklāt periodiska plūdu ietekme, kas ienes aluviju, un turpmāka augsnes izžūšana var izraisīt mobilo barības vielu migrāciju dziļākos augsnes slāņos. Korelācijas starp dažādiem augsnes ķīmiskajiem mainīgajiem lielumiem apkopotas S2-S4 tabulā.



Att. 19. Augšnes virskārtas (0-20 cm) ķīmiskie mainīgie pētījuma vietās³.

Kopumā C_{org.} un N_{tot.} krājumi 0-10 cm augšnes slānī bija līdzīgi vai tikai nedaudz lielāki nekā 10-20 cm augšnes slānī (Tab. 30). Pētījuma vietās C_{org.} krājumi 0-10 cm augšnes slānī svārstījās no 17,5 līdz 57,5 t ha⁻¹ un 10-20 cm augšnes slānī - no 15,6 līdz 53,9 t ha⁻¹. N_{tot.} krājumi bija no 1,6 līdz 5,7 t ha⁻¹ 0-10 cm augšnes slānī un no 1,7 līdz 5,5 t ha⁻¹ 10-20 cm augšnes slānī. Vislielākais C_{org.} un N_{tot.} krājums bija novērots Pūres pētījuma vietā (pļava), bet vismazākais - aramzemes pētījuma vietās (Priednieki un Lagzdīņi). Kopumā lielāki C_{org.} un N_{tot.} krājumi ir saistīti ar lielāku citu barības vielu saturu (konstatētas pozitīvas korelācijas). Tas varētu būt saistīts ar aluviālo augšņu īpatnībām (aluvija uzkrāšanos), ko netieši apstiprina augšnes blīvuma dati. Augsnēs ar lielāku augšnes blīvumu un lielāku smilts daļiņu īpatsvaru, kas ir savstarpēji saistīti mainīgie lielumi, barības vielu saturs bija relatīvi mazāks (S2-S4 tabula). Lietojot lauksaimniecībā, augsnēm ar

³ pH KCl - augšnes pH kālija hlorīda suspensijā, C_{org.} - organiskā oglekļa saturs, N_{tot.} - kopējais slāpekļa saturs, P - slāpekļskābi ekstrahējamā fosfora saturs, K - slāpekļskābi ekstrahējamā kālija saturs, Ca - slāpekļskābi ekstrahējamā kalcija saturs, Mg - slāpekļskābi ekstrahējamā magnija saturs, C/N - organiskā oglekļa/kopējā slāpekļa attiecība. Kastu diagrammās mediānas ir parādītas kā treknas horizontālas līnijas kastēs, kas norāda starpkvartīļu diapazonu no 25. līdz 75. procentilei, vidējās vērtības pa pētījuma vietām ir parādītas kā zvaigznītes, bet vidējās vērtības pa zemes izmantošanas veidiem - kā melni punkti

lielāku smilts īpatsvaru jāpievērš īpaša uzmanība, jo šīs augsnes nespēj efektīvi saistīt barības vielas, kas var radīt problēmas, kas saistītas ar barības vielu izskalošanos un pieejamību augiem.

Tab. 30. Ķīmisko elementu krājumi dažādos augsnes slāņos izpētes teritorijās

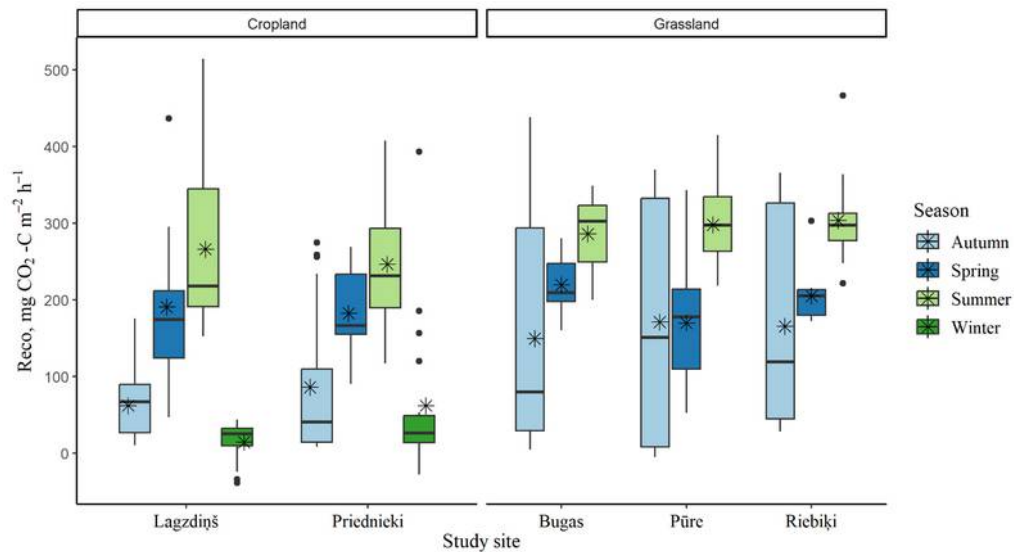
Zemes izmantošanas veids, izpētes vieta, veģetācija	Augsnes slānis, cm	C _{org.} , vidēji ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	N _{tot.} , vidēji ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	P, vid. ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	K, vidējais ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	Ca, vid. ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	Mg, vidēji ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹
Pļavas, Pūre, zāles maisījums	0-10	57.50 ± 2.79 (52.3 - 61.8)	5.65 ± 0.46 (4.76 - 6.29)	6.64 ± 1.14 (4.38 - 8.09)	68.61 ± 4.88 (62.6 - 78.3)	99.22 ± 31.87 (65.6 - 162.9)	104.32 ± 17.15 (82.5 - 138.1)
	10-20	53.94 ± 3.26 (47.5 - 57.8)	5.49 ± 0.34 (5.09 - 6.18)	5.70 ± 0.49 (4.97 - 6.62)	81.74 ± 6.41 (74.7 - 87.2)	113.36 ± 35.34 (77.9 - 184.0)	127.63 ± 16.02 (110.6 - 159.6)
	20-40	77.50 ± 5.65 (70.0 - 88.6)	8.23 ± 0.32 (7.58 - 8.61)	6.35 ± 0.70 (5.19 - 7.60)	163.46 ± 23.16 (138.3 - 209.7)	244.20 ± 88.47 (122.5 - 416.3)	280.54 ± 49.08 (184.8 - 78.4)
	40-80	110.54 ± 33.78 (67.6 - 177.2)	11.38 ± 4.24 (6.05 - 19.75)	7.42 ± 4.20 (2.83 - 15.81)	287.32 ± 45.65 (196.0 - 333.9)	435.60 ± 125.0 (310.6 - 688.6)	548.96 ± 9.59 (536.6 - 567.9)
Zālāji, Bugas, zāles maisījums	0-10	27.43 ± 8.06 (18.7 - 43.5)	3.10 ± 1.01 (1.90 - 5.12)	1.64 ± 0.99 (0.64 - 3.63)	32.85 ± 4.88 (16.3 - 64.2)	34.24 ± 14.22 (18.3 - 62.6)	55.24 ± 18.85 (34.9 - 92.9)
	10-20	19.29 ± 5.11 (13.4 - 29.5)	2.31 ± 0.70 (1.58 - 3.71)	0.83 ± 0.46 (0.37 - 1.75)	31.35 ± 14.2 (16.1 - 59.7)	30.23 ± 13.33 (15.8 - 56.8)	55.32 ± 18.63 (35.5 - 92.6)
	20-40	36.66 ± 12.75 (22.0 - 62.1)	4.36 ± 1.58 (2.45 - 7.50)	1.68 ± 1.01 (0.56 - 3.70)	59.11 ± 20.55 (36.1 - 104.2)	59.36 ± 25.65 (33.2 - 110.7)	113.60 ± 33.04 (78.4 - 179.6)
	40-80	70.52 ± 64.93 (5.0 - 200.4)	9.27 ± 7.44 (1.10 - 24.13)	4.48 ± 4.46 (0.01 - 13.40)	150.79 ± 127.1 (18.7 - 404.9)	163.37 ± 143.7 (16.6 - 450.8)	261.86 ± 206.84 (43.3 - 675.3)
Zālāji, Riebiķi, zāles maisījums	0-10	45.39 ± 4.00 (39.9 - 53.2)	4.72 ± 0.39 (4.14 - 5.47)	2.58 ± 0.39 (2.00 - 3.31)	34.93 ± 1.68 (32.8 - 38.3)	44.10 ± 4.03 (37.0 - 51.0)	51.78 ± 3.23 (46.9 - 57.9)
	10-20	42.95 ± 3.70 (38.8 - 50.3)	4.65 ± 0.31 (4.25 - 5.27)	2.22 ± 0.22 (1.97 - 2.67)	44.51 ± 0.87 (42.8 - 45.5)	53.48 ± 2.42 (48.7 - 56.4)	67.89 ± 2.05 (64.7 - 71.7)
	20-40	62.48 ± 5.55 (55.3 - 73.4)	7.86 ± 0.64 (6.85 - 9.05)	2.15 ± 0.41 (1.62 - 2.95)	80.60 ± 10.64 (65.7 - 101.2)	95.97 ± 14.58 (76.4 - 124.5)	146.73 ± 17.86 (121.7 - 181.3)
	40-80	41.19 ± 13.49 (18.4 - 65.1)	6.07 ± 1.60 (3.05 - 8.50)	1.03 ± 0.59 (0.21 - 2.17)	111.88 ± 34.54 (68.4 - 180.1)	122.90 ± 42.25 (66.9 - 205.7)	231.91 ± 63.46 (158.4 - 358.3)
Apstrādes zeme, Priednieki, ziemas kvieši	0-10	20.12 ± 2.81 (16.4 - 25.6)	1.59 ± 0.07 (1.47 - 1.70)	1.15 ± 0.11 (0.92 - 1.27)	2.88 ± 0.58 (2.29 - 4.03)	10.36 ± 6.25 (3.63 - 22.86)	5.78 ± 2.95 (2.6 - 11.7)
	10-20	15.58 ± 4.08 (8.4 - 22.5)	1.52 ± 0.26 (1.04 - 1.92)	1.10 ± 0.14 (0.84 - 1.32)	3.25 ± 1.31 (1.79 - 5.86)	5.44 ± 2.95 (1.95 - 11.30)	4.63 ± 2.19 (2.35 - 9.02)
	20-40	15.40 ± 6.27 (5.3 - 26.9)	1.67 ± 0.49 (0.80 - 2.47)	2.69 ± 1.34 (0.86 - 5.29)	6.05 ± 2.30 (3.47 - 10.64)	31.26 ± 27.31 (2.80 - 85.86)	19.18 ± 13.83 (4.61 - 46.8)
	40-80	86.40 ± 52.24 (13.5 - 192.4)	3.10 ± 1.43 (1.54 - 5.96)	4.98 ± 2.86 (1.12 - 10.57)	9.64 ± 3.68 (5.76 - 17.00)	57.08 ± 50.35 (4.03 - 157.72)	42.77 ± 33.80 (8.67 - 110.4)

Zemes izmantošanas veids, izpētes vieta, veģetācija	Augsnes slānis, cm	C _{org.} , vidēji ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	N _{tot.} , vidēji ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	P, vid. ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	K, vidējais ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	Ca, vid. ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹	Mg, vidēji ± S.E. (diapazons), t ha ⁻¹
Aramzeme, Lagzdiņi, ziemas rapsis	0-10	17.51 ± 4.40 (8.7 - 22.3)	1.76 ± 0.33 (1.11 - 2.11)	0.57 ± 0.12 (0.34 - 0.71)	2.60 ± 0.08 (2.44 - 2.69)	3.73 ± 0.99 (1.75 - 4.83)	3.47 ± 0.14 (3.18 - 3.62)
	10-20	17.41 ± 3.31 (13.3 - 23.9)	1.70 ± 0.24 (1.26 - 2.08)	0.88 ± 0.37 (0.31 - 1.57)	2.45 ± 0.17 (2.12 - 2.67)	4.54 ± 1.65 (1.46 - 7.11)	3.37 ± 0.44 (2.52 - 3.99)
	20-40	16.09 ± 7.26 (2.9 - 28.0)	1.80 ± 0.56 (0.75 - 2.69)	0.61 ± 0.14 (0.46 - 0.89)	3.51 ± 0.59 (2.85 - 4.68)	4.78 ± 1.99 (1.89 - 8.60)	5.39 ± 0.96 (3.51 - 6.70)
	40-80	23.75 ± 16.99 (3.8 - 57.5)	2.83 ± 1.26 (0.97 - 5.23)	1.51 ± 0.18 (1.32 - 1.88)	9.01 ± 2.64 (5.34 - 14.13)	13.14 ± 5.96 (4.71 - 24.64)	13.07 ± 2.83 (7.48 - 16.60)
Conf. int. (± 95%), visas pētījuma vietas	0-10	23.93 - 43.25	2.34 - 4.39	1.15 - 3.88	13.12 - 43.63	14.99 - 61.66	20.81-67.42
	10-20	20.32 - 39.35	2.15 - 4.12	1.05 - 3.25	19.47 - 50.35	14.54 - 68.28	29.30 - 79.64
	20-40	25.99 - 57.26	3.02 - 6.54	1.39 - 4.00	26.73 - 98.37	27.37 - 146.86	51.56 - 174.62
	40-80	28.15 - 104.81	2.76 - 10.29	1.08 - 6.69	35.88 - 191.57	46.56 - 271.47	83.96 - 355.47

Līdzīgi kā pētījuma vietu grupēšana pēc augsnes fizikālajiem mainīgajiem, arī augšņu grupēšana pēc ķīmiskajiem mainīgajiem (C_{org.}, N_{tot.}, HNO₃ ekstr. P, K, Ca un Mg 0-10 cm augsnes slānī) uzrādīja līdzību starp augsnēm aramzemju vietās (Priednieki un Lagzdiņi), savukārt zālāju vietās konstatētas atšķirības augsnes ķīmiskajos mainīgajos. Tādējādi, analizējot SEG plūsmu eksperimentālos datus, jāņem vērā dažādu pētījuma vietu augsņu īpatnības fizikālo un ķīmisko mainīgo lielumu ziņā.

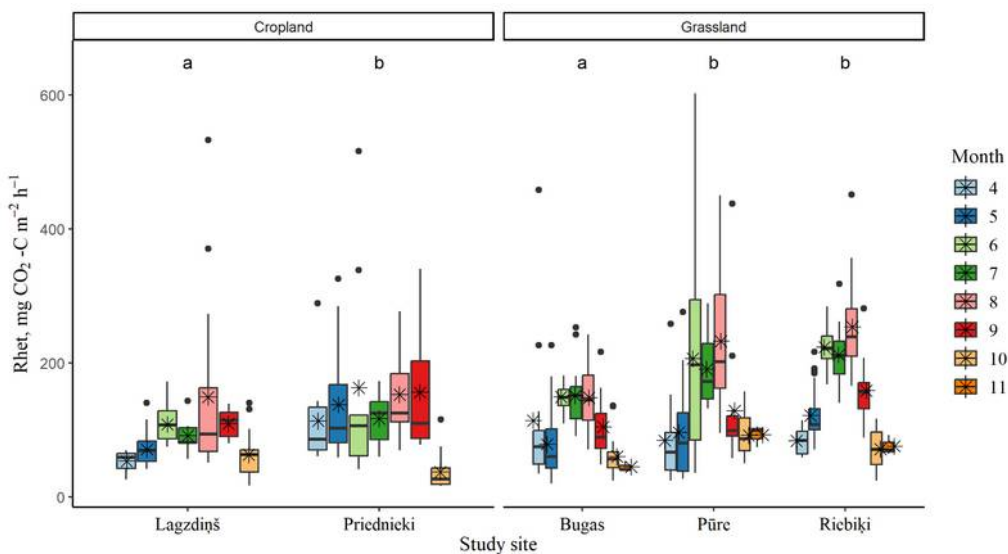
Siltumnīcefekta gāzu plūsmu svārstības un ietekmējošie faktori

Pētījuma vietās un dažādos gadalaikos (pavasārī, vasarā, rudenī un ziemā) vidējās R_{eco} plūsmas svārstījās no 38,5 ± 12,6 mg CO₂ -C m⁻² h⁻¹ ziemā aramzemēs līdz 286,5 ± 11,8 mg CO₂ -C m⁻² h⁻¹ vasarā pļavās (Att. 20). Statistiski nozīmīgas R_{eco} atšķirības starp dažādiem apakšlaukiem vienas un tās pašas pētījuma vietas ietvaros netika novērotas (p > 0,49), izņemot Priednieku pētījuma vietu, kur III lauka daļā tika novērots ievērojami lielāks vidējais R_{eco} nekā I lauka daļā (p = 0,048). Starp dažādām sezonām statistiski nozīmīgas atšķirības R_{eco} starp dažādām pētījuma vietām netika novērotas (p > 0,064). Tomēr, apkopojot visas aramzemju platības un zālāju platības, vasarā (p = 0,004) un rudenī (p = 0,013) zālāju platībās tika novērots ievērojami lielāks vidējais R_{eco} nekā aramzemju platībās.



Att. 20. R_{eco} svārstības pētījuma periodā pētījuma vietās⁴

Starp pētījuma vietām un dažādiem mēnešiem vidējās R_{het} plūsmas svārstījās no 37,5 ± 6,1 mg CO₂-C m⁻² h⁻¹ oktobrī Priednieku pētījuma vietā līdz 254,1 ± 14,7 mg CO₂-C m⁻² h⁻¹ augustā Riebiķu pētījuma vietā (Att. 21). Statistiski nozīmīgas atšķirības tika novērotas starp abām pētījuma vietām (Att. 21) un dažādiem apakšlaukiem vienā pētījuma vietā.



Att. 21. R_{het} svārstības pētījuma periodā pētījuma vietās⁵

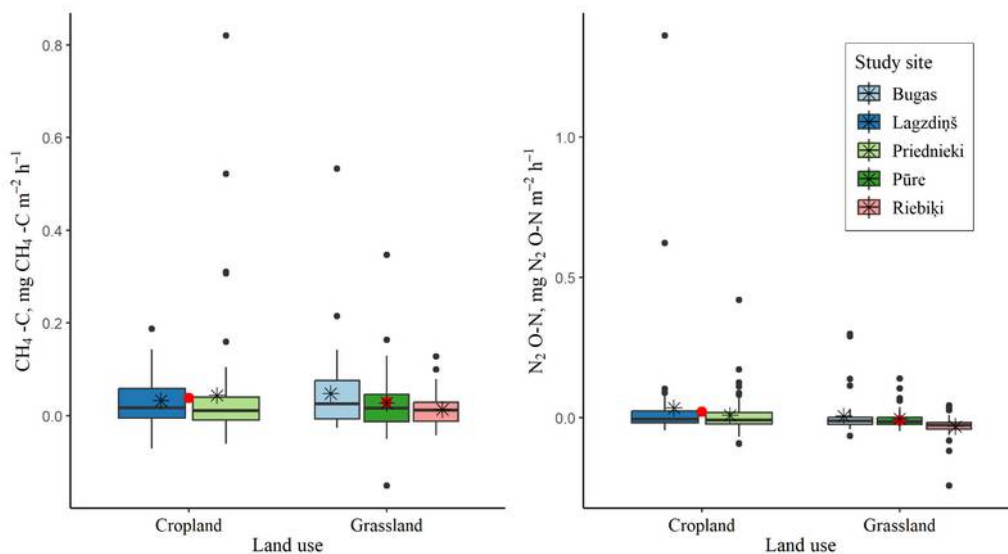
Starp pētījuma vietām vidējās CH₄ plūsmas pētījuma periodā svārstījās no 0,014 ± 0,004 mg CH₄-C m⁻² h⁻¹ Riebiķos līdz 0,048 ± 0,011 mg CH₄-C m⁻² h⁻¹ Bugā (Att.

⁴ sagrupētas pa dažādiem gadalaikiem. Kastu diagrammās mediānas ir parādītas kā treknas horizontālas līnijas kastēs, kas norāda starpkvartīļu diapazonu no 25. līdz 75. procentilei, vidējās vērtības pa sezonām katrā pētījuma vietā ir parādītas kā melnas zvaigznītes, bet novirzes ir parādītas kā melni punkti. Pavasaris - aprīlis, maijs; vasara - jūnijs, jūlijs, augusts; rudens - septembris, oktobris, novembris; ziema - decembris, janvāris, februāris.

⁵ sagrupētas pa dažādiem mēnešiem. Kastu diagrammās mediānas ir parādītas kā treknas horizontālas līnijas kastēs, kas norāda starpkvartīļu diapazonu no 25. līdz 75. procentilei, vidējās vērtības pa mēnešiem katrā pētījuma vietā ir parādītas kā melnas zvaigznītes, bet novirzes ir parādītas kā melni punkti. Atšķirīgi mazie burti a un b apzīmē būtiskas atšķirības (p < 0,05) starp pētījuma vietām zemes izmantošanas veida ietvaros

22). Statistiski nozīmīgas atšķirības CH₄ plūsmās netika novērotas ne starp dažādām pētījuma vietām ($p > 0,15$), ne starp variantām vienā pētījuma vietā ($p > 0,41$).

Vidējās N₂O plūsmas pētījuma periodā svārstījās no $-0,031 \pm 0,005$ mg N₂O-N m⁻² h⁻¹ Riebiķos līdz $0,035 \pm 0,023$ mg N₂O-N m⁻² h⁻¹ Lazdiņos (Att. 22). Turklāt vidējās N₂O plūsmas Riebiķos, kas atspoguļo nelielu N₂O izvadišanu no atmosfēras, bija statistiski zemākas nekā visās pārējās pētījuma vietās ($p < 0,003$). N₂O plūsmu statistiski nozīmīgas atšķirības starp variantām tajā pašā pētījuma vietā netika novērotas ($p > 0,10$).



Att. 22. CH₄ un N₂O plūsmu izmaiņas pētījuma periodā pētījuma vietās⁶.

Lai noteiktu svarīgākos SEG plūsmu ietekmējošos faktorus, tika veikta Spīrmena korelācijas analīze starp SEG plūsmām dažādos gada mēnešos (ko ietekmē sezonai raksturīgie laika apstākļi) un veģetācijas raksturlielumiem, kā arī dažādu augsnes slāņu fizikāli ķīmiskajiem mainīgajiem. Nozīmīgākie mainīgie lielumi, kas ietekmē SEG plūsmu lielumu, apkopoti Tab. 31. Korelācijas analīze atklāja, ka visspēcīgākās sakarības veidojās starp augšējā augsnes slāņa (0-10 cm) fizikāli ķīmiskajiem mainīgajiem lielumiem un SEG plūsmām augustā un septembrī. Aprīlī netika konstatētas nozīmīgas korelācijas starp SEG plūsmām un pētītajiem mainīgajiem lielumiem. Jūnijā un jūlijā korelāciju stiprums un nozīmīgums palielinājās, un maksimālais sakarību stiprums tika konstatēts augustā, bet septembrī un oktobrī sekoja samazinājums, kas varētu būt saistīts ar mikrobioloģiskās aktivitātes samazināšanos augsnē.

⁶ Kastu diagrammās mediānas ir parādītas kā treknas horizontālas līnijas kastēs, kas norāda starpkvartīļu diapazonu no 25. līdz 75. procentilei, vidējās vērtības pa pētījuma vietām ir parādītas kā melnas zvaigznes, vidējās vērtības pa zemes izmantošanas veidiem ir parādītas kā sarkani punkti, bet novirzes ir parādītas kā melni punkti.

Tab. 31. Spīrmēna ranga sakarības (nozīmīgas pie $p < 0,05$) starp SEG plūsmu lielumu un dažādiem ietekmējošiem mainīgajiem (augšes fizikāli ķīmiskie mainīgie, veģetācijas īpašības). Atzīmētās (treknrakstā) vērtības ir nozīmīgas korelācijas pie $p < 0,05$. C - ogleklis, N - slāpeklis

Mainīgs	Augsnes blīvums (0-10 cm), kg ha ⁻¹	C _{org.} krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	N _{tot.} krājums (0-10 cm), t ha ⁻¹	P krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	K krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	Ca krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	Mg krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	C saturs augsnes virskārtā (0-10 cm), %	N saturs augsnes virskārtā (0-10 cm), %	Veģetācijas biomasa, t ha ⁻¹	C krājumi veģetācijas biomasā, t C ha ⁻¹	R _{eco} , mg m ⁻² h ⁻¹	R _{het} , mg m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ -C plūsmas, mg m ⁻² h ⁻¹
Augsnes blīvums (0-10 cm), kg ha ⁻¹	1.00													
C _{org.} krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	-0.92	1.00												
N _{tot.} krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	-0.92	0.98	1.00											
P krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	-0.77	0.91	0.89	1.00										
K krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	-0.81	0.92	0.94	0.91	1.00									
Ca krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	-0.70	0.77	0.71	0.67	0.81	1.00								
Mg krājumi (0-10 cm), t ha ⁻¹	-0.77	0.85	0.84	0.78	0.94	0.95	1.00							
C saturs augsnes virskārtā (0-10 cm), %	-0.96	0.96	0.95	0.88	0.88	0.76	0.82	1.00						
N saturs augsnes virskārtā (0-10 cm), %	-0.96	0.97	0.97	0.88	0.90	0.72	0.81	0.99	1.00					
Veģetācijas biomasa, t ha ⁻¹	-0.67	0.53	0.56	0.33	0.50	0.44	0.53	0.58	0.59	1.00				
C krājumi veģetācijas biomasā (S8. attēls), t C ha ⁻¹	0.63	-0.65	-0.66	-0.56	-0.70	-0.52	-0.67	-0.60	-0.63	-0.67	1.00			
R _{eco} , mg m ⁻² h ⁻¹	-0.75	0.72	0.77	0.62	0.78	0.71	0.81	0.77	0.78	0.80	-0.72	1.00		
R _{het} , mg m ⁻² h ⁻¹	-0.61	0.55	0.51	0.29	0.40	0.63	0.54	0.57	0.54	0.53	-0.28	0.53	1.00	
CH ₄ -C plūsmas, mg m ⁻² h ⁻¹	0.56	-0.41	-0.53	-0.32	-0.43	-0.21	-0.37	-0.48	-0.52	-0.50	0.17	-0.53	-0.53	1.00
N ₂ O-N plūsmas, mg m ⁻² h ⁻¹	0.36	-0.22	-0.26	-0.03	-0.05	0.06	0.00	-0.25	-0.28	-0.51	-0.01	-0.18	-0.18	0.58

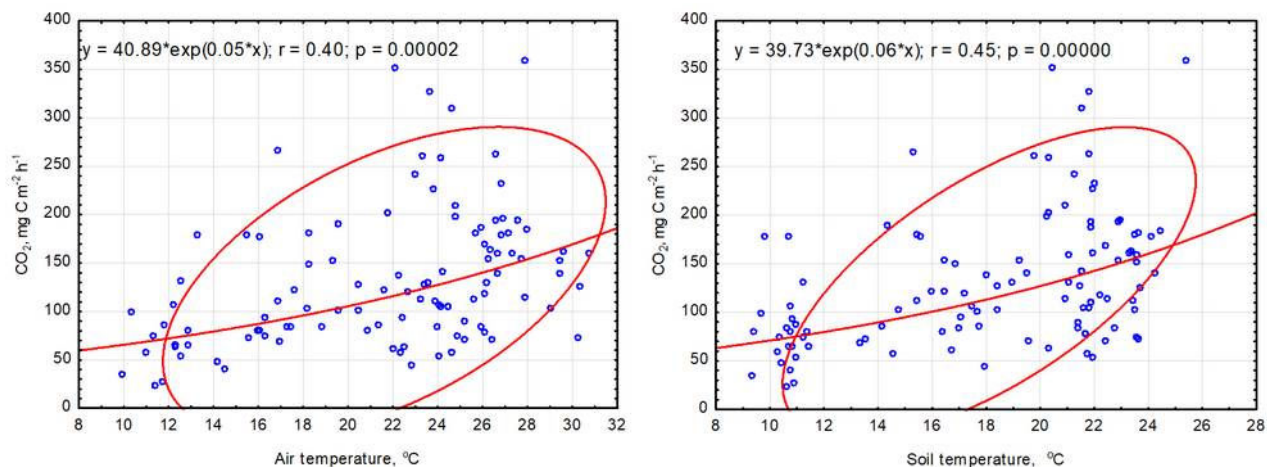
Spīrmēna korelācijas analīzes rezultāti starp SEG plūsmām un vides mainīgajiem ir apkopoti Tab. 32 (Spīrmēna korelācijas koeficienti, kas iegūti augustā). Veicot

ikmēneša analīzi par laika apstākļu ietekmi uz R_{het} , aprīlī nozīmīgas korelācijas netika konstatētas. Maijā augsnes mitruma saturs aprīlī ($r = 0,67$) un maijā ($r = 0,60$) ietekmēja R_{het} lielumu. Jūnijā augsnē uzkrātais mitrums aprīlī ($r = 0,63$), maijā ($r = 0,58$) un jūnijā ($r = 0,58$) ietekmēja R_{het} lielumu. Tāpat R_{het} lielumu jūlijā ietekmēja mitruma apstākļi augsnē aprīlī ($r = 0,63$), maijā ($r = 0,65$), jūnijā ($r = 0,70$) un jūlijā ($r = 0,55$). Savukārt augustā netika novērota nekāda saistība ar augsnes mitruma rezervēm kārtējā vai iepriekšējos mēnešos, ko, iespējams, noteica mitruma trūkums augsnē jūlijā. Tas apturēja gan augu augšanas procesus, gan palēnināja augsnes mikrobiotas attīstību, kas varēja izraisīt korelācijas sakarību iziršanu. Vēlākajos periodos vislielākā ietekme uz R_{het} lielumu bija tādiem faktoriem kā gaisa temperatūra ($r = -0,55$) un augsnes temperatūra ($r = -0,55$), kas vēl vairāk ierobežoja bioloģiskos procesus augsnē. Vispārējās nelineārās (eksponenciālās) regresijas, kas raksturo R_{het} lieluma atkarību no gaisa un augsnes temperatūras, ir parādītas Att. 23.

Tab. 32. Spīrmena ranga sakarības (nozīmīgas pie $p < 0,05$) starp SEG plūsmām un vides mainīgajiem (rezultāti iegūti augustā). Atzīmētās (treknrakstā) vērtības ir nozīmīgas korelācijas pie $p < 0,05$

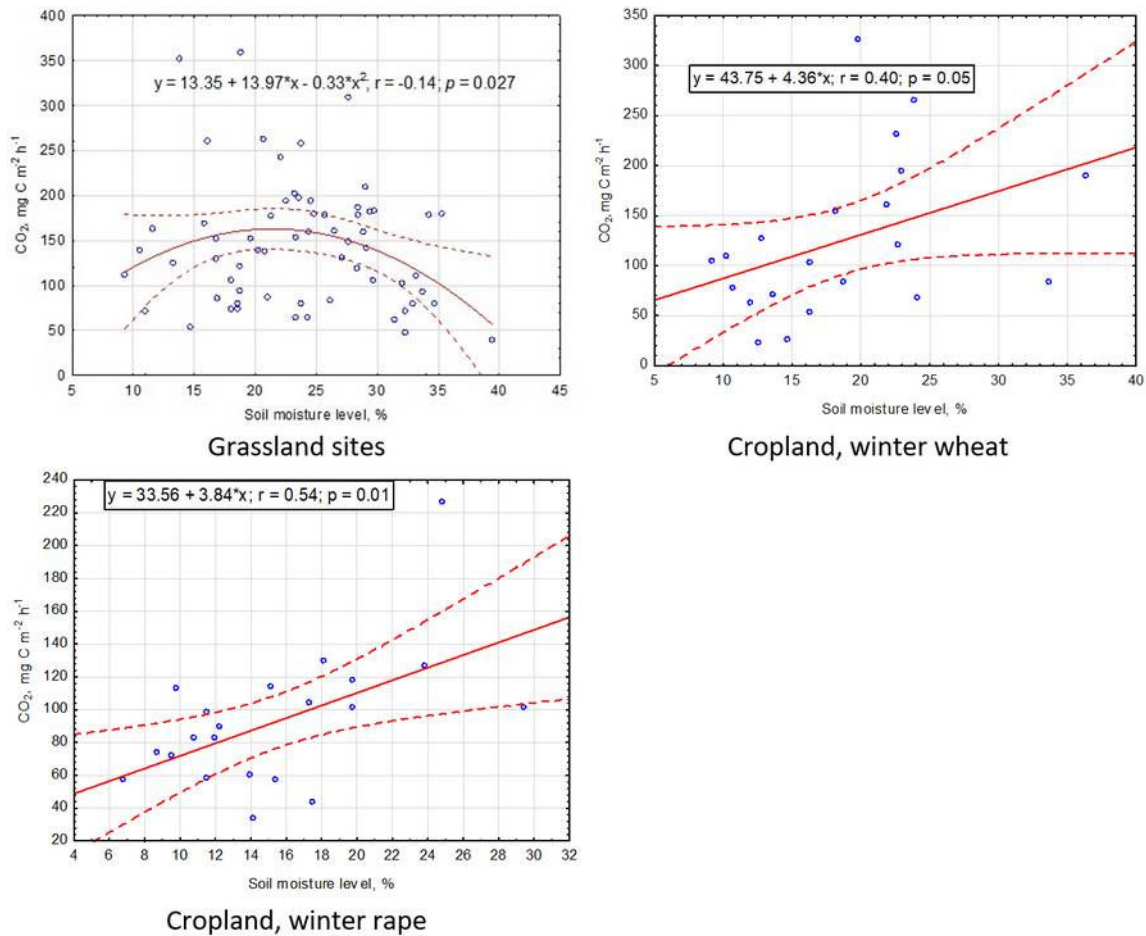
Mainīgs	Gaisa temperatūra, °C	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitruma līmenis, %	Ūdens līmeņa līmenis ⁷ , cm	R_{eco} , mg C m ⁻² h ⁻¹	R_{het} , mg C m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ -C plūsmas, mg C m ⁻² h ⁻¹
Gaisa temperatūra, °C	1.00						
Augsnes temperatūra, °C	0.94	1.00					
Augsnes mitruma līmenis, %	-0.22	-0.28	1.00				
Ūdens līmeņa līmenis ⁷ , cm	0.63	0.58	-0.22	1.00			
R_{eco} , mg C m ⁻² h ⁻¹	0.40	0.46	0.19	0.28	1.00		
R_{het} , mg C m ⁻² h ⁻¹	0.41	0.46	-0.01	0.23	0.48	1.00	
CH ₄ -C plūsmas, mg C m ⁻² h ⁻¹	0.16	0.15	0.13	-0.05	0.08	0.01	1.00
N ₂ O-N plūsmas, mg N m ⁻² h ⁻¹	-0.06	-0.07	-0.02	-0.12	-0.17	-0.21	0.03

⁷ Dati pieejami tikai par zālāju vietām.



Att. 23. Nelineārās (eksponenciālās) regresijas, kas raksturo augsnes heterotrofās elpošanas (R_{het}) atkarību no gaisa un augsnes temperatūras (visas vietas kopā). Platība sarkanajā ovālā atbilst 95 % ticamības intervālam.

Papildus temperatūrai (Att. 23) par svarīgu faktoru, kas ietekmē R_{het} lielumu, tika atzīts arī augsnes mitruma saturs. Atsevišķos mēnešos augsnes mitruma saturs var vai nu būtiski samazināt bioloģisko procesu aktivitāti, vai arī tos paātrināt. Tikai ekstrēmi zema vai augsta gaisa vai augsnes temperatūra var izraisīt līdzīgas izmaiņas R_{het} . R_{het} lieluma izmaiņas atkarībā no vides parametriem pļavu un aramzemju teritorijās ir parādītas Att. 24 (augsnas mitrums).



Att. 24. Saistība starp augšnes heterotrofo elpošanu (R_{het}) un augšnes mitruma saturu pļavās un aramzemes. Platība starp sarkanajām pārtraucamajām līnijām atbilst 95% ticamības intervālam.

Atšķirībā no Att. 23 attēlotajām regresijām (kurās redzamas vispārējas likumsakarības starp R_{het} un temperatūru), iegūtajām sakarībām starp R_{het} un augšnes mitrumu nav skaidri izteikta eksponenciāla mijiedarbības veida. Tomēr mēs ieguvām ticamus regresijas vienādojumus visiem zemes izmantošanas veidiem attiecībā uz augšnes mitruma ietekmi uz R_{het} (Att. 24). Turklāt arī gaisa un augšnes temperatūra izraisīja šī faktora izmaiņas, tomēr ziemas kviešu un ziemas rapša sējumos vienādojumi nebija pietiekami precīzi. Interessants atklājums ir augšnes mitruma un R_{het} sakarība pļavu platībās. Polinoma vienādojums atklāj skaidru maksimumu pie 23% augšnes mitruma, kam seko samazināšanās, palielinoties augšnes mitrumam. To var izraisīt palielināta mitruma uzņemšana kultūraugu fotosintēzei vai palielināta iztvaikošana no augšnes virsmas, ko ietekmē attālums starp rindām. Augstāks augšnes mitruma saturs bija raksturīgs pavasara mēnešiem, īpaši aprīlim, kad augu aktivitāte bija minimāla, bet mitruma uzņemšana – maksimāla. Šajā ziņā visās pļavu platībās bija labs mitruma nodrošinājums. Ziemas kviešu laukā bija vērojama līdzīga tendence, turklāt rudenī tas tika applūdināts. Augu ūdens uzņemšanas

maksimums bija jūnijā un jūlijā. Šajos mēnešos zemākais augsnes mitruma saturs bija vērojams aramzemēs. Turpretī no augusta augsnes mitruma saturs sāka palielināties, kas atbilst ražas novākšanas laikam un straujam ūdens uzņemšanas samazinājumam. Pļavu pētījuma vietās augsnes mitruma saturs salīdzinājumā ar jūliju samazinājās par 1,27%, bet ziemas kviešu un ziemas rapša laukos tas palielinājās attiecīgi par 5,49 un 8,34%.

Siltumnīcefekta gāzu gada plūsmas

Aprēķinātās veģetācijas perioda un gada SEG plūsmas, ieskaitot gada neto CO₂ emisijas no augsnes pētījuma vietās aramzemē un pļavās, ir parādītas Tab. 33; salīdzinājumam ir pievienoti IPCC (Eggleston u.c., 2006; Hiraishi u.c., 2013) standarta SEG emisiju faktori, kas atspoguļo gada SEG plūsmas applūstošai zemei, nosusinātai un pārmitrinātai organiskai augsnei.

Vidējais kumulatīvā R_{het} īpatsvars no R_{eco} veģetācijas periodā bija 60,9 ± 6,0% pļavās (aprīlis – novembris) un 56,7 ± 8,5% aramzemē (aprīlis – oktobris). Turklāt R_{het} īpatsvaram no R_{eco} ir tendence būt zemākam pie augstākām gaisa un līdz ar to arī augsnes temperatūrām, savukārt R_{het} īpatsvaram no R_{eco} ir tendence tuvojies vienlīdzībai pie temperatūras, kas tuva 0° C. Vidējā gada neto CO₂ plūsma, ko aprēķina kā starpību starp gada R_{het} un gada C ieplūdi ar augu pakaišiem, bija 1,5 ± 1,2 t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹ pļavās un 4,5 ± 1,1 t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹ aramzemēs (Tab. 33). Vidējās aplēstās CH₄ plūsmas gadā bija 4,6 ± 0,6 kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹ pļavās un 3,2 ± 0,4 kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹ aramzemē. Vidējā aplēstā gada N₂O apmaiņa zālajos bija nenožīmīga un svārstījās ap nulli (-0,5 ± 0,6 kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹), bet vidējā aplēstā gada N₂O plūsma aramzemē atspoguļoja emisijas (2,4 ± 1,6 kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹).

Tab. 33. Aprēķinātās kumulatīvās SEG plūsmas pļavu (GL) un aramzemes (CL) izpētes teritorijās⁸

SEG plūsmas	Vienība	Zemes izmantošanas veids un izpētes vieta						
		Zālāji				Aramzeme		
		Pūre	Bugas	Riebiņi	Vidējais ± S.E.	Priednieki	Lagzdiņi	Vidējais ± S.E.
Kumulatīvais R _{eco} augšanas sezonā (CL – aprīlis – oktobris, GL – aprīlis – novembris)	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	12.2	12.8	13.3	12.8 ± 0.3	9.9	9.9	9.9 ± 0.0
Kumulatīvais R _{het} augšanas sezonā (CL - aprīlis-oktobris, GL – aprīlis – novembris)	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	8.2	6.2	8.8	7.8 ± 0.8	6.4	4.8	5.6 ± 0.8
Kumulatīvā R daļa _{het} no R _{eco} augšanas sezonā (CL – aprīlis – oktobris, GL – aprīlis – novembris).	%	67.6	48.8	66.2	60.9 ± 6.0	65.2	48.2	56.7 ± 8.5

⁸ Salīdzinājumam ir iekļauti standarta SEG emisiju faktori applūstošai zemei, nosusinātai un pārmitrinātai organiskajai augsnei, kas sniegti Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (IPCC) [8,37] aukstajam mērenajam klimatam, mitram klimatam (barības vielām bagāta augsne). Reco - ekosistēmas elpošana, Rhet - augsnes heterotrofā elpošana.

Augšnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂, N₂O un CH₄ emisijas no aluviālajām augsnēm

SEG plūsmas	Vienība	Zemes izmantošanas veids un izpētes vieta						
		Zālāji				Aramzeme		
		Pūre	Bugas	Riebiķi	Vidējais ± S.E.	Priednieki	Lagzdiņi	Vidējais ± S.E.
Aprēķinātais gada R _{het}	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	8.5	6.5	9.1	8.0 ± 0.8	8.5	5.5	7.0 ± 1.5
Aprēķinātais ikgadējais oglekļa daudzums, izmantojot augu biomasu	t C ha ⁻¹ gads ⁻¹	5.5	7.4	6.9	6.6 ± 0.6	2.9	2.1	2.5 ± 0.4
Aprēķinātās CO ₂ neto plūsmas gadā	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	3.0	-0.9	2.2	1.5 ± 1.2	5.6	3.5	4.5 ± 1.1
IPCC (2006) standarta CO ₂ emisijas koeficients applūstošai zemei (Eggleston u.c., 2006), pieņemot, ka bezledus periods ir 306 dienas gadā (LVĢMC, 2022).	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	1.3						
IPCC (2014) standarta CO ₂ emisijas koeficients nosusinātām organiskām augsnēm (Hiraishi u.c., 2013).	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	Sekli drenēts: 3,6 (95% CI: 1,8...5,4) Dziļi drenēta: 6,1 (95% CI: 5,0...7,3)				Iztukšots: 7,9 (95% CI: 6,5...9,4)		
IPCC (2014) standarta CO ₂ emisijas faktors pārmitrinātām organiskām augsnēm (Hiraishi u.c., 2013).	t CO ₂ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	0,50 (95% CI: -0,71...1,71)						
Aprēķinātās CH ₄ gada plūsmas	kg CH ₄ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	4.6	5.6	3.7	4.6 ± 0.6	3.7	2.8	3.2 ± 0.4
IPCC (2006) noklusējuma CH ₄ emisijas faktors applūstošai zemei (Eggleston u.c., 2006), pieņemot, ka bezledus periods ir 306 dienas gadā (LVĢMC, 2022).	kg CH ₄ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	14.1						
IPCC (2014) standarta CH ₄ emisijas koeficients nosusinātām organiskām augsnēm (Hiraishi u.c., 2013).	kg CH ₄ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	Sekli drenēts: 29,3 (95% CI: -2,2...60,8) Dziļi drenēta: 12 (95% CI: 1,8...21,8)				Iztukšots: 0 (95% CI: -2,1...2,1)		
IPCC (2014) noklusējuma CH ₄ emisijas faktors pārmitrinātām organiskām augsnēm (Hiraishi u.c., 2013).	kg CH ₄ -C ha ⁻¹ gads ⁻¹	216 (95% CI: 0...856)						
Aprēķinātie gada N ₂ O plūsmas rādītāji	kg N ₂ O-N ha ⁻¹ gads ⁻¹	-0.2	0.3	-1.6	-0.5 ± 0.6	0.8	4.0	2.4 ± 1.6
IPCC (2014) N ₂ O emisijas faktors nosusinātām organiskām augsnēm (Hiraishi u.c., 2013).	kg N ₂ O-N ha ⁻¹ gads ⁻¹	Sekli drenēts: 1,6 (95% CI: 0,56 - 2,7) Dziļi drenēts: 8,2 (95% CI: 4,9 - 11)				Drenēts: 13 (95% CI: 8,2 - 18)		
IPCC (2014) noklusējuma N ₂ O emisijas faktors pārmitrinātām organiskām augsnēm (Hiraishi u.c., 2013).	kg N ₂ O-N ha ⁻¹ gads ⁻¹	Nenozīmīgs						

Diskusija

Palienes var uzskatīt par vienu no vērtīgākajām ekosistēmām, ņemot vērā to spēju sniegt specifiskus ekosistēmu pakalpojumus (Petsch u.c., 2023), tomēr palieņu spēja sniegt ekosistēmu pakalpojumus ir ļoti atkarīga no antropogēnās ietekmes (Jakubinsky u.c., 2024). Zināšanas par SEG plūsmu lielumu, ieskaitot

plūdu un sausuma apstākļu ietekmi uz biogeoķīmisko apriti upju palienēs, joprojām nav pilnīgas (Petsch u.c., 2023). Šajā pētījumā uzmanība tika pievērsta SEG emisijām no aluviālajām augsnēm upju palieņu lauksaimniecības zemēs (zālāji, aramzeme) Latvijā (Eiropas hemiboreālais reģions).

Augsnes īpašības

Pētītās aluviālās augsnes gan pļavu, gan aramzemju vietās Abavas senlejā Latvijā neatbilda IPCC (Eggleston u.c., 2006) dotajai organiskās augsnes definīcijai. Pētījuma vietās vidējais C_{org.} saturs augsnes virskārtā (0-20 cm slānis) svārstījās no $12,4 \pm 3,2$ līdz $58,1 \pm 1,9$ g kg⁻¹, bet vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī bija $40,6 \pm 6,3$ g kg⁻¹ pļavu vietās un $12,6 \pm 1,5$ g kg⁻¹ aramzemēs. Pētītajās zālāju vietās vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī bija augstāks nekā iepriekš Bardule u.c. (2017) minētie vidējie rādītāji minerālaugsnēm zālāju augsnēs Latvijā ($25,1 \pm 5,3$ g kg⁻¹). Nesen Petaja u.c. (2024) ziņoja, ka vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī minerālaugsnēs Latvijas pļavu pļavās starp dažādiem augsnes tiptiem svārstās no 7,2 līdz 46,0 g kg⁻¹, taču pētījumā netika iekļauti *fluvizoli*. Vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī, kas aprēķināts mūsu zālāju vietās, atbilda vidējam C_{org.} saturam 0-20 cm augsnes slānī, kas aprēķināts zālāju punktos visā Eiropā ($40,2$ g kg⁻¹) saskaņā ar Zemes lietojuma un apvidus platību karkasa pētījuma (LUCAS) 2018. gada ziņojumu par augsnes moduli (European Commission. Joint Research Centre., 2022), tomēr LUCAS ietvēra gan minerālaugsnēs, gan organiskās augsnes.

Pētītajās aramzemēs vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī bija zemāks nekā iepriekš veiktie vidējie aprēķini minerālaugsnēm Latvijas aramzemēs. Bardule un citi [40] ziņoja, ka vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī minerālaugsnēs aramzemēs Latvijā ir $21,2 \pm 3,0$ g kg⁻¹, savukārt nesen Petaja u.c. (2024) ziņoja, ka vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī minerālaugsnēs aramzemēs Latvijā starp dažādiem augsnes tiptiem svārstās no $11,8 \pm 2,6$ g kg⁻¹ *Arenosolos* līdz $19,9 \pm 8,7$ g kg⁻¹ *Glejaugsnēs*. Saskaņā ar LUCAS 2018. gada augsnes moduļa ziņojumu (European Commission. Joint Research Centre., 2022) vidējais C_{org.} saturs 0-20 cm augsnes slānī aramzemes punktos visā Eiropā bija vidēji $18,3$ g kg⁻¹ (iekļautas gan minerālaugsnēs, gan organiskās augsnes, tāpēc nav tieši salīdzināms ar mūsu pētījuma vietām).

Smalkajām augsnes minerāldaļiņām ir svarīga loma organisko vielu saistīšanā un to noturības palielināšanā, jo organiskās vielas sorbējas pie minerālvielu reaģētspējīgās virsmas un iesūcas agregātos (Schweizer u.c., 2021). Šīs mijiedarbības starp augsnes organiskajām vielām un augsnes smalkajām daļiņām samazina augsnes uzņēmību pret mineralizāciju un tālāku sadalīšanās produktu izdalīšanos atmosfērā vai izskalošanās ceļā (Schweizer u.c., 2021). Mūsu rezultāti

apstiprina smalkās (māla) daļiņu svarīgo lomu C_{org.} un barības vielu uzglabāšanā augsnē, domājams, pozitīvas korelācijas starp māla daļiņu saturu un C_{org.} un barības vielu saturu. Tomēr māla daļiņu īpatsvara ietekme uz SEG plūsmu lielumu, tostarp R_{het}, netika novērota, savukārt augsnes blīvums tika identificēts kā spēcīgs CO₂ (negatīva korelācija) un CH₄ (pozitīva korelācija) plūsmu lieluma regulators.

Augsnes C/N attiecība pētītajās vietās pārsvarā bija < 12 (robežās no 8,2 līdz 12,1), kas liecina, ka kopumā notiek strauja N mineralizācija un izdalīšanās, kas ir pieejams augu uzņemšanai (Brust, 2019). Tādējādi pētītās aluviālās augsnes var uzskatīt par barības vielām bagātām.

Augsnes siltumnīcefekta gāzu plūsmas

Aprēķinātās vidējās gada neto CO₂ plūsmas gan zālajos (1,5 ± 1,2 t CO₂-C ha⁻¹), gan aramzēmēs (4,5 ± 1,1 t CO₂-C ha⁻¹) bija lielākas nekā IPCC CO₂ emisijas faktori, kas paredzēti applūstošajām zemēm (1.3 t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹) un pārmitrinātām organiskām augsnēm (0,5 t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹) mērenā klimata reģionā [8,37], kā arī aplēstas applūstošām organiskām augsnēm Latvijā (0,55 ± 0,05 t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹ Bārdule u.c., 2023). Tomēr aplēstās vidējās gada neto CO₂ plūsmas bija ievērojami zemākas nekā IPCC CO₂ emisijas faktori, kas noteikti nosusinātām organiskām augsnēm, un gada neto CO₂ plūsmas, kas nesen aplēstas nosusinātām organiskām augsnēm Latvijas zālajos 3,48 ± 0,33 t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹ saskaņā ar Purviņa u.c. (2024) datiem, bet līdzīgi kā Licite & Lupikis (2020) dati (4,8 ± 0,3 t CO₂-C ha⁻¹ gads⁻¹) nosusinātām organiskām augsnēm aramzēmēs (4,8 ± 0,3 t CO₂). Tomēr neto CO₂ plūsmas no šajā pētījumā aplūkotajām apsaimniekotajām aluviālajām augsnēm nebija nenozīmīgas. Tāpēc jāapsver apsaimniekoto aluviālo augšņu iekļaušana valsts SEG inventarizācijā. Turklāt ilgstoši plūdi un augsnes applūšanas un izžūšanas apstākļi spēcīgu nokrišņu rezultātā (kas tiek prognozēti vairākos klimata pārmaiņu scenārijos) var papildus palielināt SEG emisijas (Guo u.c., 2023).

Kopumā bija vērojamas ievērojamas sezonālas CO₂ plūsmas lieluma svārstības (gan R_{eco}, gan R_{het}), ko lielā mērā nosaka gaisa un pēc tam augsnes temperatūra, kas savukārt kopā ar augsnes mitrumu tieši vai netieši ietekmē veģetācijas augšanu un mikrobioloģisko aktivitāti augsnē (Walkiewicz u.c., 2024). Minētās sakarības, kas raksturīgas dažādām ekosistēmām, tika novērotas arī šajā pētījumā. Turklāt mēs konstatējām nozīmīgu negatīvu mērenu korelāciju starp CO₂ plūsmām un augsnes blīvumu. Lielāks augsnes tilpuma blīvums var samazināt gāzu difūziju un O₂ pieejamību, tādējādi ietekmējot augsnes mikrobioloģisko aktivitāti. Tas var izskaidrot negatīvo saistību ar CO₂ plūsmām. Augsnes CO₂ plūsmām bija nozīmīga pozitīva korelācija ar C_{org.}, N_{tot.}, kā arī

barības vielu (P, K, Ca un Mg) saturu augsnē. Dabiskais slāpekļa un oglekļa saturs augsnē, kā arī barības vielu pieejamība ir ļoti svarīga mikrobu un augu elpošanas procesiem (Oertel u.c., 2016). Tādējādi konstatētās sakarības bija sagaidāmas un apstiprina augsnes ķīmisko īpašību nozīmi augsnes CO₂ emisijām.

Aprēķinātās vidējās gada CH₄ plūsmas gan zālajos ($4,6 \pm 0,6$ kg CH₄-C ha⁻¹), gan aramzemēs ($3,2 \pm 0,4$ kg CH₄-C ha⁻¹) bija zemākas par abiem IPCC CH₄ emisijas koeficientiem, kas paredzēti applūstošām zemēm ($14,1$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹), pārmitrinātām organiskām augsnēm (216 kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹) un nosusinātām organiskām augsnēm pļavās (12 kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹ dziļi nosusinātām un $29,3$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹ sekli nosusinātām) mērenā klimata reģionā (Eggleston u.c., 2006; Hiraishi u.c., 2013). Saskaņā ar IPCC vadlīnijām CH₄ emisijas no nosusinātām organiskām augsnēm aramzemē ir nenozīmīgas (Hiraishi u.c., 2013), savukārt mūsu rezultāti liecina, ka gada CH₄ plūsmas no aluviālajām augsnēm aramzemē ir tikai nelielas mazākas nekā zālajos (Tab. 33). Arī aprēķinātās vidējās gada CH₄ plūsmas gan zālāju, gan aramzemju vietās bija zemākas nekā Latvijā iepriekš aprēķinātās vidējās gada CH₄ plūsmas applūstošajās organiskajās augsnēs ($251,1 \pm 77,2$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹ Bārdule u.c., 2023), bet lielākas nekā nesen Latvijā aprēķinātās nosusinātām organiskām augsnēm zālāju platībās (no $-3,26 \pm 1,33$ līdz $0,96 \pm 0,10$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā⁻¹ atkarībā no organiskā augsnes slāņa biezuma Purviņa u.c., 2024).

Pretēji CO₂ plūsmām tika konstatēta nozīmīga pozitīva mērena korelācija starp CH₄ plūsmām un augsnes blīvumu. Lielāks augsnes tilpuma blīvums var samazināt augsnes porainību, gāzes difūziju un tādējādi ierobežot O₂ pieejamību metanotrofiem, vienlaikus radot labvēlīgus apstākļus CH₄ ražošanai metanogēnos (Dutaur & Verchot, 2007; Walkiewicz u.c., 2024). Turklāt mēs konstatējām nozīmīgu negatīvu mērenu korelāciju starp CH₄ plūsmām un N_{tot} saturu augsnes virskārtā. Kopumā slāpekļis kā barības viela mikrobiem ir svarīgs CH₄ emisijas modulators (Bodelier & Steenbergh, 2014), un NH₄⁺ konkrēti tiek uzskatīts par spēcīgu metanotrofās aktivitātes kontrolieri, un augsta NH₄⁺ pieejamība parasti samazina CH₄ uzņemšanu augsnē, tomēr ir ziņots arī par pretējām sakarībām (Licite & Lupikis, 2020).

Aprēķinātās vidējās gada N₂O plūsmas gan zālajos ($-0,5 \pm 0,6$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹), gan aramzemēs ($2,4 \pm 1,6$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹) bija zemākas nekā IPCC N₂O emisijas faktori, kas paredzēti nosusinātām organiskām augsnēm zālajos ($8,2$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹ dziļi nosusinātām un $1,6$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹ sekli nosusinātām augsnēm) un aramzemē (13 kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹) mērenā klimata reģionā (Hiraishi u.c., 2013), kā arī zemāki nekā nesen aprēķinātie N₂O-N ha gadā⁻¹) nosusinātām organiskām augsnēm Latvijā ($2,39 \pm 0,70$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā⁻¹, Purviņa u.c., 2024). Saskaņā ar IPCC vadlīnijām N₂O emisijas no

pārmitrinātām organiskajām augsnēm pļavās un aramzemēs ir nenozīmīgas (Hiraishi u.c., 2013). Par nenozīmīgām N₂O gada emisijām no applūstošām organiskajām augsnēm Latvijā ziņoja arī Bārdule un citi (Purviņa u.c., 2024). Tas atbilst mūsu novērojumiem zālājos.

Iepriekšējos pētījumos ir uzsvērts, ka augsnes C/N attiecība var būt svarīgāka par visām pārējām vides ietekmēm, kas ietekmē gada N₂O plūsmas (Yao u.c., 2022; Oertel u.c., 2016). Piemēram, Klemetsson u.c. (2005) konstatēja spēcīgu negatīvu sakarību starp augsnes C/N attiecību un N₂O plūsmām no histosoliem mērenā klimata joslas mežos, bet Yao u.c. (2022) ziņoja, ka gada N₂O plūsmu sakarība ar augsnes C/N attiecību atbilst optimālai Gausa liknei ar sliekšni pie C/N attiecības aptuveni 18-19 (Yao u.c., 2022), bet Gundersen u.c. (2012) uzsvēra, ka N₂O emisijas ir vislielākās pie C/N vērtības 11 (optimāla dezintegrācija un humusa veidošanās). Mūsu pētījumā augsnes C/N attiecības ietekme uz SEG, tostarp N₂O, plūsmu lielumu netika novērota. To var izskaidrot ar augsnes C/N attiecības svārstībām salīdzinoši šaurā diapazonā. Tā vietā tika konstatēta negatīva mērena korelācija starp N₂O emisiju lielumu un veģetācijas biomasu. To var izskaidrot ar ierobežoto veģetācijas pieejamību uzņemt visas pieejamās N saturošās barības vielas, tādējādi palielinot neorganiskā N substrāta pieejamību mikrobu darbībai un novērtējot N₂O veidošanos no nitrifikācijas un denitrifikācijas, kas ir galvenie N₂O veidošanās procesi (Shcherbak u.c., 2014). Turklāt vislielākās tūlītējās N₂O emisijas tika konstatētas Lazdīnos pētījuma vietā (aramzeme) neilgi pēc minerālmēsli, kas satur N, lietošanas. Kopumā dažādās lauksaimniecības zemēs jau iepriekš ziņots gan par lineāru, gan nelineāru N₂O emisiju palielināšanos, palielinoties N ievadei (Kim u.c., 2013; Koga u.c., 2004; Lebender u.c., 2014; Shcherbak u.c., 2014).

Tādējādi visas aluviālās augsnes bija SEG emisiju avoti; izņēmums ir zālāju vietas, kur N₂O apmaiņa bija nenozīmīga. Vidējās kopējās SEG emisijas bija $5,5 \pm 4,2$ t CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā⁻¹ pļavu platībās un $17,8 \pm 3,2$ t CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā⁻¹ aramzemes platībās. Aprēķināto kopējo SEG emisiju, jo īpaši CO₂ emisiju, apjomu nevar uzskatīt par nenozīmīgu, un būtu jāapspriež un jāapsver apsaimniekoto aluviālo augšņu iekļaušana valsts SEG inventarizācijā.

Secinājumi

Lai gan aluviālās augsnes var uzkrāt ievērojamu organiskā oglekļa daudzumu, pētītās augsnes gan pļavu, gan aramzemes vietās Abavas upes ielejā Latvijā neatbilst IPCC sniegtajai organiskās augsnes definīcijai, un SEG emisijas no šīm augsnēm nav iekļautas valsts SEG inventarizācijā. Tomēr visas pētītās aluviālās augsnes bija CO₂ emisiju avots (vidējās gada neto CO₂ emisijas $1,5 \pm 1,2$ t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹ pļavu platībās un $4,5 \pm 1,1$ t CO₂-C ha⁻¹ gadā⁻¹ aramzemes platībās).

Turklāt aplēstās ikgadējās neto CO₂ emisijas veidoja lielāko daļu no kopējām SEG emisijām un bija salīdzināmas ar SEG emisijām no nosusinātām organiskajām augsnēm (īpaši aramzemē), par kurām iepriekš ziņots Eiropas hemiboreālā reģionā (Licite & Lupikis, 2020). CO₂ plūsmas atspoguļoja izteiktas sezonālās svārstības, ko noteica temperatūra (īpaši augsnes temperatūra) un papildus ietekmēja augsnes mitrums un veģetācijas attīstība. No pārbaudītajiem augsnes fizikāli ķīmiskajiem mainīgajiem lielumiem CO₂ plūsmas lielums bija ciešāk saistīts ar augsnes blīvumu (negatīva korelācija) un C_{org.} un N_{tot.} krājumiem, kā arī citu barības vielu (P, K, Ca, Mg) saturu augsnes virskārtā (pozitīva korelācija). Pētītās aluviālās augsnes gan zālāju, gan aramzemju vietās bija arī neliels CH₄ un N₂O emisiju avots, izņemot zālāju vietas, kur N₂O apmaiņa bija nenožīmīga. No pētītajiem augsnes mainīgajiem lielumiem spēcīgākais CH₄ emisiju regulators bija augsnes blīvums (pozitīva korelācija) un N_{tot.} saturs augsnes virskārtā (negatīva korelācija). Turpretī pētīto augsnes mainīgo ietekme uz N₂O plūsmas lielumu netika novērota, savukārt veģetācijas biomasa tika identificēta kā ietekmējošs faktors (negatīva korelācija).

Izmantotā literatūra

1. Bārdule, A., Butlers, A., Spalva, G., Ivanovs, J., Meļņiks, R. N., Līcīte, I., & Lazdiņš, A. (2023). The Surface-to-Atmosphere GHG Fluxes in Rewetted and Permanently Flooded Former Peat Extraction Areas Compared to Pristine Peatland in Hemiboreal Latvia. *Water*, 15(10), 1954. <https://doi.org/10.3390/w15101954>
2. Bardule, A., Lupikis, A., Butlers, A., & Lazdins, A. (2017). Organic carbon stock in different types of mineral soils in cropland and grassland in Latvia. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1), 3–8. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.001>
3. Baril, X., Durand, A.-A., Srei, N., Lamothe, S., Provost, C., Martineau, C., Dunfield, K., & Constant, P. (2022). The biological sink of atmospheric H₂ is more sensitive to spatial variation of microbial diversity than N₂O and CO₂ emissions in a winter cover crop field trial. *Science of The Total Environment*, 821, 153420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153420>
4. Basheer, S., Wang, X., Farooque, A. A., Nawaz, R. A., Pang, T., & Neokye, E. O. (2024). A Review of Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Soil. *Sustainability*, 16(11), 4789. <https://doi.org/10.3390/su16114789>
5. Bastin, J.-F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M., & Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76–79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
6. Behnke, G. D., & Villamil, M. B. (2019). Cover crop rotations affect greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. *Field Crops Research*, 241, 107580. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107580>
7. Binkley, D. (1983). Ecosystem production in Douglas-fir plantations: Interaction of red alder and site fertility. *Forest Ecology and Management*, 5(3), 215–227. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(83\)90073-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(83)90073-7)
8. Bodelier, P. L., & Steenbergh, A. K. (2014). Interactions between methane and the nitrogen cycle in light of climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9–10, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.004>
9. Boettinger, J. L. (2005). Alluvium and alluvial soils. No *Encyclopedia of Soils in the Environment* (lpp. 45–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00008-4>
10. Boschiero, M., De Laurentiis, V., Caldeira, C., & Sala, S. (2023). Comparison of organic and conventional cropping systems: A systematic review of life cycle assessment studies. *Environmental Impact Assessment Review*, 102, 107187. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107187>
11. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2014). *Elements of the Nature and Properties of Soils* (3. ed., Pearson New Internat. Edition). Pearson.
12. Brust, G. E. (2019). Management Strategies for Organic Vegetable Fertility. No *Safety and Practice for Organic Food* (lpp. 193–212). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812060-6.00009-X>
13. Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>
14. Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang,

- A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
 15. Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., & Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011>
 16. Cardinael, R., Guenet, B., Chevallier, T., Dupraz, C., Cozzi, T., & Chenu, C. (2017). *High organic inputs explain shallow and deep SOC storage in a long-term agroforestry system – Combining experimental and modeling approaches* [Preprint]. Biogeochemistry: Soils. <https://doi.org/10.5194/bg-2017-125>
 17. Cassell, A. (2016). Using R for Statistics: A Beginner's Manual. No L. Atanelov (Red.), *Resident's Handbook of Medical Quality and Safety* (lpp. 361–387). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24190-6_34
 18. Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>
 19. Chen, P. Y., & Popovich, P. M. (2002). *Correlation: Parametric and Nonparametric Measures* (First Edition). SAGE Publications, Inc.
 20. Coffman, D. L., Maydeu-Olivares, A., & Arnau, J. (2008). Asymptotic Distribution Free Interval Estimation. *Methodology*, 4(1), 4–9. <https://doi.org/10.1027/1614-2241.4.1.4>
 21. Conrad, R. (2020). Methane Production in Soil Environments—Anaerobic Biogeochemistry and Microbial Life between Flooding and Desiccation. *Microorganisms*, 8(6), 881. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060881>
 22. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora, CONSIL, 206 OJ L (1992). <http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj/eng>
 23. Čuhel, J., Šimek, 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. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(6), 1870–1878. <https://doi.org/10.1128/AEM.02484-09>
 24. Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P.-A., & Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, 185, 357–373. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.013>
 25. De Notaris, C., Mortensen, E. Ø., Sørensen, P., Olesen, J. E., & Rasmussen, J. (2021). Cover crop mixtures including legumes can self-regulate to optimize N₂ fixation while reducing nitrate leaching. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 309, 107287. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107287>
 26. Doelman, J. C., Stehfest, E., Vuuren, D. P. van, Tabeau, A., Hof, A. F., Braakhekke, M. C., Gernaat, D. E. H. J., Berg, M. van den, Zeist, W.-J. van, Daioglou, V., Meijl, H. van, & Lucas, P. L. (2020). Afforestation for climate change mitigation: Potentials, risks and trade-offs. *Global Change Biology*, 26(3), 1576–1591. <https://doi.org/10.1111/gcb.14887>
 27. Donath, T. W., Schmiede, R., & Otte, A. (2015). Alluvial grasslands along the northern upper Rhine – nature conservation value vs. Agricultural value under non-intensive management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.004>
 28. Dutaur, L., & Verchot, L. V. (2007). A global inventory of the soil CH₄ sink. *Global*
-

- Biogeochemical Cycles*, 21(4), 2006GB002734. <https://doi.org/10.1029/2006GB002734>
29. Edenhofer, O. (Red.). (2014). *Climate change 2014: Mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
30. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Kiyoto, T. (Red.). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. No 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Sēj. 4, lpp. 678). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
31. European Commission. Joint Research Centre. (2022). *LUCAS 2018 soil module: Presentation of dataset and results*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/215013>
32. Ferdush, J., Paul, V., Varco, J., Jones, K., & Sasidharan, S. M. (2023). Consequences of elevated CO₂ on soil acidification, cation depletion, and inorganic carbon: A column-based experimental investigation. *Soil and Tillage Research*, 234, 105839. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105839>
33. Fest, B. J., Hinko-Najera, N., Wardlaw, T., Griffith, D. W. T., Livesley, S. J., & Arndt, S. K. (2017). Soil methane oxidation in both dry and wet temperate eucalypt forests shows a near-identical relationship with soil air-filled porosity. *Biogeosciences*, 14(2), 467–479. <https://doi.org/10.5194/bg-14-467-2017>
34. Fleck, D., He, Y., Alexander, C., Jacobson, G., & Cunningham, K. L. (2013). *Simultaneous soil flux measurements of five gases—N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, and H₂O -- with the Picarro G2508* (Application note No. AN034; lpp. 11). Picarro. https://www.picarro.com/support/library/documents/simultaneous_soil_flux_measurements_of_five_gases_n2o_ch4_co2_nh3_and_0
35. Food and Agriculture Organization. (2014). *World reference base for soil resources 2014 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. FAO.
36. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended sustainable soil management*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6595en>
37. Foteinis, S., & Chatzisyseon, E. (2016). Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2462–2471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.075>
38. Freeman, B. W. J., Evans, C. D., Musarika, S., Morrison, R., Newman, T. R., Page, S. E., Wiggs, G. F. S., Bell, N. G. A., Styles, D., Wen, Y., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2022). Responsible agriculture must adapt to the wetland character of mid-latitude peatlands. *Global Change Biology*, 28(12), 3795–3811. <https://doi.org/10.1111/gcb.16152>
39. Gougoulas, C., Clark, J. M., & Shaw, L. J. (2014). The role of soil microbes in the global carbon cycle: Tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(12), 2362–2371. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6577>
40. Grantina, L., Kenigvalde, K., Eze, D., Petriņa, Z., Skrabule, I., Rostoks, N., & Nikolajeva, V. (2011). Impact of six-year-long organic cropping on soil microorganisms and crop disease suppressiveness. *Zemdirbyste-agriculture*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-six-year-long-organic-cropping-on-soil-Grantina-Kenigvalde/b067e1772af153cb1d5a5d3bd4f03d595b77c3ef>
41. 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. (2012). The response of methane and nitrous oxide fluxes to forest

- change in Europe. *Biogeosciences*, 9(10), 3999–4012. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3999-2012>
42. Guo, Y., Saiz, E., Radu, A., Sonkusale, S., & Ullah, S. (2023). Prolonged flooding followed by drying increase greenhouse gas emissions differently from soils under grassland and arable land uses. *Geoderma Regional*, 34, e00 697. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00 697>
43. Hartwig, N. L., & Hoffman, L. D. (1975). *Suppression of perennial legume and grass cover crops for no-tillage corn*.
44. Hillel, D. (2003). *Introduction to Environmental Soil Physics*.
<https://shop.elsevier.com/books/introduction-to-environmental-soil-physics/hillel/978-0-12-348655-4>
45. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Fukuda, M., Troxler, T., & Jamsranjav, B. (2013). *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands* (lpp. 354). IPCC.
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf
46. Hong, S., Yin, G., Piao, S., Dybzinski, R., Cong, N., Li, X., Wang, K., Peñuelas, J., Zeng, H., & Chen, A. (2020). Divergent responses of soil organic carbon to afforestation. *Nature Sustainability*, 3(9), 694–700. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0557-y>
47. Hop, G. E., Velthuis, A. G. J., & Frankena, K. (2011). Assessing dutch farmers' incentives to join a voluntary johnne's disease programme. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 58(1–2), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2011.03.001>
48. Yao, Z., Yan, G., Ma, L., Wang, Y., Zhang, H., Zheng, X., Wang, R., Liu, C., Wang, Y., Zhu, B., Zhou, M., Rahimi, J., & Butterbach-Bahl, K. (2022). Soil C/N ratio is the dominant control of annual N₂O fluxes from organic soils of natural and semi-natural ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 327, 109 198. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109198>
49. IUCN. (2020). *IUCN UK Peatland Programme*.
<https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/2020-04/IUCN%20UK%20PP%20Peatlands%20and%20trees%20position%20statement%202020.pdf>
50. Jakubinsky, J., Sterbova, L., Prokopova, M., Pechanec, V., Cudlin, O., Vcelakova, R., Purkyt, J., & Cudlin. (2024). Towards a precise evaluation of floodplain ecosystem services as a means of supporting environmentally favourable spatial planning and preserving biodiversity. *Book of abstracts oh the 5th ESP Europe Conference Ecosystem Services: One Planet, One Health*.
<https://www.espconference.org/europe2024/sessions-overview>
51. Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35–46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
52. Kabała, C. (2022). Origin, transformation and classification of alluvial soils (mady) in Poland – soils of the year 2022. *Soil Science Annual*, 73(3), 1–13. <https://doi.org/10.37501/soilsa/156043>
53. Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>
54. Kim, D.-G., Hernandez-Ramirez, G., & Giltrap, D. (2013). Linear and nonlinear dependency of direct nitrous oxide emissions on fertilizer nitrogen input: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 168, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.021>
55. Kim, D.-G., Kirschbaum, M. U. F., & Beedy, T. L. (2016). Carbon sequestration and net emissions of CH₄ and N₂O under agroforestry: Synthesizing available data and suggestions for future studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 226, 65–78.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.011>
56. Klemedtsson, L., Von Arnold, K., Weslien, P., & Gundersen, P. (2005). Soil CN ratio as a scalar

- parameter to predict nitrous oxide emissions. *Global Change Biology*, 11(7), 1142–1147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00973.x>
57. Koga, N., Tsuruta, H., Sawamoto, T., Nishimura, S., & Yagi, K. (2004). N₂O emission and CH₄ uptake in arable fields managed under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(4), 2004GB002 260. <https://doi.org/10.1029/2004GB002 260>
58. Kuzyakov, Y. (2006). Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 425–448. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.020>
59. Kwak, J.-H., Lim, S.-S., Baah-Acheamfour, M., Choi, W.-J., Fatemi, F., Carlyle, C. N., Bork, E. W., & Chang, S. X. (2019). Introducing trees to agricultural lands increases greenhouse gas emission during spring thaw in Canadian agroforestry systems. *Science of The Total Environment*, 652, 800–809. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.241>
60. Kögel-Knabner, P. I., Wiesmeier, D. M., Mayer, D. S., Feng, P. X., Lavelle, P. P., Doetterl, P. S., Abramoff, D. R., Cornelis, D. J.-T., Frossard, D. A., Fiener, D. P., Garland, D. G., Kaiser, D. M., Laub, D. M., Opfergelt, D. S., Broek, D. M. V. de, Broek, D. S. van den, Fromm, D. S. F. von, Henry, D. B., Chenu, D. C., ... Langlais-Hesse, D. A. (2022). *Understanding and fostering soil carbon sequestration* (D. C. Rumpel, Red.). Burleigh Dodds Science Publishing.
61. Łabaz, B., & Kabala, C. (2016). Human-induced development of mollic and umbric horizons in drained and farmed swampy alluvial soils. *CATENA*, 139, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.12.013>
62. Laganière, J., Angers, D. A., & Paré, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(1), 439–453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x>
63. Lazdins, A., Snepsts, G., Butlers, A., Purvina, D., Zvaigzne, Z. A., & Licite, I. (2021). *Evaluation of middle term Greenhouse Gas (GHG) mitigation potential of birch plantations with mineral and organic soils*. 32–37. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF005>
64. Le Mer, J., & Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology*, 37(1), 25–50. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01067-6](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01067-6)
65. Lebender, U., Senbayram, M., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2014). Impact of mineral N fertilizer application rates on N₂O emissions from arable soils under winter wheat. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 100(1), 111–120. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9630-0>
66. LEGMC. (2024, novembrī 14). *Klimata Portals*. https://klimats.meteo.lv/klimats_latvija/latvijas_klimatiskais_raksturojums/
67. Lewis, T., Verstraten, L., Hogg, B., Wehr, B. J., Swift, S., Tindale, N., Menzies, N. W., Dalal, R. C., Bryant, P., Francis, B., & Smith, T. E. (2019). Reforestation of agricultural land in the tropics: The relative contribution of soil, living biomass and debris pools to carbon sequestration. *Science of The Total Environment*, 649, 1502–1513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.351>
68. Li, Y., Chen, J., Drury, C. F., Liebig, M., Johnson, J. M. F., Wang, Z., Feng, H., & Abalos, D. (2023). The role of conservation agriculture practices in mitigating N₂O emissions: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(5), 63. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00911-x>
69. Licite, I., & Lupikis, A. (2020). Impact of land use practices on greenhouse gas emissions from agriculture land on organic soils. *Engineering for Rural Development*, 1823–1830. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF492>
70. Lin, Q., Wang, S., Li, Y., Riaz, L., Yu, F., Yang, Q., Han, S., & Ma, J. (2022). Effects and

- mechanisms of land-types conversion on greenhouse gas emissions in the Yellow River floodplain wetland. *Science of The Total Environment*, 813, 152 406.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152406>
71. Lindsay, R. (2010). *Peatbogs and carbon: A critical synthesis to inform policy development in oceanic peat bog conservation and restoration in the context of climate change*. [Technical report]. University of East London, Environmental Research Group.
http://www.rspb.org.uk/Images/Peatbogs_and_carbon_tcm9-255200.pdf
72. LVĢMC. (2022). *Klimata portāls. Atlanti. Laika apstākļu raksturojums*.
https://klimats.meteo.lv/laika_apstaklu_raksturojums/2022/oktobris/
73. LVĢMC. (2024). *Meteoroloģisko novērojumu tīkls. Stendes stacija*.
<https://videscentrs.lvlgmc.lv/noverojumu-arhivs/meteo/30111/active/4570/2024-04-01/2024-10-31>
74. Machado Dos Santos Pinto, R., Weigelhofer, G., Diaz-Pines, E., Guerreiro Brito, A., Zechmeister-Boltenstern, S., & Hein, T. (2020). River-floodplain restoration and hydrological effects on GHG emissions: Biogeochemical dynamics in the parafluvial zone. *Science of The Total Environment*, 715, 136 980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136980>
75. Maljanen, M., Hytönen, J., & Martikainen, P. J. (2001). Fluxes of N₂O, CH₄ and CO₂ on afforested boreal agricultural soils. *Plant and Soil*, 231(1), 113–121.
<https://doi.org/10.1023/A:1010372914805>
76. Maljanen, M., Shurpali, N., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Aro, L., Potila, H., Laine, J., Li, C., & Martikainen, P. (2012). Afforestation does not necessarily reduce nitrous oxide emissions from managed boreal peat soils. *Biogeochemistry*, 108(1), 199–218. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9591-1>
77. Mander, Ü., Espenberg, M., Melling, L., & Kull, A. (2023). Peatland restoration pathways to mitigate greenhouse gas emissions and retain peat carbon. *Biogeochemistry*, 167(4), 523–543. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01103-1>
78. Ministry of Climate and Energy. (2023). *Latvia`s National Inventory Report. Greenhouse Gas Emissions in Latvia from 1990 to 2021 in Common Reporting Format (CRF)* (lpp. 489). Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia.
<https://unfccc.int/documents/627724>
79. Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (Fifth edition). John Wiley and Sons, Inc.
80. Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
81. Naudts, K., Chen, Y., McGrath, M. J., Ryder, J., Valade, A., Otto, J., & Luyssaert, S. (2016). Europe's forest management did not mitigate climate warming. *Science*, 351(6273), 597–600.
<https://doi.org/10.1126/science.aad7270>
82. Nguyen, L. T. T., & Kravchenko, A. N. (2021). Effects of cover crops on soil CO₂ and N₂O emissions across topographically diverse agricultural landscapes in corn-soybean-wheat organic transition. *European Journal of Agronomy*, 122, 126 189.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126189>
83. Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*, 76(3), 327–352.
<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
84. Padarian, J., Minasny, B., McBratney, A., & Smith, P. (2022). Soil carbon sequestration potential in global croplands. *PeerJ*, 10, e13 740. <https://doi.org/10.7717/peerj.13740>
85. Palosuo, T., Heikkinen, J., & Regina, K. (2015). Method for estimating soil carbon stock changes in Finnish mineral cropland and grassland soils. *Carbon Management*, 6(5–6), 207–220.

- <https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1131383>
86. Petaja, G., Ivbule, I., Zvaigzne, Z. A., Purviņa, D., Upenieks, E. M., Licīte, I., & Lazdiņš, A. (2024). Organic Carbon Stock in Mineral Soils in Cropland and Grassland in Latvia. *Environments*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/environments11040073>
87. Petaja, G., Okmanis, M., Polmanis, K., Stola, J., Spalva, G., & Jansons, J. (2018). Evaluation of greenhouse gas emissions and area of organic soils in cropland and grassland in Latvia – integrated National forest inventory data and soil maps approach. *Agronomy Research*, 16(4), 1809–1823. <https://doi.org/10.15159/ar.18.183>
88. Petsch, D. K., Cionek, V. D. M., Thomaz, S. M., & Dos Santos, N. C. L. (2023). Ecosystem services provided by river-floodplain ecosystems. *Hydrobiologia*, 850(12–13), 2563–2584. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04916-7>
89. Poff, N. L., & Zimmerman, J. K. H. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55(1), 194–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>
90. Priede, A., & Gancone, A. (Red.). (2019). *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas*. Baltijas Krasti.
91. Purviņa, D., Zvaigzne, Z. A., Skranda, I., Meļņiks, R. N., Petaja, G., Licīte, I., Butlers, A., & Bārdule, A. (2024). Impact of Soil Organic Layer Thickness on Soil-to-Atmosphere GHG Fluxes in Grassland in Latvia. *Agriculture*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030387>
92. R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
93. Rancane, S., Lazdins, A., Zusevica, A., Zute, S., Jansone, I., Damskalne, M., Zarina, L., Korolova, J., & Maliarenko, O. (2023). Carbon and nitrogen uptake in above- and below-ground biomass of cereal crops in the integrated farming system [PDF]. *Agronomy Research*, 21(X), 15. <https://doi.org/10.15159/AR.23.025>
94. Rancāne, S., Licīte, I., Zuševica, A., Zute, S., Jansone, I., Damskalne, M., Zariņa, L., Koroļova, J., Putniece, G., & Prysiashniuk, L. (2023). Biomass of alternative species for traditional cereal crops in Latvia and their potential impact on the carbon cycle. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110(3), 195–206. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.023>
95. Regina, K., Budiman, A., Greve, M. H., Grønlund, A., Kasimir, Å., Lehtonen, H., Petersen, S. O., Smith, P., & Wösten, H. (2016). GHG mitigation of agricultural peatlands requires coherent policies. *Climate Policy*, 16(4), 522–541. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1022854>
96. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on Nature Restoration and Amending Regulation (EU) 2022/869 (Text with EEA Relevance) (2024). <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj/eng>
97. Reynolds, B. (2007). Implications of changing from grazed or semi-natural vegetation to forestry for carbon stores and fluxes in upland organo-mineral soils in the UK. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), 61–76. <https://doi.org/10.5194/hess-11-61-2007>
98. Rhymes, J. M., Arnott, D., Chadwick, D. R., Evans, C. D., & Jones, D. L. (2023). Assessing the effectiveness, practicality and cost effectiveness of mitigation measures to reduce greenhouse gas emissions from intensively cultivated peatlands. *Land Use Policy*, 134, 106886. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106886>
99. Rydin, H., & Jeglum, J. K. (2013). *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199602995.001.0001>
100. Rytter. (1995). The potential of grey alder plantation forestry. *Joint Swedish - Estonian Seminar on Energy Forestry and Vegetation Filters*.
-

- https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/045/29_045_794.pdf#page=82
101. Schäfer, A., & Joosten, H. (2005). *Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren*. Universität Greifswald. <https://docplayer.org/214201533-Erlenaufforstung-auf-wiedervernaessten-niedermooren-alnus-leitfaden.html>
 102. Schweizer, S. A., Mueller, C. W., Höschen, C., Ivanov, P., & Kögel-Knabner, I. (2021). The role of clay content and mineral surface area for soil organic carbon storage in an arable toposequence. *Biogeochemistry*, 156(3), 401–420. <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00850-3>
 103. Shcherbak, I., Millar, N., & Robertson, G. P. (2014). Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(25), 9199–9204. <https://doi.org/10.1073/pnas.1322434111>
 104. Syväsalö, E., Regina, K., Turtola, E., Lemola, R., & Esala, M. (2006). Fluxes of nitrous oxide and methane, and nitrogen leaching from organically and conventionally cultivated sandy soil in western Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1–4), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.013>
 105. Šeffer, J., Janák, M., & Šefferová, V. (2008). *MANAGEMENT of Natura 2000 habitats Alluvial meadows of river valleys of the Cnidion dubii 6440*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19172.60802>
 106. Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1), 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
 107. Thorp, J. (1968). Alluvium. No *Geomorphology* (lpp. 10–11). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_7
 108. Vanguelova, E., Chapman, S., Perks, M., Yamulki, S., Randle, T., Ashwood, F., & Morison, J. (2018). *Afforestation and restocking on peaty soils – new evidence assessment*. <https://www.climatechange.org.uk/media/3137/afforestation-and-restocking-on-peaty-soils.pdf>
 109. Vanguelova, E. I., Crow, P., Benham, S., Pitman, R., Forster, J., Eaton, E. L., & Morison, J. I. L. (2019). Impact of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) afforestation on the carbon stocks of peaty gley soils – a chronosequence study in the north of England. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(3), 242–252. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz013>
 110. Veldman, J. W., Aleman, J. C., Alvarado, S. T., Anderson, T. M., Archibald, S., Bond, W. J., Boutton, T. W., Buchmann, N., Buisson, E., Canadell, J. G., Dechoum, M. D. S., Diaz-Toribio, M. H., Durigan, G., Ewel, J. J., Fernandes, G. W., Fidelis, A., Fleischman, F., Good, S. P., Griffith, D. M., ... Zaloumis, N. P. (2019). Comment on “The global tree restoration potential”. *Science*, 366(6463), eaay7976. <https://doi.org/10.1126/science.aay7976>
 111. Walkiewicz, A., Bulak, P., Khalil, M. I., & Osborne, B. (2024). Assessment of soil CO₂, CH₄, and N₂O fluxes and their drivers, and their contribution to the climate change mitigation potential of forest soils in the Lublin region of Poland. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01739-0>
 112. Wichtmann, W., Schröder, C., & Joosten, H. (Red.). (2016). *Paludiculture - productive use of wet peatlands: Climate protection - biodiversity - regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers.
 113. Zerbe, S. (2023). *Restoration of Ecosystems – Bridging Nature and Humans: A Transdisciplinary Approach* (1st ed. 2023 edition). Springer Spektrum.
 114. Zhao, Y., Liu, Y., Cao, S., Hao, Q., Liu, C., & Li, Y. (2024). Anaerobic oxidation of methane driven by different electron acceptors: A review. *Science of The Total Environment*, 946, 174287. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174287>