

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 2022. GADA DARBA UZDEVUMU IZPILDI

IZPILDES LAIKS:

01.03.2023-15.11.2023

IZPILDĪTĀJS:

LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"

LĪGUMA NR.

23-00-S0INZ03-000 003

PROJEKTA VADĪTĀJA:

I. Līcīte

Kopsavilkums

Pētījuma mērķis ir pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmu 2021.-2030. gada SEG emisiju mazināšanas saistību kontekstā, kā arī pilnveidot metodes SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķiniem zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektorā, 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 uzsākta zinātniskas publikācijas sagatavošana par 2022. un 2023. 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.

Pētījuma divu gadu rezultāti parāda, ka aluviālās augsnes ir nozīmīgs CO₂ emisiju avots un zemes izmantošanas veids būtiski neietekmē emisijas. Ciešākā korelācija ar CO₂ emisijām konstatēta gaisa temperatūrai. Sakarības uzlabošanai mērījumi jāturpina ziemas un pavasara mēnešos. Aluviālās augsnes ir neliels metāna emisiju avots un aramzemēs aluviālajās augsnēs veidojas nozīmīgs dislāpekļa oksīda emisiju daudzums, lai arī aprēķinu nenoteiktība ir liela un tās mazināšanai ir jāpalielina mērījumu skaits, it īpaši pavasara mēnešos.

Vērtējot augsnes sagatavošanas paņēmieni ietekmi, konstatēts, ka tiešās sējas izmēģinājumu lauciņos ir mazākas emisijas nekā minimālas augsnes apstrādes laukos, taču nav būtiskas atšķirības starp arto un tiešās sējas lauku.

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
SEG emisijas no minerālaugsnes.....	10
Materiāli un metodes.....	14
Pētījuma objekta raksturojums.....	14
Meteoroloģisko apstākļu raksturojums.....	23
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
Lauksaimnieciskās darbības veida, augsnes un sarkanā āboliņa iekļaušanas augu sekā ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	33
Sarkanā āboliņa iekļaušanas augu sekā ietekme uz SEG emisijām.....	35
Secinājumi.....	38
Oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmu analīze.....	40
Aktuālie Eiropas komisijas priekšlikumi ilgtspējīgu oglekļa ciklu iniciatīvas ieviešanai.....	41
ES oglekļa piesaistes sertifikācijas normaīvā ietvara izveide.....	41
ES oglekļsaistīgas lauksaimniecības iniciatīvas virzība.....	48
Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi un oglekļsaistīga lauksaimniecība.....	48
Secinājumi.....	52
Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂, N₂O un CH₄ emisijas no aluviālajām augsnēm.....	53
Pētījuma metodika.....	53
Abavas ielejas palieņu pļavu raksturojums.....	53
Aramzemes palieņu augsnē un dažādi augsnes apstrādes paņēmieni.....	60
Meteoroloģisko datu raksturojums 2023. gadā.....	65
SEG emisiju mērījumu rezultāti.....	68
Oglekļa ienese augsnē ar kūtsmēsliem.....	80
Empīriski dati par CO₂ emisijām no augsnes, pielietojot trīs augsnes apstrādes paņēmienus.....	87
Izmantotā literatūra.....	92

Ievads

Saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes regulu (ES) 2023/839 (spēkā no 2023. gada 19. aprīļa), kurā noteikti dalībvalstu 2030. gada mērķrādītāji un kas groza Regulu (ES) 2018/841 attiecībā uz monitoringa, ziņošanas, progresu apsekošanas un izskatīšanas uzlabošanu un Regulu (ES) 2018/1999, 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.

Eiropas Savienības iekšējo kārtību ziņojumu sagatavošanai par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas kārtību šobrīd nosaka 2013. gada 21. maija Eiropas Parlamenta un Padomes lēmums Nr. 529/2013 (turpmāk – EP un EK regula 529/2013). Šajā lēmumā noteikta ziņojumos iesniedzamās informācijas struktūra, formāts, iesniegšanas un izskatīšanas procedūras.

Saskaņā ar Līgumslēdzēju pušu lēmumu Nr. 2/CMP.7 un regulu Nr. 529/2013 ikgadējie ziņojumi jāsatavo atbilstoši 2006. gada Labas prakses vadlīnijām Nacionālajai siltumnīcefekta gāzu inventarizācijai (IPCC 2006) un 2013. gada pārstrādātajiem papildus metodiskajiem norādījumiem un labas prakses vadlīnijām, kas izriet no Kioto protokola prasībām (IPCC 2014). Kopš 2022. gada pieejams IPCC 2006 gada papildinājums (IPCC 2019), kurā ieviesti grozījumi, kas skar arī ZIZIMM sektoru, tajā skaitā noteikta nepieciešamība veikt SEG emisiju uzskaiti no meliorācijas grāvjiem minerālaugsnēs (līdz šim šāda prasība bija tikai organiskajām augsnēm) un appludinātām platībām.

SEG emisiju prognožu dati ZIZIMM sektorā iekļaujami “Divgadu ziņojumā un nacionālajā ziņojumā”, kas sagatavojams atbilstoši EK Regulu 2020/1208; Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu; “Ziņojumā par politiku un pasākumiem”, kas sagatavojams saskaņā ar Eiropas Komisijas un Parlamenta Regulu 2018/1999 un regulas 529/2013 10. pantu, kā arī citos ziņojumos, kas izriet no prasībām nacionālā SEG inventarizācijas ziņojuma sagatavošanai un dažādos ziņojumos iesniedzamo datu integritātes nodrošināšanai.

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.

Pētnieciskie uzdevumi saskaņā ar Ministru kabineta noteikumu Nr. 232 "Grozījumi Ministru kabineta 2015. gada 3. februāra noteikumos Nr. 59 "Valsts un Eiropas Savienības atbalsta piešķiršanas kārtība investīciju veicināšanai lauksaimniecībā"" 7. pielikumu:

1. raksturot pasējas auga izmantošanas ietekmi uz SEG emisijām (pētījumu īsteno LBTU sadarbībā ar LVMI Silava):
 - 1.1. turpināt 2021. gadā uzsāktos CO₂, CH₄ un N₂O emisiju vērtēšanu lauksaimniecībā izmantotajās zemēs, izmantojot sarkano āboliņu kā pasējas augu; pētījumā ietversim trīs kultūraugu sugas ar pasēju un bez tās;
 - 1.2. turpināt pasējas auga izmantošanas un izvēlēto kultūraugu ietekmes uz SEG emisijām raksturošanu izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko LLU APP "Agroresursu un ekonomikas institūts" (AREI) Stendes pētniecības centrs, tostarp novērtēt augsnes īpašību, augsnes mitruma, gaisa temperatūras, nokrišņu, mēslojuma izkliedēšanas un saimniekošanas veida ietekmi uz SEG emisijām;
 - 1.3. sagatavot ziņojumu un zinātnisku publikāciju, kurā apkopoti iepriekšējo gadu pētījumu rezultāti par pasējas augu izmantošanas ietekmi uz SEG emisijām un oglekļa apriti augsnē.
2. izvērtēt Eiropas Komisijas priekšlikumus oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai (īsteno Silava):
 - 2.1. sagaidāmo ES likumdošanas priekšlikumu izvērtēšana saistībā ar ZIZIMM sektora inventarizācijas un prognožu ziņojumiem, to darbību datiem un nepieciešamajiem uzlabojumiem, ziņojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmi;
 - 2.2. izvērtēt klimata pārmaiņu mazināšanas darbības, kas īstenojamas kā oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumi, un sagatavot to pamatojumu atbilstoši esošajam zināšanu līmenim;
3. iegūt empīriskus datus par augsnes heterotrofās elpošanas radītajām CO₂ un pārējo SEG emisijām no augsnes un oglekļa ienesi ar augu atliekām palieņu augsnēs (īsteno AREI sadarbībā ar LVMI Silava):
 - 3.1. turpināt 2022. gadā uzsāktu empīrisku datu iegūvi augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju no augsnes un oglekļa ieneses ar augu atliekām raksturošanai trijos zālajos un uzsākt empīrisku datu iegūvi trijās sējplatībās, tai skaitā, balstoties uz

literatūras datiem, novērtēt oglekļa ienesi ar kūtsmēsliem ganībās un no kūtsmēslu krātuvēm;

3.2. sagatavot zinātnisku publikāciju par pētījuma rezultātiem, tai skaitā CO₂ emisiju un oglekļa ieneses faktorus organiskām vielām bagātās augsnēs;

4. iegūt empīriskus datus par iepriekš aprobēto audzēšanas tehnoloģiju ietekmi uz CO₂, CH₄ un N₂O emisijām no augsnes, augu sekā lietojot trīs atšķirīgus augsnes apstrādes paņēmienus. Pētījumā nosakāmi augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju no augsnes, augsnes temperatūras un augsnes virskārtas mitruma rādītāji (īsteno LVMI Silava un AREI).

Pētījuma 1. darba uzdevuma 1. darbības īstenošanai veģetācijas sezonas laikā iegūti empīriski dati CO₂, CH₄ un N₂O emisiju raksturošanai no lauksaimniecībā izmantotām zemēm, ierīkojot izmēģinājumus ar sarkano āboliņu kā pasējas augu 3 kultūraugiem. Pētījuma vajadzībām ierīkoti izmēģinājuma objekti ar pasēju un kontroles laukumi 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 un novērtēta izmēģinājumu objektos izaugušā biomasas. Gāzu apmaiņas mērījumi veikti vienreiz mēnesī veģetācijas sezonas laikā, no maija līdz septembrim, tos ieskaitot. Iegūto datu analīze veikta 2023. gada oktobrī – novembrī.

Pasējas auga izmantošanas ietekme uz SEG emisijām vērtēta izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko Agroresursu un ekonomikas institūta Stendes pētniecības centrs, paralēli SEG emisiju un augsnes elpošanas mērījumiem, mērot augsnes mitrumu, augsnes un gaisa temperatūru, nokrišņus, kā arī novērtējot mēslojuma izkļiedēšanas ietekmi uz SEG emisijām. Pētījuma zinātniskajā pārskatā ietverta informācija par izmēģinājumu objektiem, mērījumu rezultāti un to sākotnējā analīze, bet iepriekšējā gada rezultāti apkopoti zinātniskā publikācijā.

Pētījuma 2. darba uzdevuma īstenošanas ietvaros analizēti aktuālie Eiropas Komisijas priekšlikumi oglekļa apsaimniekošanas iniciatīvas ieviešanai un pieejamā informācija 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 agromežsaimniecības pasākumi (kokaugu stādījumi gar meliorācijas sistēmām un ceļiem, ātraudzīgu kokaugu stādījumi un koku grupas ganībās un zālājos). Darbību ieviešanas iespējas izvērtētas atbilstoši pašreizējam zināšanu līmenim un tehniskajām iespējām. Pētījumā novērtētas izraudzīto darbību ieviešanas iespējas un risinājumus integrēšanai oglekļa apsaimniekošanas sistēmā.

Pētījuma 3. darba uzdevumā iegūti empīriskie dati par augsnes heterotrofās elpošanas radītajām CO₂ emisijām no aluviālajām augsnēm, ko izmanto kā ganības, ilggadīgos zālājus vai aramzemes. Mērījumus 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, augsnes temperatūra, mitruma saturs augsnes virskārtā, virszemes un pazemes biomasas un biomasas ieguve siena vai zaļbarības sagatavošanai. Augsnē 0-10, 10-20, 20-40 un 40-80 cm dziļumā noteikts pH, kopējais N, C un slāpekļskābē ekstrahējamais K, Ca, Mg un P saturs, kā arī augsnes blīvums. Augsnes heterotrofās elpošanas parauglaukumos vienu mēnesi pirms mērījumu uzsākšanas novākta visa veģetācija un ierobežota sakņu ieaugšana. CH₄ un N₂O emisiju mērījumi uzsākti 2023. gada vasarā, 4 mēnešus pēc mērījumu vietu aprīkošanas, tāpēc dati vēl nav ietverti pārskatā. Augsnes heterotrofā elpošana 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 metodika harmonizēta ar LIFE OrgBalt projektā izmantojamo metodiku gāzu apmaiņas raksturošanai. Darba uzdevumu īsteno 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 Kristīne Valujeva, Inga Grīnfelde, Kristaps Siltumēns, Gennadijs Vojevoda. Projekta vadītājs LBTU profesors inženierzinātņu doktors Ainis Lagzdīņš.

Ievads

Saskaņā ar Kioto protokolu un Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumu Nr. 2/CMP.6 otrajā saistību izpildes periodā (2013. - 2020. gads) aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes ziņošana ir brīvprātīga. Latvija nav izvēlējusies gatavot ziņojumus par SEG emisijām un CO₂ piesaisti šajās Kioto protokola 3. panta 4. punktā uzskaitītajās aktivitātēs. Ziņošanas procedūra un iespēja izvēlēties ziņojamās aktivitātes brīvprātīgi noteikta Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumā Nr. 2/CMP.7. Paredzams, ka pēc 2020. gada ilggadīgo zālāju un aramzemju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes ziņošana kļūs obligāta Kioto protokola 1. pielikumā uzskaitītajām valstīm, tajā skaitā Latvijai.

Par uzskaites periodu, kas sākas 2021. gada 1. janvārī, Latvijai būs jāsagatavo un jāuztur ikgadēja uzskaite, kurā pareizi jāatspoguļo visas emisijas un piesaiste, kas to teritorijā rodas darbībās, kuras ietilpst šādās kategorijās: aramzemes apsaimniekošana un ganību apsaimniekošana.

SEG emisiju prognožu dati zemes izmantošanas, zemes izmantošanas un mežsaimniecības sektorā iekļaujami "Divgadu ziņojumā un nacionālajā ziņojumā", kas sagatavojams atbilstoši EK Regulas 749/2014 18. pantu; Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu; "Ziņojumā par politiku un pasākumiem", kas sagatavojams saskaņā ar Eiropas Komisijas un Parlamenta Regulas 525/2013 13. pantu; "Ziņojums, kurā aprakstīts zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības darbību īstenošanā panāktais progress" saskaņā ar regulas 529/2013 10. pantu un citos ziņojumos, kas izriet no prasībām nacionālā SEG inventarizācijas ziņojuma sagatavošanai un dažādos ziņojumos iesniedzamo datu integritātes nodrošināšanai.

Pētījuma ietvaros risināsim jautājumus, kas saistīti ar 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 N_2O emisijas no minerālaugsnēm lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Pētījuma mērķis ir raksturot pasējas auga izmantošanas ietekmi uz SEG emisijām.

Pētījuma uzdevumi:

1. turpināt CO_2 , CH_4 un N_2O emisiju vērtēšanu lauksaimniecībā izmantotajās zemēs, izmantojot sarkano āboliņu kā pasējas augu; vismaz trīs kultūraugi ar pasējas auga izmantošanu un bez tā;
2. turpināt pasējas auga izmantošanas un izvēlēto kultūraugu ietekmes uz SEG emisijām raksturošanu izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko LBTU APP "Agroresursu un ekonomikas institūts" Stendes pētniecības centrs, tostarp novērtēt augsnes īpašību, augsnes mitruma, gaisa temperatūras, nokrišņu, mēslojuma izkliedēšanas un saimniekošanas veida ietekmi uz SEG emisijām;
3. sagatavot ziņojumu un zinātnisku publikāciju par pētījuma rezultātiem.

SEG emisijas no minerālaugsnēs

Lauksaimniecībā izmantojamās platībās SEG emisijas no augsnēm ir atkarīgas no biofizikālajiem procesiem un organisko vielu uzņemšanas/sadalīšanās augsnē. Augsnes temperatūra un augsnes mitrums ir vieni no svarīgākajiem augsnes parametriem, kas ietekmē SEG emisiju veidošanos no augsnēs, jo tie nosaka mikroorganismu aktivitāti un visus ar tiem saistītos procesus. CO_2 veidojas aerobos apstākļos, un to ietekmē sakņu aktivitāte, mikrobioloģiskie procesi, augu atliekas, kā arī mikroklimats, reljefs un katalītiskās īpašības māla koloīdos šķīdumos (Muñoz et al., 2010). Visaugstākais CO_2 emisiju no augsnēs daudzums tiek novērots pie pH neitrāla līmeņa (Cuhel et al., 2010). CH_4 veidošanās notiek stingri anaerobos apstākļos un pozitīvi korelē ar augsnes mitrumu. N_2O augsnē veidojas minerālā slāpekļa nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu rezultātā. Sausas augsnes samitrināšana aktivizē slāpekļa mineralizāciju, nitrifikācijas procesu, un izraisa pastiprinātu NO un N_2O emisiju izdalīšanos. Jo lielāks augsnes mitrums, jo lielākas N_2O emisijas, bet pie ļoti augsta augsnes mitruma N_2O veidošanās samazinās. Ja mitruma periodi mijas ar sausuma periodiem, tad N_2O emisijas pieaug (Oertel et al., 2016).

Bioloģiskās un konvencionālās lauksaimniecības ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Lielākā daļa lauksaimniecības zemju tiek apstrādātas konvencionāli. Konvencionālajā lauksaimniecībā izmanto ķīmiski sintezētus minerālmēslus un augu aizsardzības līdzekļus. Šādā sistēmā ir augsts mehanizācijas līmenis un minimāls cilvēka roku darba patēriņš. Konvencionālajā lauksaimniecības sistēmā ražota pārtika ir vislētākā, jo tiek iegūtas vislielākās ražas. Konvencionālā lauksaimniecības sistēmā dabas procesu un cilvēku darbības rezultātā tiek veicinātas augsnes auglības izmaiņas:

1. 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;
2. 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;
3. 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 (Grantiņa et al., 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:

1. Augu maiņā obligāti iekļauj augus, kas spēj slāpekli uzņemt no gaisa (tauriņzieži un pākšaugi spēj piesaistīt 200 – 300 kg slāpekļa no ha gadā);

2. Barības vielas augiem nodrošina ar organisko mēslojumu (pakaišu kūstmēsli, virca u.c.) un zaļmēslojuma augu audzēšanu un iestrādi augsnē (āboliņš, eļļas rutks, sinepes u.c.);
3. Lieto mikroorganismu darbību veicinošus augsnes apstrādes paņēmienus (augšņu apvēršanu, dziļirdināšanu) (Grantiņa et al., 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 (He et al., 2017).

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, Vāgeningenas universitātē veiktajā pētījumā tika secināts, ka bioloģiski apstrādātas smilšainas augsnes izdala ievērojami augstākas SEG emisijas, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātām (He et al., 2017). Savukārt, Somijā veiktajā pētījumā, kur SEG emisijas tika mērītas bioloģiski un konvencionāli apsaimniekotos zālajos un konvencionāli apsaimniekotos graudaugos, statistiski nozīmīgas koncentrāciju atšķirības netika novērotas (Syväsalo et al., 2006), bet Anglijā veiktajā pētījumā tika secināts, ka SEG emisijas konvencionāli apsaimniekotos laukos uz hektāru ir daudz lielākas (Cooper et al., 2011).

Salīdzinot abas lauksaimniecības sistēmas pēc dzīves cikla novērtējuma, 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 (Foteinis and Chatzisyneon, 2016).

Pasējas ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Pasēja nodrošina vairākus agronomiskos un vides ieguvumus, piemēram, nodrošina oglekļa piesaisti augsnē, ūdens infiltrāciju, samazina eroziju un barības vielu izskalošanos, uzlabo augsnes struktūru un auglību, kā arī samazina

minerālmēslojuma izmantošanu. Pasējas augu izmantošana arī samazina nezāļu daudzumu.

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 et al., 2021). Daryanto et al. (2018) meta analizē izpētīja, ka pasēja palielina N_2O emisiju par 49%, bet CO_2 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.

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 et al., 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 augsnē 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 and Villamil, 2019). Augsta oglekļa ienese no pasējas augiem, kas nav tauriņzieži, var stimulēt N_2O emisijas veidošanos (Kaye and Quemada, 2017). Kaye and 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 augu veidu (Nguyen and Kravchenko, 2021). Baril et al. (2022) pētījumā par ziemas segkultūrām zemākās CO_2 koncentrācijas bija novērojamas jūnijā, kad bija vismazākais kopējo nokrišņu daudzums.

Materiāli un metodes

Pētījuma objekta raksturojums

No 2021. līdz 2023. gadam projekta īstenošanas gaitā N_2O , CH_4 , CO_2 un NH_3 mērījumi lauka apstākļos tika veikti Stendes pētniecības centrā, kur lauksaimnieciskā darbība notiek uz minerālaugsnēm, bet atsevišķos laukos ir arī sastopama organiskā augsne. SEG emisiju no augsnes mērījumu lauku atrašanās vietas norādītas Att. 1, lauksaimnieciskās darbības veids un augsnes veids norādīts Tab. 1, bet no Tab. 3 līdz Tab. 15 ir norādītas agronomiskās darbības katram laukam.



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	2023. gads	Saīsinājums	Saimniekošana	Augsne
1	Sarkanais āboliņš	SĀ	Biol	Min
2	Sarkanais āboliņš	SĀ	Biol	Org
3	Ziemas kvieši	ZK	Biol	Min
4	Ziemas kvieši	ZK	Biol	Org
5	Vasaras kvieši	VK	Konv	Min
6	Auzas	A	Biol	Min
7	Kartupeļi	K	Konv	Min
8	Griķi	G	Biol	Min
9	Sarkanais āboliņš	SĀ	Konv	Min
10	Zirņi	Z	Biol	Min
11	Ziemas rapsis	ZR	Konv	Min
12	Vasaras mieži ar āboliņa pasēju	VMP	Biol	Min
14	Vasaras mieži ar āboliņa pasēju	VMP	Konv	Min

Tab. 2. Augu seka mērījumu laukos

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

Tab. 3. Agronomiskās darbības 1. laukā

Sarkanais āboliņš, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaug	Griķi sēklai (šķ. Aiva) (2020), V.kvieši (šķ. "Uffo") (2021), V.mieži +s.āboliņš (2022)
Augsne	Vg/mS, pH 6,8, P2O5 –23 mg kg-1, K2O-66 mg kg, trūdvielas - 4,2%

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Sarkanais āboliņš, 2023. gads	
Augsnes apstrāde	2022.g. šļūkšana, ecēšana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB
Izsējas norma	10 kg ha
Sējas laiks	02.05.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 4. Agronomiskās darbības 2. laukā

Sarkanais āboliņš, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	Griķi sēklai (šķ. Aiva) (2020), V.kvieši (šķ. "Uffo") (2021), v.mieži (2022)
Augsne	Vg/mS, pH 6,8, P2O5 –23 mg kg-1, K2O-66 mg kg, trūdvielas – 4,2%
Augsnes apstrāde	2022.g –šļūkšana, ecēšana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB
Izsējas norma	10 kg ha
Sējas laiks	02.05.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 5. Agronomiskās darbības 3. laukā

Ziemas kvieši, 2022. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	v. kvieši (šķ. Uffo) (2020), mieži (šķ. "Austris") (2021), s.āboliņš (2022)
Augsne	VG/mS, pH – 6,5 – 6,9, P2O5 –14 –36 mg kg, K2O-75-95 mg kg, Mg –75 –95 mg kg, trūdvielas 4,5-34,8%
Augsnes apstrāde	2022.g. s.āboliņa iearšana-25.08, šļūkšana - 5.09.22
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2
Izsējas norma	230 kg ha
Sējas laiks	03.10.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 6. Agronomiskās darbības 4. laukā

Ziemas kvieši, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	v. kvieši (šķ. Uffo) (2020), mieži (šķ. "Austris") (2021), s.āboliņš (2022)
Augsne	VG/mS, pH – 6,5 – 6,9, P2O5 –14 –36 mg kg, K2O-75-95 mg kg, Mg –75 –95 mg

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Ziemas kvieši, 2023. gads	
	kg, trūdvielas 4,5-34,8%
Augsnes apstrāde	2022.g. s.āboliņa iearšana-25.08, šļūkšana –5.09.22
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2
Izsējas norma	230 kg ha
Sējas laiks	03.10.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 7. Agronomiskās darbības 5. laukā

Vasaras kvieši, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugš	z.kvieši (2020), mieži (šķ. Didzis) (2021), zirņi (2022)
Augsne	Pv1/K-sM/mS
Augsnes apstrāde	Aršana –18.04.23, šļūkšana – 21.04
Pamatmēslojums	NPK 14-14 –21
Sēkla	Selekcijas materiāls (selekcijas lauciņos izvietotas šķirnes un hibrīdās līnijas)
Izsējas norma	200-230 kg/ha
Sējas laiks	04.05.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Herbicīdi Estet 0,5 l ha, Sekator 0,15 l ha-10.05.23; Mezo 0,015 kg ha+Flurostar 0,6 l ha-01.06.23; Fungicīds Falcon Forte 0,8 l ha-12.06.23; Insekticīds Carnadine 0,2 l ha –13.05.23.

Tab. 8. Agronomiskās darbības 6. laukā

Auzas, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	v.kvieši (2019), v.mieži (2020), āboliņš (šķ. Dižstende) (2021), z.kvieši (2022)
Augsne	Vg/mS, pH 6,7, P2O5-67 mg kg, K2O –39 mg kg, Mg –66 mg kg, trūdvielas - 4,5%
Augsnes apstrāde	Šļūkšana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	IS (šķ. Laima)
Izsējas norma	210 kg ha
Sējas laiks	25.04.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 9. Agronomiskās darbības 7. laukā

Kartupeļi, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Kartupeļi, 2023. gads	
Priekšaugš	z.kvieši (2019), v.mieži (2020), āboliņš (šķ. Dižstende sēklai) (2021), v.kvieši (2022)
Augsne	PV ₁ /K-sM/mS, pH-5,7 –6,2, P2O ₅ – 119 –135 mtg kg, K ₂ O –108 –133 mg kg, trūdvielas –1,9-2,1%
Augsnes apstrāde	Aršana –15.04.23, Šļūkšana –20.04.23, Frēzēšana- 10.05.23
Pamatmēslojums	NPK –11-11-23 –300 kg ha
Sēkla	Vineta -E, Laura -E, Paroli-E, Montreal-E, Red Fantasy -A
Izsējas norma	3 t ha
Sējas laiks	16.05.23,
Papildmēslojums	CaNO ₃ –200 kg ha; ZOOM 1,5 l ha
Smidzinājumi	Herbicīdi: Feniks 3 l ha, –26.05.23, Titus 50 g ha –21.06.23, Leopard 2 l ha - 27.06.23. Fungicīdi pret lakstu puvi un bākas maisījumā ārpussakņu mēslošanas līdzeklis un insekticīds: Infinito 1,5 l ha+Zoom 1,5 l ha+Carnadine 0,15 l ha - 06.07.23, Infinito 1,5 l ha –26.07.23, Revus 0,6 l ha –11.08.23.

Tab. 10. Agronomiskās darbības 8. laukā

Griķi, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugš	s.āboliņš (2020), Ziemas kvieši (šķ. Edvins) (2021), auzas (2022)
Augsne	Vg/mS, pH –7,0, P2O ₅ –14 mg ha, K ₂ O – 49 mg ha, trūdvielas- 4,6 %
Augsnes apstrāde	Šļūkšana-24.04
Pamatmēslojums	-
Sēkla	Griķu šķ. Aiva PB1
Izsējas norma	70 kg ha
Sējas laiks	22.05
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 11. Agronomiskās darbības 9. laukā

Sarkanais āboliņš, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugš	Griķi zaļmēslojums (2020), z.kvieši (šķ. Edvins) (2021), v.mieži (2022)
Augsne	Pv/K-S/mS
Augsnes apstrāde	Šļūkšana (sējas gadā) – 18.19.04.22
Pamatmēslojums	-
Sēkla	Šķirne Dižstende IS
Izsējas norma	8 kg ha
Sējas laiks	03.05.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Sējas gadā (2022.g) – herbicīdi Bazagrans 480 – 2 l ha un MCPA –0,7 l ha - 15.06.

Tab. 12. Agronomiskās darbības 10. laukā

Zirņi, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaug	v.kvieši ar s.āboliņa pasēju (2021), pupas (2022)
Augsne	-
Augsnes apstrāde	-
Pamatmēslojums	-
Sēkla	-
Izsējas norma	-
Sējas laiks	-
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 13. Agronomiskās darbības 11. laukā

Ziemas rapsis, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaug	Auzas (2020), pupas (2021), griķi zaļmēslojums (2022)
Augsne	PV ₁ – sM, pH – 5,3, P2O ₅ -103 mg kg, K ₂ O-158 mg kg, trūdvielas – 1,8%
Augsnes apstrāde	Aršana 21-22.07.22, šļūkšana 05.08.22
Pamatmēslojums	NPK 6-26-30 – 150 kg ha pirms sējas
Sēkla	Šķirne Atora
Izsējas norma	4 kg ha
Sējas laiks	20.08.22
Papildmēslojums	NS 150 kg ha
Smidzinājumi	Herbicīds Butisan Star – 06.09.22, Fungicīds Propulse 1 l ha – 23.06.23

Tab. 14. Agronomiskās darbības 12. laukā

Vasaras mieži ar sarkanā āboliņa pasēju, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaug	Auzas+zirņi (2020), griķi (2021), v.kvieši (2022)
Augsne	Vg/ mS, pH 6,8, P2O ₅ – 21 mg ka, K ₂ O – 61 mg kg, trūdvielu saturs – 6,8%.
Augsnes apstrāde	Šļūkšana 23.04.23
Pamatmēslojums	-
Sēkla	Šķ. Austris +Dižstende
Izsējas norma	150/8 kg ha
Sējas laiks	02.05.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 15. Agronomiskās darbības 14. laukā

Vasaras mieži ar sarkanā āboliņa pasēju, 2023. gads	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaug	Auzas/sinepes(2020),griķi (2021),z.kvieši (2022);
Augsne	Pv, mS/S, pH-5,5 –5,6, P2O5 – 138-142 mg kg, K2O – 109 –135 mg kg, trūdvielas –1 –1,5%.
Augsnes apstrāde	Aršana – 19.04.23,šļūkšana 23.04.23
Pamatmēslojums	NPK 14-14-21 350 kg ha
Sēkla	Miežu šķ. Austris PB2 un s. āb. šķ. Dižstende IS
Izsējas norma	250 /8 kg ha
Sējas laiks	10.05.23
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Herbicīds Bazagran 1,25 l ha un MCPA 1 l ha- 12.06.23

Mērījumu veikšana ar Picarro

Iekārtas un aprīkojums

Lauksaimniecības augšņu emitēto gāzu mērījumi tika veikti izmantojot mobilo spektrofotometru Picarro G2508 (Att. 2), kas ļauj vienlaikus veikt piecu gāzu mērījumus N_2O , CH_4 , CO_2 , NH_3 , un H_2O ar vienas sekundes vidējo intervālu. Katrā pētījuma objektā tika veikti mērījumi trīs atkārtojumos. Sīkāk par iekārtas tehniskajiem parametriem un tās izmantošanas iespējām ir aprakstīts Fleck et al., (2013) pētījumā. Gāzu mērījumi tika veikti izmantojot necaurspīdīgas kameras, kuru pamatnes diametrs ir 23 cm un kameras tilpums 3 litri (Error: Reference source not found). Pamatne ir veidota no metāla, un tās apakšējā mala ir noasināta, lai to būtu vieglāk ievietot augsnē. Uz pamatnes novieto necaurspīdīgu kupolu. Lai nodrošinātu blīvu saslēgumu starp pamatni un kupolu, starp tiem ir rūpnieciski uzstādīta blīvgumija. Kameras savienojumus ar iekārtu Picarro G2508 tika izveidots, izmantojot rūpnieciski ražotus nerūsējošā tērauda savienojumus, kas savienots ar 9 metrus garu teflona caurulīti, kuras iekšējais diametrs ir 1/16 collas un ārējais diametrs 1/8 collas, savukārt savienojums ar kameru tika veidots, izmantojot ātro savienojumu, kas izolēts ar gumijas blīvi.



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



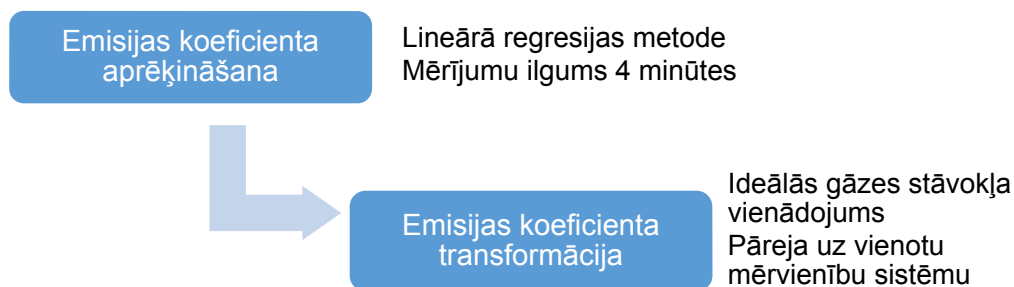
Att. 3. Kamera gāzu mērījumu veikšanai (autors: K. Valujeva).

Pirms augšes gāzu emisiju mērījumiem tika veikti augšes mitruma mērījumi, izmantojot mitruma mērītāju gruntīm Lutron PMS-714 Soil Moisture Meter, kas veic augšes mitruma mērījumus augšes virsējā slānī. Augšes mitruma dati tiek saglabāti datu nolasīšanas iekārtā un ierakstīti datu lapās. Augšes temperatūras mērījumi arī tika veikti augšes 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 shematisks attēlojums.

Emisiju koeficienta aprēķins

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

$$y = m * x + b \quad (1)$$

,kur

y – koncentrācija ppm s^{-1} ;

m – regresijas koeficients;

b – brīvais loceklis.

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

,kur

m – regresijas koeficients;

y – koncentrācija ppm s^{-1} ;

x – laiks sekundēs;

n – mērījumu skaits.

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

,kur

b – brīvais loceklis;

y – koncentrācija;

x – laiks sekundēs;

m – regresijas koeficients;

n – mērījumu skaits.

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

, kur

R^2 – determinācijas koeficients;

y – koncentrācija;

x – laiks sekundēs;

n – mērījumu skaits.

Emisijas koeficienta transformācijas

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

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

, kur

F – emisijas apjoms no augsnes, $g\ ha^{-1}\ dnn^{-1}$;

p – gāzes blīvums, $mg\ m^{-3}$;

V – kameras tilpums, m^3 ;

A – kameras laukums, m^2 ;

$\Delta c / \Delta T$ – vidējā koncentrācijas izmaiņa laikā, $ppm\ s^{-1}$;

T – kameras temperatūra, $^{\circ}C$.

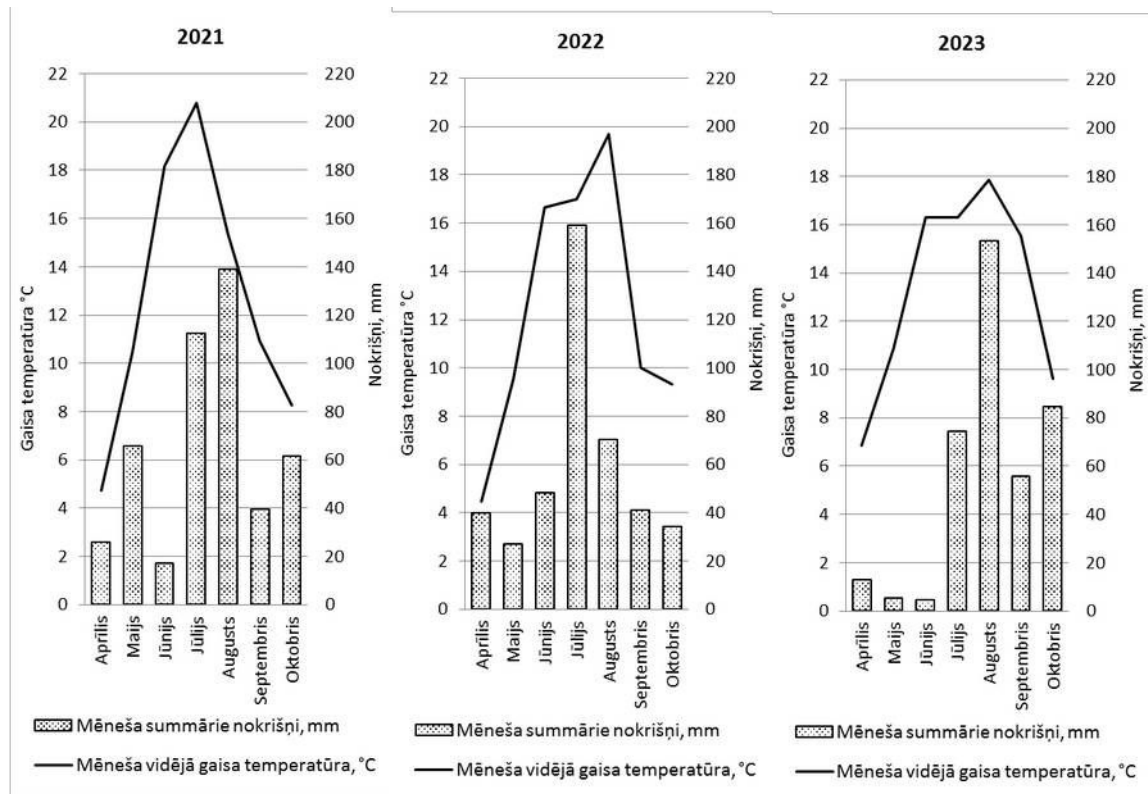
Veicot transformācijas, ir ļoti būtiski saglabāt vienotu mērvienību sistēmu. Picarro G2508 dod gāzu molārās koncentrācijas, tādēļ jāveic pāreja no molārās koncentrācijas uz masas koncentrāciju.

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Stendes LVĢMC meteoroloģiskajā novērojumu stacijā 2023. gada veģetācijas periodā nokrišņu summa bija 391,5 mm, bet vidējā gaisa temperatūra šajā periodā bija 13,3 $^{\circ}C$. Vismazāk nokrišņu ir novērots maijā un jūnijā (5,30 un 4,50 mm), bet visvairāk augustā (153,5 mm, Att. 5).

Aprīlī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 1,17 $^{\circ}C$ virs 1981.-2010. gada mēneša normas (5,7 $^{\circ}C$) un nokrišņu daudzums par 20,90 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (34 mm). Maijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija par 0,51 $^{\circ}C$ zem 1981.-2010. gada mēneša normas (11,4 $^{\circ}C$) un nokrišņu daudzums par 43,70 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (49 mm). Jūnijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 1,50 $^{\circ}C$ zem 1981.-2010. gada mēneša normas (14,8 $^{\circ}C$) un nokrišņu daudzums par 68,50 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (73 mm). Jūlijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 1,50 $^{\circ}C$ zem 1981.-2010. gada mēneša normas (17,8 $^{\circ}C$) un nokrišņu daudzums 1,70 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (76 mm). Augusta vidējā gaisa

temperatūra Stendē bija par 1,36 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (16.5°C) un nokrišņu daudzums par 76,50 mm lielāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (77 mm). Septembrī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 3,83 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (11.7°C) un nokrišņu daudzums par 10 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (66 mm) (LVĢMC, 2022).



Att. 5. Mēneša vidējās gaisa temperatūras un mēneša nokrišņu summa LVĢMC Stendes novērojumu stacijā veģetācijas periodā 2021., 2022. un 2023. gadā (LVĢMC, 2023).

Rezultāti

Rezultātu nodaļas pirmajā apakšnodaļā ir apkopoti SEG mērījumu rezultāti, kur sniegts ieskats N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju no augsnes apjomu raksturojošajos rādītājos, un otrajā apakšnodaļā ir analizēta audzēto kultūru ietekme uz N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju apjomu. Trešajā apakšnodaļā izvērtēta augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme uz gāzu emisijām un N_2O , CO_2 un CH_4 savstarpējās sakarības. Ceturtajā apakšnodaļā analizēta lauksaimniecības veidu (bioloģiskā un konvencionālā) ietekme uz N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju apjomu, bet piektajā apakšnodaļā ir analizēta audzējamās kultūras (vasaras mieži un sarkanais āboliņš) un augsnes (minerālaugsne un organiskā augsne) ietekme uz N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju apjomu.

SEG mērījumu no augsnes rezultāti

Līdz 2023. gada 31. oktobrim Stendē mērījumi ir veikti 12 mērījumu kampaņās sarkanā āboliņa, ziemas kviešu, vasaras kviešu, auzu, kartupeļi, griķu, zirņu, ziemas rapša un vasaras miežu ar āboliņa pasēju 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 1323 mērījumi, no kuriem analizē ir izmantoti 1315 mērījumi. Astoņi mērījumi atšķirās no citiem tajā pašā dienā veiktajiem mērījumiem un nav iespējams noteikt atšķirību iemeslu, tāpēc tos tālāk analizē neiekļauj. 2023. gada mērījumu rezultātos ir vērojama izteikta mediānas un aritmētiskās vidējās vērtības nesakritība N_2O emisijai, kas liecina par emisijas mainīgo dabu un pozitīvām ekstrēmām vērtībām. Iegūto datu aprakstošās statistiskās analīzes rezultāti attēloti Tab. 16.

Tab. 16. N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju no augsnes statistiskie rādītāji 2023. gadā

Variables		N_2O , $\text{g ha}^{-1} \text{dnn}^{-1}$	CO_2 , $\text{g ha}^{-1} \text{dnn}^{-1}$	CH_4 , $\text{g ha}^{-1} \text{dnn}^{-1}$
N	Valid	1315	1315	1315
	Missing	0	0	0
Mean		4,91	121,39	-5,91
Std. Error of Mean		0,46	2,30	0,16
Median		1,90	106,86	-5,17
Std. Deviation		16,76	83,55	5,68
Variance		281,00	6981,23	32,25
Minimum		-19,01	-13,69	-38,41
Maximum		225,88	786,02	22,44

Variables		N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Percentiles	25	-0,76	67,69	-8,67
	50	1,90	106,86	-5,17
	75	4,94	157,43	-2,28

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, vasaras kvieši, auzas, kartupeļi, griķi, zirņi, ziemas rapsis, vasaras mieži ar āboliņa pasēju), lauksaimnieciskās darbības veida (bioloģiski: sarkanais āboliņš, ziemas kvieši, auzas, griķi, zirņi, vasaras mieži ar āboliņa pasēju; konvencionāli: vasaras kvieši, kartupeļi, sarkanais āboliņš, ziemas rapsis, vasaras mieži ar āboliņa pasēju) un augsnes veida un audzējamās kultūras lauka griezumā (sarkanais āboliņš un ziemas kvieši uz minerālaugsni un organisko augsni).

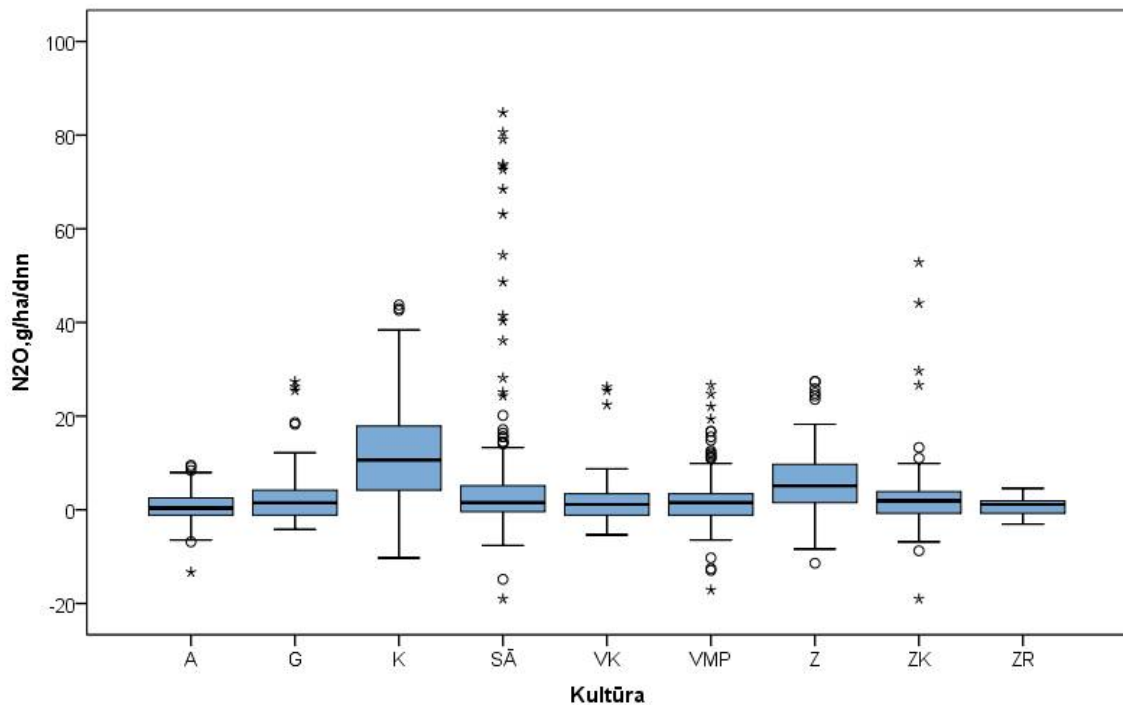
Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Vismazākā vidējā vērtība N₂O emisijai no augsnes ir novērota auzu un ziemas rapša laukos, bet maksimālās N₂O emisijas ir novērotas kartupeļu un sarkanā āboliņa laukos (Att. 6 un Tab. 17). Vasaras kviešu, vasaras miežu laukā ar āboliņa pasēju, kartupeļu un ziemas rapšu laukos ir veikta mēslošana ar minerālmēsliem. Vienīgais lauks no mēslotajiem, kurā novērota palielināta N₂O emisija, ir kartupeļu lauks, kas ļauj secināt, ka 2023. gada veģetācijas periodā minerālmēsli izmantošana nav galvenais noteicošais faktors, kas ietekmē N₂O emisiju no graudaugu laukiem Stendes klimatiskajos un augsnes apstākļos. Pēc Kruskal-Wallis testa, 2023. gadā statistiski nozīmīgas atšķirības N₂O emisijai ir zirņiem un kartupeļiem ar auzām, ziemas rapsi, vasaras kviešiem, vasaras miežiem ar āboliņa pasēju, griķiem, ziemas kviešiem, sarkano āboliņu, kā arī starp auzām un sarkano āboliņu un zirņiem un kartupeļiem (p>0,05).

Tab. 17. N₂O emisijas no augsnes statistiskie rādītāji 2023. gadā.

N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži ar pasēju	Zirņi	Ziemas kvieši	Ziemas rapsis
N	Valid	108	90	107	321	108	243	108	212	18
	Missin g	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		\$1,\$2	2,8	12,7	8,0	1,9	1,9	6,1	4,1	0,9
Std. Error of Mean		0,3	0,7	1,1	1,6	0,5	0,3	0,7	1,1	0,5

N_2O , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži ar pasēju	Zirņi	Ziemas kvieši	Ziemas rapsis
Median		0,4	1,5	10,6	1,5	1,1	1,5	5,1	1,9	1,1
Std. Deviation		3,5	6,2	11,9	28,5	4,9	5,4	7,3	16,6	2,2
Variance		12,1	38,7	140,6	814,1	24,3	28,9	53,2	274,7	4,9
Minimum		-13,3	-4,2	-10,3	-19,0	-5,3	-17,1	-11,4	-19,0	-3,0
Maximum		9,5	27,4	43,7	225,9	26,2	26,6	27,4	134,6	4,6
Percentiles	25	-1,1	-1,1	4,2	-0,6	-1,1	-1,1	1,5	-0,8	-0,9
	50	0,4	1,5	10,6	1,5	1,1	1,5	5,1	1,9	1,1
	75	2,6	4,1	17,9	5,2	3,4	3,4	9,8	3,9	2,3

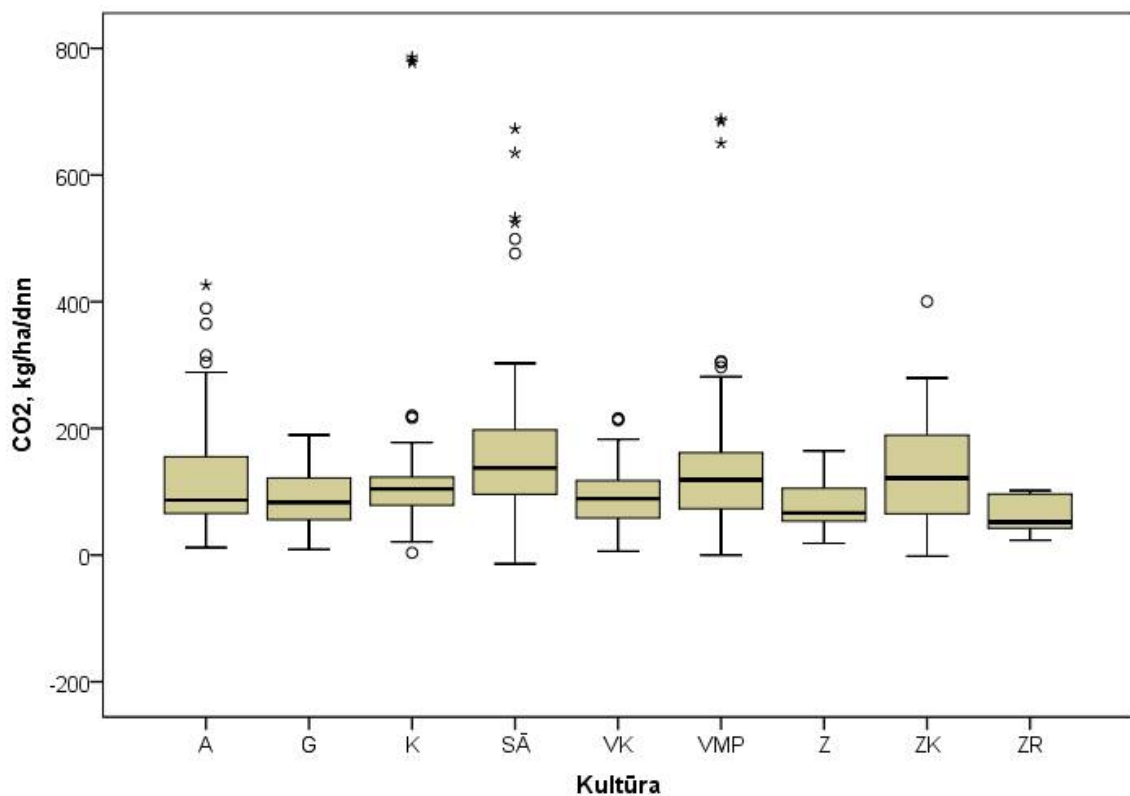


Att. 6. N_2O emisija no augsnes pēc audzētās kultūras 2023. gadā (A – auzas; G – griķi; K – kartupeļi; SĀ – sarkanais āboliņš; VK – vasaras kvieši; VMP – vasaras mieži ar sarkanā āboliņa pasēju; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši; ZR – ziemas rapsis).

Zirņu un ziemas rapša laukos vidējā CO_2 emisija no augsnes ir mazāka, salīdzinot ar pārējiem laukiem, bet visaugstākā vidējā vērtība ir sarkanā āboliņa un vasaras miežu ar āboliņa pasēju laukos (Att. 7 un Tab. 18). Lauki ar vismazākajām CO_2 emisijas vērtībām būtiski atšķiras no laukiem ar CO_2 emisijas vērtību virs 100 kg CO_2 ha⁻¹ dnn⁻¹ ($p < 0,05$).

Tab. 18. CO₂ emisijas no augsnes statistiskie rādītāji 2023. gadā

CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži ar pasēju	Zirņi	Ziemas kvieši	Ziemas rapsis
N	Valid	108	90	107	321	108	243	108	212	18
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		118	89,9	120,9	151,9	89,6	128,4	78,5	125,5	62,7
Std. Error of Mean		118,1	4,9	11,7	4,8	4,4	5,8	3,5	5,4	6,4
Median		7,6	83,1	104,6	137,7	89,0	119,0	66,4	121,5	52,0
Std. Deviation		86,9	46,4	120,7	85,7	45,4	90,1	36,2	78,5	27,1
Variance		79,5	2156,9	14 569,9	7348,9	2061,8	8113,8	1307,3	6156,3	735,4
Minimum		6316,7	9,1	3,7	-13,7	6,1	0,04	18,6	-1,5	23,6
Maximum		11,79	189,8	786,0	673,1	216,0	688,3	164,7	400,4	101,9
Percentiles	25	65,9	55,7	78,0	96,0	58,0	73,0	52,5	65,1	42,3
	50	86,9	83,1	104,6	137,7	89,0	119,0	66,4	121,5	52,0
	75	155,2	122,5	123,2	197,7	117,8	163,7	105,6	189,7	96,5

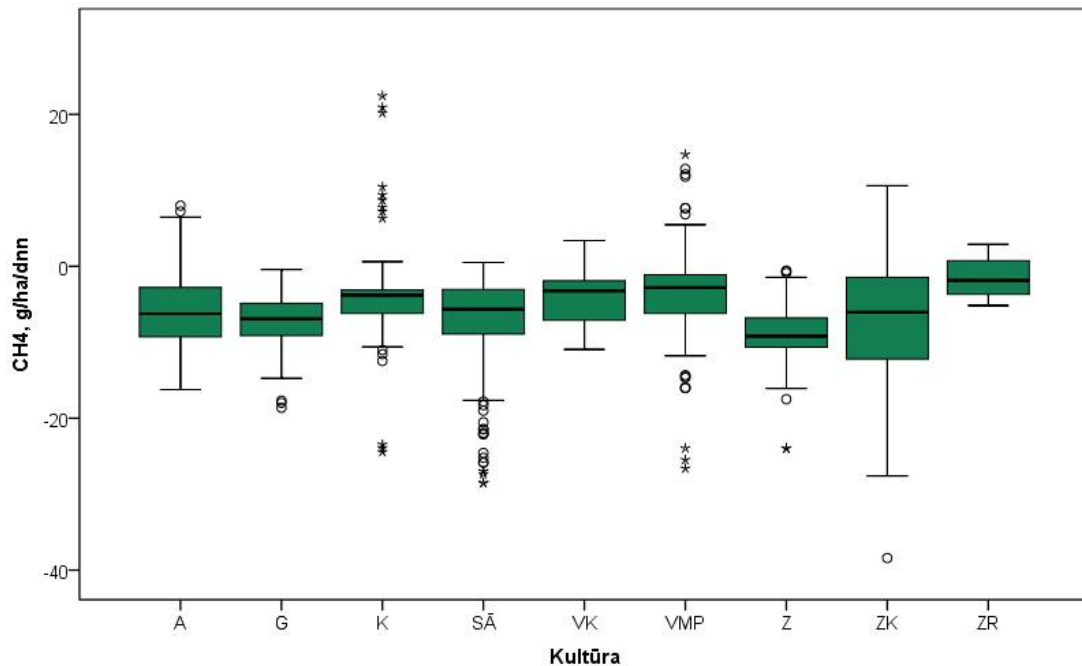


Att. 7. CO₂ emisija no augsnes pēc audzētās kultūras 2023. gadā (A – auzas; G – griķi; K – kartupeļi; SĀ – sarkanais āboliņš; VK – vasaras kvieši; VMP – vasaras mieži ar sarkanā āboliņa pasēju; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši; ZR – ziemas rapsis).

Analizējot CH₄ emisijas no augsnes, ir vērojama piesaiste un tikai atsevišķos gadījumos veidojas CH₄ emisijas (Att. 8). Vislielāko CH₄ piesaisti vidēji veido zirņu, griķu un ziemas kviešu lauki, bet vismazāko ziemas rapsis un kartupeļi (Tab. 19). Griķu un zirņu lauki ir vienīgās kultūras, kurām 2023. gadā nav novērotas CH₄ emisijas. Zirņi būtiski atšķiras no pārējām kultūrām, izņemot griķiem, griķi atšķiras no kartupeļiem, vasaras kviešiem, vasaras miežiem ar āboliņa pasēju un ziemas rapša, auzas būtiski atšķiras no vasaras kviešiem, vasaras miežiem ar āboliņa pasēju un ziemas rapša, kā arī sarkanais āboliņš un ziemas kvieši būtiski atšķiras no kartupeļiem, vasaras kviešiem, vasaras miežiem ar āboliņa pasēju un ziemas rapša ($p < 0,05$).

Tab. 19. CH₄ emisijas no augsnes statistiskie rādītāji 2023. gadā

CO ₂ , kg/ha/dnn		Auzas	Griķi	Kartupeļi	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži ar pasēju	Zirņi	Ziemas kvieši	Ziemas rapsis
N	Valid	108	90	107	321	108	243	108	212	18
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		-6,2	-7,4	-3,8	-6,9	-3,7	-3,7	-8,9	-7,1	-1,6
Std. Error of Mean		0,4	0,4	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
Median		-6,2	-6,9	-3,8	-5,7	-3,2	-2,8	-9,2	-6,0	-1,9
Std. Deviation		4,4	4,1	6,6	5,7	3,5	5,0	3,9	7,0	2,5
Variance		19,4	17,0	43,7	32,0	12,6	25,4	15,2	49,3	6,1
Minimum		-16,2	-18,6	-24,5	-28,5	-11,0	-26,6	-24,0	-38,4	-5,2
Maximum		8,0	-0,4	22,4	0,49	3,4	14,7	-0,57	10,6	2,9
Percentiles	25	-9,3	-9,2	-6,2	-9,0	-7,1	-6,3	-10,6	-12,2	-3,8
	50	-6,2	-6,9	-3,8	-5,7	-3,2	-2,8	-9,2	-6,0	-1,9
	75	-2,8	-4,8	-3,1	-3,0	-1,9	-1,1	-6,8	-1,4	0,8



Att. 8. CH₄ emisija no augsnes 2023. gadā (A – auzas; G – griķi; K – kartupeļi; SĀ – sarkanais āboliņš; VK – vasaras kvieši; VMP – vasaras mieži ar sarkanā āboliņa pasēju; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši; ZR – ziemas rapsis).

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 et al., 2008) visiem mērījumu rezultātiem 2023. gadā (Tab. 20). CO₂ ir statistiski nozīmīga korelācija gan ar augsnes rādītājiem, gan N₂O un CH₄, kas nozīmē, ka, palielinoties augsnes temperatūrai un samazinoties augsnes mitrumam, CO₂ emisija no augsnes palielināsies, bet N₂O un CH₄ emisijas no augsnes samazināsies. Statistiski nozīmīga korelācija 2023. gadā nav novērota starp CH₄ un augsnes temperatūru un N₂O emisiju. Stendes pētniecības centrā dominē mālsmilts un smilšmāla augsnes, un ir novērojamas ciešas sakarības starp augsnes temperatūru un augsnes mitrumu un SEG emisijām no augsnes, izņemot starp CH₄ un augsnes temperatūru.

Tab. 20. Kendala korelācijas koeficienti 2023. gadā¹

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1	-0,0379**	-0,078**	0,072**	-0,029
Augsnes mitrums, %	-0,379**	1	0,052**	-0,050**	0,123**

¹ ** p vērtība <0,01; * p vērtība <0,05.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0,078**	0,052**	1	-0,059**	0,005
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0,072**	-0,050**	-0,059**	1	-0,287**
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0,029	0,123**	0,005	-0,287**	1

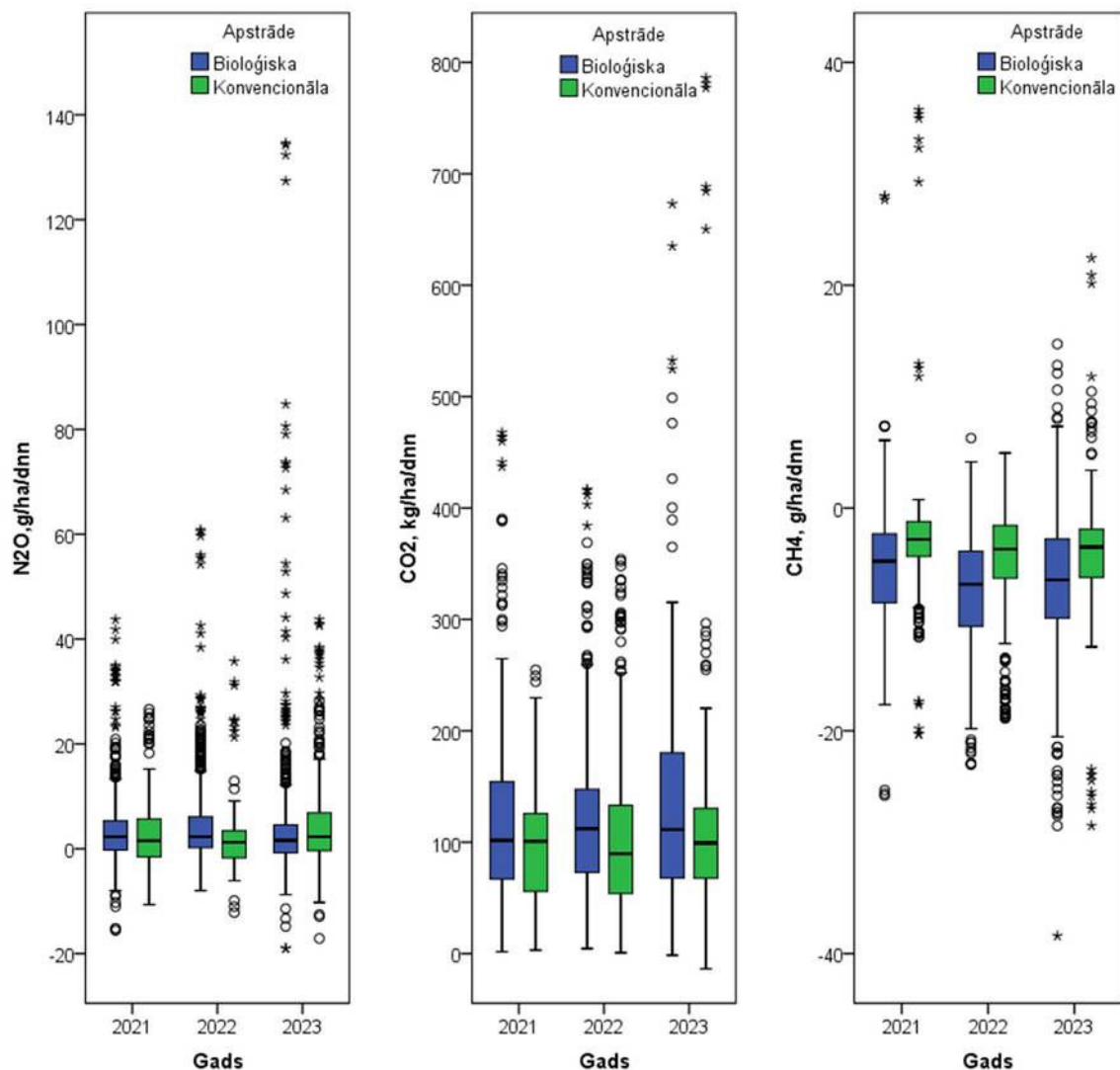
Lauksaimnieciskās darbības veida ietekme uz SEG emisijām no augsnes

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 SEG emisijas 2023. gadā statistiski būtiski atšķiras starp bioloģisko un konvencionālo lauksaimniecības veidu ($p < 0,05$). Bioloģiski apstrādāti lauki 2023. gada veģetācijas periodā ir izdalījuši par 9,8% vairāk N₂O, par 13% vairāk CO₂ emisiju, bet par 42,2% vairāk asimilējuši CH₄, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātiem laukiem.

N₂O emisijas no augsnes mediānas vērtība 2023. gadā ir lielāka konvencionālajos laukos, bet bioloģiski apstrādātos laukos N₂O emisijai ir liela izkliede visos gados, kas varētu būt skaidrojama ar lielāku mikroorganismu daudzveidību un aktīvāku to darbību.

CH₄ emisijas salīdzinājums pēc lauksaimnieciskās darbības veida parāda, ka bioloģiski apsaimniekotos laukos ir lielāka CH₄ piesaiste. Salīdzinot trīs gadu mērījumus, 2022. un 2023. gadā gan konvencionāli, gan bioloģiski apstrādātos laukos ir lielāka piesaiste un zemākas mediānas vērtības, nekā 2021. gadā, kas nozīmē, ka abos gados veģetācijas periodā ir, bijuši labvēlīgāki apstākļi CH₄ piesaistei.

CO₂ emisiju no augsnes salīdzinājums pēc lauksaimnieciskās darbības veida parāda, ka svārstību amplitūda un mediānas vērtības, zemākas ir konvencionāli apstrādātos laukos, kas arī varētu būt skaidrojams ar lielāku mikroorganismu aktivitāti bioloģiski apstrādātos laukos, kas noved pie paaugstinātas CO₂ emisijas. Bioloģiski apstrādātajos laukos visos gados ir bijusi lielāka emisijas izkliede, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātiem laukiem, izņemot 2023. gadu, kad vislielākā izkliede ir tieši konvencionāli apstrādātiem laukiem.



Att. 9. SEG emisiju no augsnes salīdzinājums 2021., 2022. un 2023. gadā pēc lauksaimnieciskās darbības veida.

Augsnes un audzējamās kultūras ietekme uz SEG emisijām

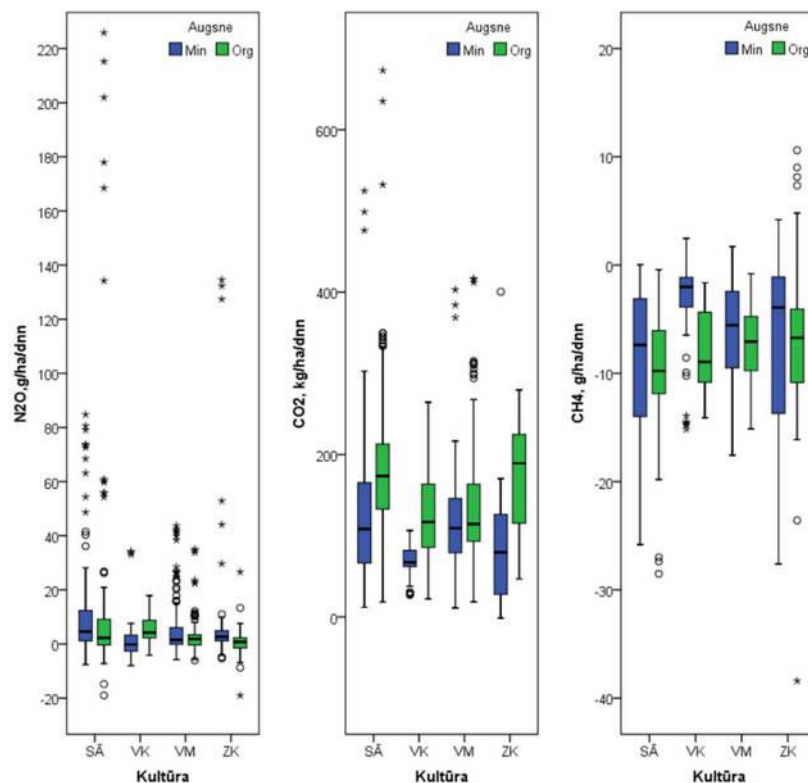
Bioloģisko apstrādātos ziemas kviešu un sarkanā āboliņa laukos lauka vienā pusē ir sastopama organiskā augsne, tāpēc veicām 2023. gada SEG emisiju no augsnes salīdzinājumu šiem laukiem (Att. Att. 10). Mann-Whitney U tests parāda, ka 2023. gadā ir statistiski nozīmīga atšķirība starp minerālaugsnī un organisko augsni N₂O, CO₂ un CH₄ emisijām šajos laukos ($p < 0,05$). Organiskā augsne 2023. gada veģetācijas periodā ir izdalījusi vidēji par 68,4% vairāk N₂O, par 37% vairāk CO₂, bet asimilējusi par 0,7% vairāk CH₄.

Salīdzinot visus veiktos mērījumus Stendes izmēģinājuma stacijā, sarkanā āboliņa organiskās augsnes lauka pusē ir vērojama vislielākā CH₄ asimilācija (-

9,39 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹), salīdzinot ar minerālaugsnes lauka daļu un pārējām kultūrām. Vismazākā CH₄ piesaiste ir vasaras kviešu lauka daļā ar minerālaugsni (-3,18 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹).

N₂O emisija no augsnes ir ievērojami zemāka vasaras kviešu organiskās augsnes laukā (0,84 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹) un ziemas kviešu minerālaugsnes laukā (0,77 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹). Ekstrēmās vērtības un vislielākā izkliede ir sarkanā āboliņa laukā un vasaras miežu un ziemas kviešu minerālaugsnes laukos. N₂O emisijas svārstību atšķirība ir saistīta ar kultūras atšķirībām, jo sarkanais āboliņš piesaista slāpekli no atmosfēras, kā rezultātā ir arī lielāka N₂O emisijas izkliede.

CO₂ emisija ir lielāka laukos ar organisko augsni, bet ekstrēmas vērtības ir novērojamas arī minerālaugšņu lauku daļās sarkanajam āboliņam, vasaras miežiem un ziemas kviešiem. Organiskās augsnes augstāka CO₂ emisija ir skaidrojama ar organiskās vielas straujāku sadalīšanos.

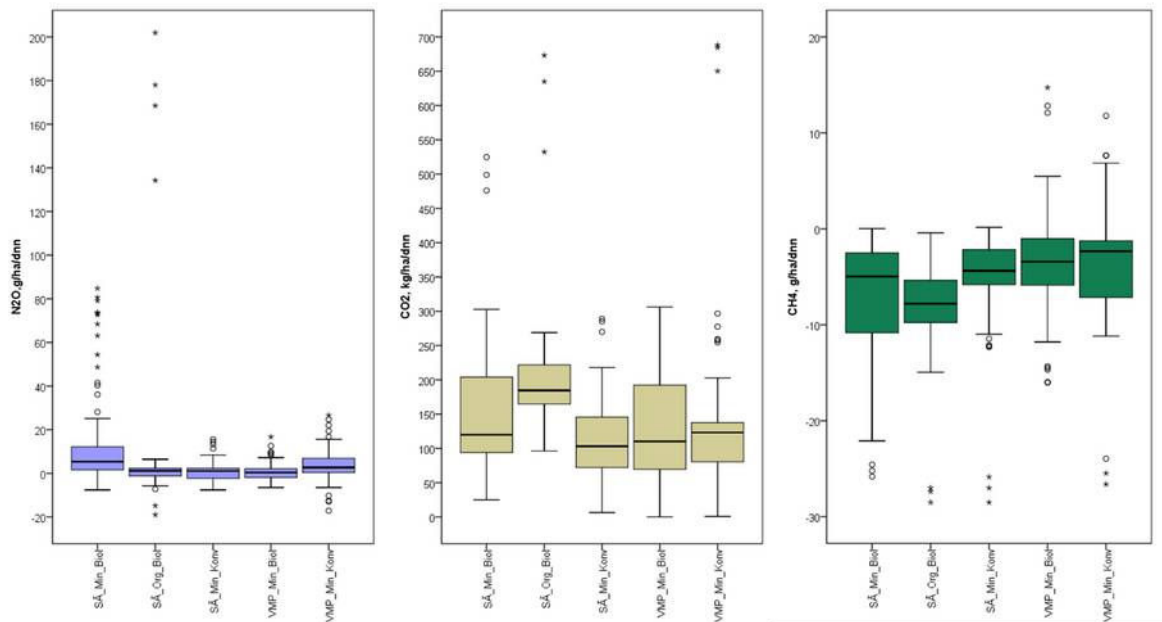


Att. 10. SEG emisiju no augsnes salīdzinājums 2021.-2023. gadam laukos ar bioloģisko un konvencionālo augsnes apstrādi.

Lauksaimnieciskās darbības veida, augsnes un sarkanā āboliņa iekļaušanas augu sekā ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Ņemot vērā veiktos mērījumus un Stendes izmēģinājuma lauku kultūru rotāciju, ir iespējams novērtēt konvencionāli un bioloģiski audzēta sarkanā āboliņa un sarkanā āboliņa kā pasējas auga ietekmi uz SEG emisijām no minerālaugsnes un

organiskās augsnes 2023. gadā (Att. 11). Mann-Whitney U tests parāda, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība starp lauksaimnieciskās darbības veidiem un CH₄ un CO₂ emisijām no augsnes, un starp minerālaugsnī un organisko augsni un CH₄, CO₂ un N₂O emisijām no augsnes sarkanā āboliņa laukos ($p < 0,05$).



Att. 11. SEG emisiju no augsnēm salīdzinājums 2023. gadā sarkanā āboliņa laukos (SA - sarkanais āboliņš, Min – minerālaugsne, Biol – bioloģiskā lauksaimniecība, Org – organiskā augsne, Konv – konvencionālā lauksaimniecība, VMP – vasaras mieži ar āboliņa pasēju).

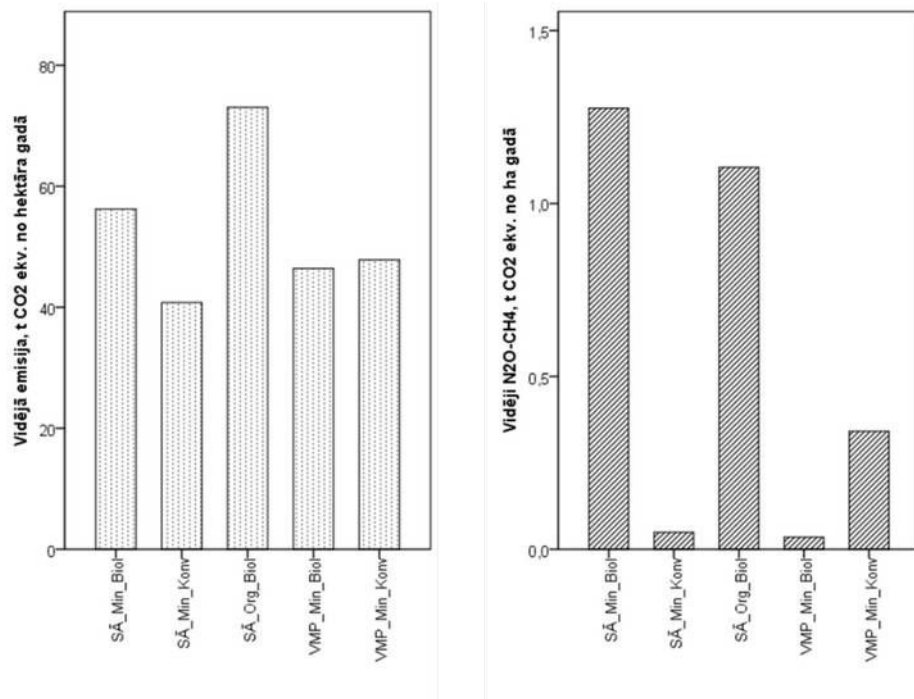
N₂O emisijas no augsnes mediānas vērtības un vidējās vērtības bioloģiski apsaimniekotam vasaras miežu laukam ar āboliņa pasēju uz minerālaugsnis un konvencionāli apsaimniekotam sarkanā āboliņa laukam uz minerālaugsnis ir tuvu nullei, kas nozīmē, ka šajos laukos N₂O emisija ir salīdzinoši zema un stabila, vērtējot visu veģetācijas periodu kopā. Pārējos laukos N₂O emisijas no augsnēm vidējā vērtība ir 1,4 līdz 19,7 reīzu lielāka par bioloģiski apsaimniekota vasaras miežu lauka ar āboliņa pasēju uz minerālaugsnis vērtību, kas ir minimālā vērtība no apskatītajiem laukiem (0,63 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹).

Visstabilākā CO₂ emisijas no augsnes vērtība bez ekstrēmu vērtību klātbūtnes 2023. gadā ir bijusi bioloģiski audzētu vasaras kviešu laukā ar āboliņa pasēju uz minerālaugsnis. Šajā laukā arī ir viszemākā vidējā CO₂ emisijas vērtība, salīdzinot ar pārējiem bioloģiski apsaimniekotajiem laukiem (127,01 kg CO₂ ha⁻¹ dnn⁻¹). Bioloģiski apsaimniekotajos laukos CO₂ emisija no augsnes ir par 31% lielāka nekā konvencionāli apsaimniekotajos laukos, kas ir skaidrojams ar lielāku mikroorganismu daudzveidību un aktivitāti augsnē.

Vasaras miežu laukos ar āboliņa pasēju 2023. gada veģetācijas periodā ir novērotas arī CH₄ emisijas no augsnes. Vislielākā piesaiste šajā periodā ir

bioloģiski apstrādātā sarkanā āboliņa laukā uz organiskās augsnes, ko varētu izskaidrot sausie pavasara un vasaras laikapstākļi, kas varētu būt veicinājuši aerobo baktēriju aktivitāti organiskajā augsnē ($-8,1 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$). Vidēji vasaras miežu ar āboliņa pasēju CH_4 piesaiste ir par 46% mazāka nekā pārējos laukos.

SEG emisiju no augsnēm kopējā balance tika aprēķināta, izmantojot CO_2 ekvivalentu, lai emisiju dati būtu salīdzināmi (Att. 12).



Att. 12. SEG emisiju no augsnēm t CO₂ ekvivalentā gadā salīdzinājums 2023. gadā laukos ar iekļautu sarkano āboliņu augu sekā (SA - sarkanais āboliņš, Min – minerālaugsne, Biol – bioloģiskā lauksaimniecība, Org – organiskā augsne, Konv – konvencionālā lauksaimniecība, VMP – vasaras mieži ar āboliņa pasēju).

Tika analizētas kopējās mērītās emisijas CO_2 ekvivalentā, un atsevišķi tika aprēķināta N_2O un CH_4 balance CO_2 ekvivalentā. Ir redzams, ka N_2O un CH_4 balance CO_2 ekvivalentā ir mazāka par 0,1 t CO_2 ekv. gadā sarkanajam āboliņam konvencionālajā saimniekošanas veidā minerālaugsnēs un vasaras miežiem ar sarkanā āboliņa pasēju bioloģiskajā saimniekošanas veidā.

Sarkanā āboliņa iekļaušanas augu sekā ietekme uz SEG emisijām

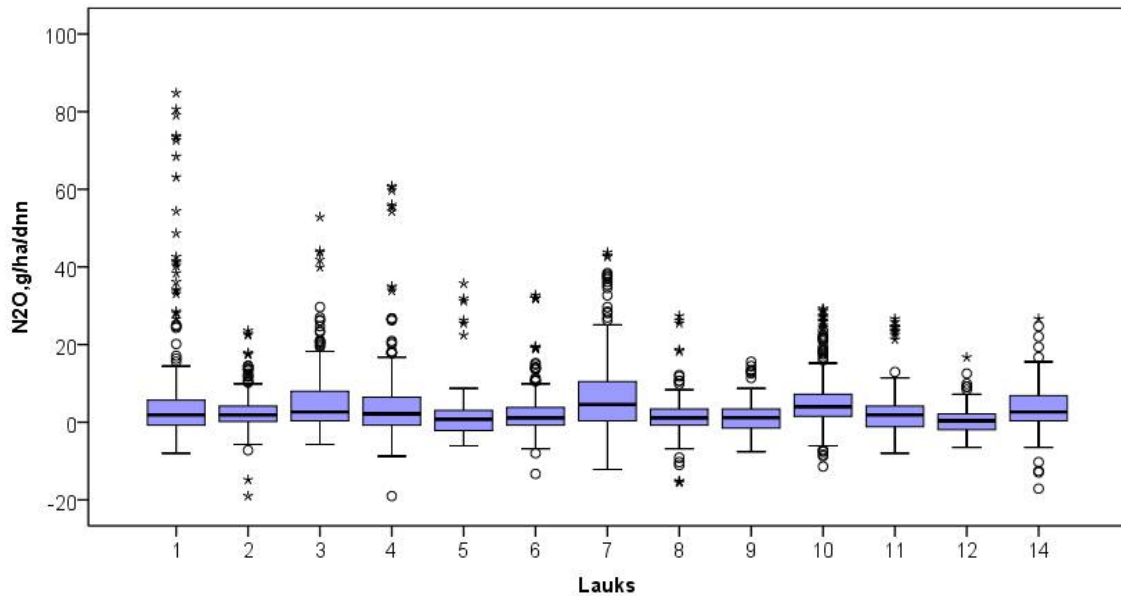
Sarkanais āboliņš ir viena no visbiežāk izmantotajām tauriņziežu kultūrām Latvijā, kas tiek audzēta, lai uzlabotu slāpekļa pieejamību augsnē un samazinātu minerālmēslu izmantošanu, tāpēc veicām 2021. - 2023. gada SEG emisiju no augsnēm lauka mērījumu datu statistisko analīzi, lai noskaidrotu, kā sarkanā 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 kartupeļi ($6,67 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$), kas ir vidēji $2,43 \text{ kg}$ no hektāra gadā, bet vismazākā emisija ir laukam, kur šogad ir vasaras mieži ar āboliņa pasēju un iepriekš sarkanais āboliņš bija sēts 2018. gadā ($0,63 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ jeb $0,23 \text{ kg}$ gadā no hektāra, Tab. 21). 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 2023. gada sezonā ir bijuši ziemas kvieši un sarkanais āboliņš bija 2022. gadā ($154,68 \text{ kg } CO_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ jeb $56,46 \text{ t}$ gadā no hektāra), ko visticamāk, ka izskaidro organiskā augsne. Minimālajām CO_2 vērtībām ir nozīmīga atšķirība no maksimālajām vērtībām ($p < 0,05$). Vislielākā metāna piesaiste ir organiskās augsnes laukam, kur sarkanais āboliņš bija 2022. gadā ($-8,35 \text{ g } CH_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ jeb $3,05 \text{ kg}$ gadā no hektāra).

Tab. 21. N_2O , CO_2 un CH_4 emisiju no augsnes vidējās vērtības un standartklūda lauku griezumā (2021.-2023. gads)

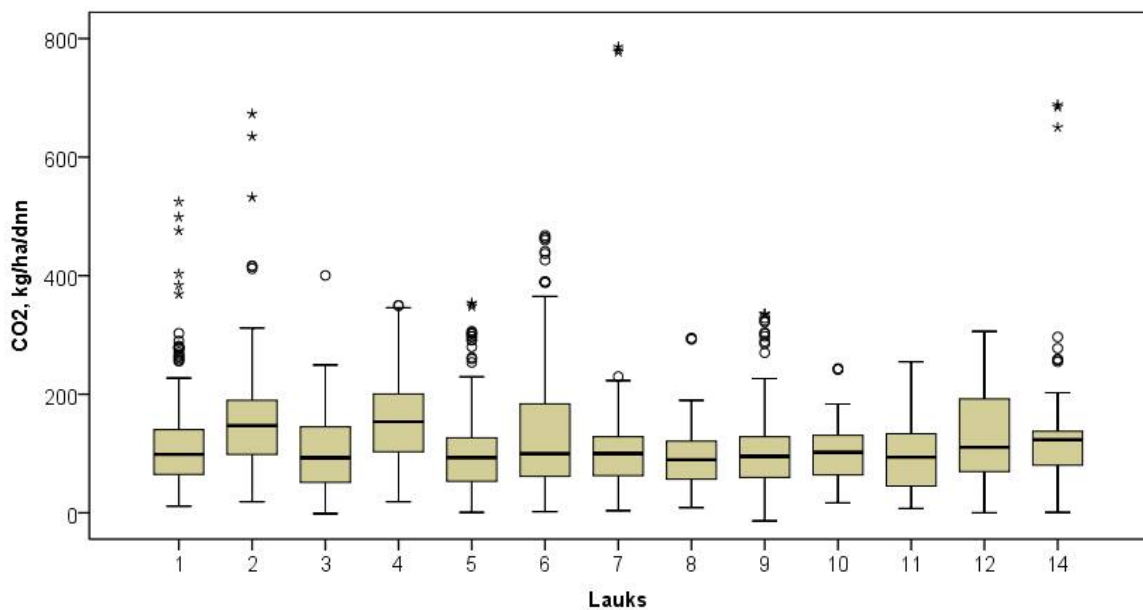
Lauks	N_2O , $\text{g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$	SE	CO_2 , $\text{g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$	SE	CH_4 , $\text{g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$	SE
1	5,73	0,79	113,48	4,19	-6,53	0,32
2	5,95	1,46	150,36	4,63	-7,80	0,22
3	6,37	0,82	98,38	3,33	-7,19	0,37
4	4,89	0,57	154,68	4,18	-8,35	0,29
5	1,04	0,29	100,83	3,80	-3,85	0,22
6	2,42	0,35	126,05	5,37	-5,17	0,32
7	6,67	0,55	104,64	4,58	-3,04	0,40
8	1,54	0,31	93,36	3,25	-6,99	0,27
9	1,27	0,22	103,48	3,50	-5,00	0,27
10	5,36	0,39	97,41	2,46	-6,11	0,25
11	2,58	0,46	99,02	4,42	-3,84	0,24
12	0,63	0,31	127,01	6,34	-3,64	0,41
14	3,46	0,64	130,11	10,34	-3,84	0,52

Analizējot N_2O emisiju no augsnes izkliedi visā mērījumu laikā no 2021. līdz 2023. gadam, ir redzams, ka visos laukos ir vērojamas pozitīvas ekstrēmās vērtības, tomēr visizteiktāk tās parādās laukos ar bioloģisko saimniekošanas veidu (Att. 13).



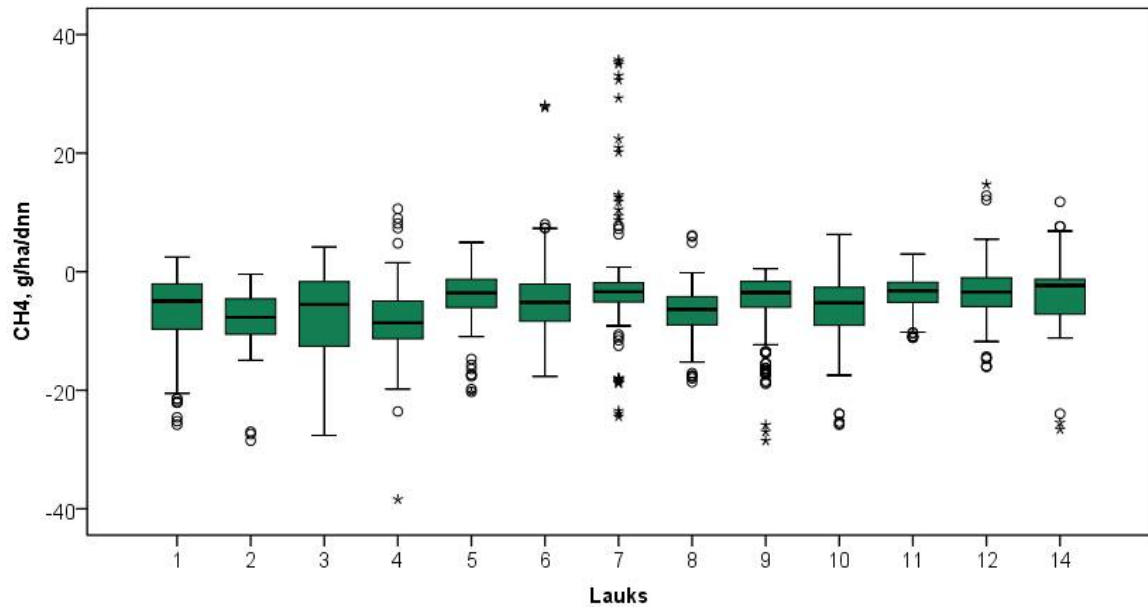
Att. 13. N₂O emisijas no augsnes salīdzinājums lauku griezumā (2021.-2023. gads).

Lauku griezumā CO₂ emisijas no augsnes 3 gadu mērījumu periodā ir izteikti augstākas nekā konvencionālajā saimniekošanas veidā (Att. 14).



Att. 14. CO₂ emisijas no augsnes salīdzinājums lauku griezumā (2021.-2023. gads).

Metāna emisijas ar izteiktiem pozitīviem ekstrēmiem ir vērojamas 7. laukā, kas tiek apstrādāts ar konvencionālām metodēm un kurā pēc āboliņa tiek audzēti vasaras kvieši (Att. 15).



Att. 15. CH₄ emisijas no augsnes salīdzinājums lauku griezumā (2021.-2023. gads).

Secinājumi

1. Pētījuma trīs gadu rezultāti parāda, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība CH₄, N₂O un CO₂ emisijām no augsnēm pie dažādiem lauksaimnieciskās darbības veidiem. Bioloģiski apsaimniekotos laukos CH₄ piesaiste vidēji ir par 2,75 g CH₄ ha⁻¹ dnn⁻¹ lielāka, N₂O emisija ir par 1,49 g N₂O ha⁻¹ dnn⁻¹ lielāka, un CO₂ emisija ir par 15,59 kg CO₂ ha⁻¹ dnn⁻¹ lielāka, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātiem laukiem.
2. Pētījuma rezultāti parāda arī, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība starp CH₄, N₂O un CO₂ emisijām minerālaugsnē un organiskajā augsnē ierīkotajos ziemas kviešu un sarkanā āboliņa laukos. Organiskā augsne 2023. gada veģetācijas periodā ir izdalījusi vidēji par 68,4% vairāk N₂O, par 37% vairāk CO₂, bet asimilējusi par 0,7% vairāk CH₄.
3. 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.
4. Augu sekas ar tauriņziežiem veicina slāpekļa piesaisti augsnē un ļauj samazināt slāpekli saturošu minerālmēsli izmantošanu. Sarkanā āboliņa iekļaušana augu sekā ne tikai veicina slāpekļa piesaisti augsnē, bet arī maina CH₄, N₂O un CO₂ emisiju apjomu no augsnēm. Vasaras miežu ar sarkanā āboliņa pasēju laukos veiktie mērījumi 2023. gadā rāda, ka N₂O emisijai ir daudz stabilāks raksturs bez izteiktām ekstrēmām vērtībām, jo

abas kultūras veido simbiozi, kur vienas kultūras piesaistīto slāpekli izmanto otra kultūra. CH_4 asimilācijai ir novērojamas arī ekstrēmas pozitīvas vērtības, ko ietekmē abu kultūru biomasa, kas samazina iztvaikošanu no augsnes un lietus periodos rada labvēlīgus apstākļus anaeorobo baktēriju attīstībai augsnē. Šī fenomena izpētei ir nepieciešami SEG emisiju mērījumi vairākiem pilniem augu sekas rotāciju cikliem, lai apstiprinātu pētījumā izvirzīto hipotēzi, ka sarkanā āboliņa izmantošana pasējā stabilizē N_2O emisiju no augsnes.

5. Mērījuma rezultāti rāda, ka, iekļaujot rotācijā tauriņziežus, var būt risks, ka augsnē tiek uzkrāts pārāk liels slāpekļa apjoms, kas var veicināt paaugstinātas N_2O emisijas no augsnes. Ir nepieciešams turpināt ilglaicīgus mērījumus, lai pārliecinātos, ka šim novērojumam nav gadījuma raksturs, ko ir ietekmējuši konkrētā gada laikapstākļi.
6. Bioloģiski apstrādātos laukos CO_2 mērījumi no augsnes uzrāda relatīvi augstāku CO_2 emisiju apjomu, tomēr šis jautājums jāskata plašākā kontekstā, jo bioloģiskais saimniekošanas modelis veicina oglekļa piesaisti augsnē. Turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams vērtēt ne tikai CO_2 emisiju no augsnes, bet analizēt katra lauka oglekļa bilanci vismaz divu pilnu augu seku ietvaros.
7. Trīs gadu mērījumu rezultāti CH_4 emisiju no augsnēm indikatīvi uzrāda dominējošo CH_4 piesaisti gan konvencionālajā, gan bioloģiskajā saimniekošanas modelī. Metāna piesaistei ir stabils raksturs Stendes pētniecības centra augsnēs, jo vidējās un mediānas vērtības ir negatīvas, kas liecina par ilglaicīgu un nemainīgu metāna piesaisti. Veicot papildus mērījumus šo antropogēnās darbības radīto aspektu, ir iespējams nākotnē izmantot, pārskatot slāpekļa un metāna bilances lauksaimniecības nozarē, kur metāna piesaiste var pilnīgi vai daļēji kompensēt slāpekļa emisijas lauksaimniecības sektorā.

Oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmu analīze

Ilgtspējīgu oglekļa ciklu (Sustainable Carbon Cycles) iniciatīva ir viens no Eiropas Zaļā kursa (European Green Deal) realizācijas rīcības virzieniem, ar mērķi sekmēt klimatneitralitātes sasniegšanu, piesaistot no atmosfēras oglekļa dioksīdu un to darīt, ieviešot mērķtiecīgas darbības. Eiropas Komisija 2023.gadā turpinājusi strādāt pie oglekļsaistīgas lauksaimniecības (Carbon Farming) un oglekļa piesaistes sertifikācijas (Carbon Removal Certification) rīcības virzienu attīstīšanas.

2022.gada 30. novembrī publiskotā Eiropas Parlamenta un Padomes regulas priekšlikuma, ar ko izveido Savienības sertifikācijas satvaru oglekļa piesaistījumiem (COM(2022) 672 final) (Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL Establishing a Union Certification Framework for Carbon Removals, 2022) latviešu valodas versijā carbon farming tulkojumam latviešu valodā izmantots apzīmējums “oglekļsaistīga lauksaimniecība”, kas turpmāk lietots arī šajā ziņojumā. Vienlaikus jāatzīmē, ka, ņemot vērā oglekļsaistīgas lauksaimniecības definējumu minētajā Eiropas Parlamenta un Padomes regulas priekšlikumā – ar zemes apsaimniekošanu saistīta oglekļa piesaistes darbība, kas, uzlabojot oglekļa uztveršanu un/vai samazinot oglekļa izplūdi atmosfērā, palielina oglekļa uzglabāšanu dzīvajā biomasā, atmirušajā organiskajā vielā un augsnē – ir skaidrs, ka ir runa gan par lauksaimniecības, gan mežsaimniecības darbībām, kas palielina oglekļa uzglabāšanu, un vārda “lauksaimniecība” lietošana šajā gadījumā būtu saprotama vispārinātā veidā, to neierobežojot tikai attiecībā uz darbībām, kas saistītas ar lauksaimniecisko ražošanu. Iespējams, ka būtu vērts apdomāt carbon farming termina tulkošanai latviešu valodā izmantot iniciatīvas būtību pilnīgāk ietverošus apzīmējumus, piemēram, “oglekļsaistīga zemkopība”.

Šī pētījuma mērķis ir izvērtēt Eiropas Komisijas priekšlikumus oglekļsaistīgas lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai, koncentrējoties uz zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektoru. Pētījuma mērķa izpildei formulēti uzdevumi:

1. izvērtēt sagaidāmos (2023. gadā) Eiropas Savienības likumdošanas priekšlikumus saistībā ar zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora siltumnicefekta gāzu emisiju inventarizācijas un prognožu ziņojumiem, to darbību datiem un nepieciešamajiem uzlabojumiem, ziņojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmi;

2. izvērtēt zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora klimata pārmaiņu mazināšanas darbības, kas īstenojamas kā oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumi, un sagatavot to pamatojumu atbilstoši esošajam zināšanu līmenim.

Aktuālie Eiropas komisijas priekšlikumi ilgtspējīgu oglekļa ciklu iniciatīvas ieviešanai

2023. gadā Eiropas Komisija (EK) turpinājusi darbu pie Ilgtspējīgu oglekļa ciklu iniciatīvas (Communication from the Commission to the European Parliament and the Council Sustainable Carbon Cycles, 2021) ieviešanas Eiropas Savienībā (ES), strādājot pie izvirzīto mērķu sasniegšanas, kas attiecībā uz oglekļa saistīgo lauksaimniecību ir –

būtiska oglekļa saistīgas lauksaimniecības devuma nodrošināšana 2030. gada neto 310 miljonu tonnu CO₂ piesaistes mērķa sasniegšanā zemes sektorā, kā arī verificētu emisiju un piesaistes datu pieejamības nodrošināšanas katram zemes īpašniekam līdz 2028. gadam, kas atbilst ES oglekļa piesaistes sertifikācijas ieviešanas laika grafikam un nozīmē to, ka katram zemes īpašniekam 2028. gadā būtu jābūt iespējai iegūt informāciju par lietotās apsaimniekošanas prakses oglekļa piesaisti.

Izvirzīto mērķu sasniegšanai:

- 2022. gada 30. novembrī publiskots oglekļa piesaistījumu sertifikācijas satvara regulas priekšlikums (Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Union Certification Framework for Carbon Removals, 2022);
- izveidota ES oglekļa piesaistes ekspertu grupa, kuras viens no uzdevumiem ir, pārstāvēt ES dalībvalstis, asistēt EK, izstrādājot konkrētām oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbībām piesaistītas oglekļa sertifikācijas metodoloģijas.

ES oglekļa piesaistes sertifikācijas normaīvā ietvara izveide

ES oglekļa piesaistes sertifikācijas normatīvā ietvara izstrāde tiek uzskatīta par būtisku soli, atbalstot ES klimata un aprites ekonomikas politiski noteikto mērķu sasniegšanu (European Parliamentary Research Service, 2023). Ar normatīvo regulējumu plānots izveidot caurskatāmu un uzticamu pārvaldības struktūru, kas nodrošinātu pilnīgu uzticamību ES radītās oglekļa piesaistes kvalitātei, novērstu jebkādas “zaļmazgāšanas” iespējas un kāpinātu oglekļa piesaistes darbību ieviešanas intensitāti ES.

ES oglekļa piesaistes sertifikācijas normatīvā ietvara jeb regulas (Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Union Certification Framework for Carbon Removals, 2022) priekšlikums 2023. gadā diskutēts Eiropas Parlamentā (EP) – 24. oktobrī Vides, veselības un pārtikas drošības (ENVI) komitejai akceptējot ENVI komitejas ziņojumu jeb viedokli (pozitīvs balsojums) (Committee on Environment, Food Safety and Public Health Result of votes and roll-call votes, 2023) EP balsojumam 2023. gada 20. novembrī. Pozitīva EP balsojuma gadījumā, ENVI ziņojums par regulas priekšlikumu kļūs par EP mandātu dialoga sarunu uzsākšanai ar Eiropas Padomi un Eiropas Komisiju 2023. gada nogalē. ES oglekļa piesaistes sertifikācijas normatīvais regulējums, atbilstoši ilgtspējīgu oglekļa ciklu iniciatīvas komunikācijai, attiecināts uz trīs oglekļa piesaistes aktivitātēm:

- oglekļsaistīgo lauksaimniecību (carbon farming);
- pastāvīgu oglekļa uzglabāšanu, izmantojot BECCS un DACCS tehnoloģijas (permanent storage);
- atmosfēras vai biogēnā oglekļa uzglabāšanu produktos vai materiālos, piemēram, koksnes konstrukciju materiālos (carbon storage in long-lasting products).

Ņemot vērā pētījuma mērķi, turpmāk analizēta oglekļsaistīgās lauksaimniecības aktivitāšu jeb darbību grupa.

Regulas priekšlikums izvirza konkrētus sasniedzamos mērķus:

1. nodrošināt augstu ES oglekļa piesaistes vienību kvalitāti, tādējādi nodošot uzticamas oglekļa piesaistes sertifikācijas sistēmas izveidi (World-leading carbon removal certification framework, possibly used as blueprint globally);
2. mudināt lauksaimniekus un mezsaimniekus izvēlēties efektīvus oglekļa piesaistes risinājumus;
3. nodrošināt ES spēju kvantificēt, uzraudzīt un verificēt oglekļa piesaisti;
4. stimulēt dažādas uz rezultātiem balstītas finansēšanas iespējas no privātiem vai publiskiem avotiem.

Vienlaikus EK Klimata direktorāts (DG CLIMA) uzsver, ka šis ir tehniska rīka izstrādes priekšlikums. Politiskas diskusijas par ieviešanu un finansēšanu ieplānoti atstātas periodam pēc 2024. gada EP vēlēšanām.

Regulas priekšlikuma struktūru veido trīs daļas:

- kvalitātes kritēriji QU.A.L.ITY;
- verifikācijas un sertifikācijas process;

- sertifikācijas shēmu atzīšana un darbība.

QU.A.L.ITY kritēriji izstrādāti, izmantojot globāli strādājošo sertifikācijas shēmu pieredzi un nozīmē:

- QUantification - noteikumi neto oglekļa piesaistes ieguvumu kvantificēšanai salīdzinājumā ar bāzes līniju
- Additionality - piesaistes aktivitātēm jābūt papildus ES un nacionālajām prasībām, piesaiste rodas sertifikācijas stimulējošās ietekmes dēļ/virs “business as usual” līmeņa;
- Long-term storage - piesaistes aktivitāte nodrošina oglekļa ilgtermiņa uzglabāšanu, jānodrošina nepārtraukts uzkrātā oglekļa monitorings;
- sustainabilTY - oglekļa piesaistes darbībām jābūt ar neitrālu vai pozitīvu ietekmi uz ilgtspējas mērķu sasniegšanu.

Plānots, ka galvenās verifikācijas un sertifikācijas procesu nodrošinošās institūcijas ir:

- “operators/operatoru grupa” (operator/group of operators) ir fiziska vai juridiska persona (zemes īpašnieks), kura realizē vai kontrolē oglekļa piesaistes darbības tehnisko izpildi atbilstoši regulējuma prasībām.
- “sertifikācijas shēma” (certification scheme) ir privātas vai publiskas organizācijas pārvaldīta shēma, kas pārrauga operatoru vai operatoru grupas atbilstību regulējumā noteiktajai sertifikācijas kārtībai.
- “sertifikācijas institūcija” (certification body) ir neatkarīga, akreditēta vai citādi atzīta atbilstības novērtēšanas institūcija (trešās puses audits), kas noslēgusi līgumu ar sertifikācijas shēmu par sertifikācijas auditu veikšanu un sertifikātu izdošanu.

Regulas priekšlikums paredz, ka operatoriem vai operatoru grupām (zemes īpašniekiem) ir jāizmanto plānotajai oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbībai atbilstoša tehniska sertifikācijas metodika, kas apstiprināta ar EK deleģēto tiesību aktu. Plānots, ka konkrētu oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbību detalizētas sertifikācijas metodoloģijas 2024. gada laikā izstrādās īpaši izveidota oglekļa piesaistes ekspertu grupa (Expert Group on Carbon Removals) 70 personu sastāvā. Paredzēts, ka šādas gatavas metodoloģijas nodrošinās standartizētu, verificētu un salīdzināmu pieeju, kā arī atvieglēs operatoru (it īpaši nelielu zemes īpašumu īpašnieku) administratīvo slogu.

Lai operatori pierādītu atbilstību regulējumam, tiem jāsadarbojas ar sertifikācijas shēmām, kas:

- nodrošina verificēto oglekļa piesaistes vienību uzskaiti (nepieļauj dubultu uzskaiti), nodrošina tehnisku atbalstu operatoriem;

- izveido un uztur publiskus, elektroniskus oglekļa piesaistes vienību reģistrus;
- regulāri sagatavo un iesniedz EK publiskus ziņojumus par veiktajām aktivitātēm.

Ar ieviešanas aktiem plānots noteikt sertifikācijas shēmu darbības standartu un sertifikācijas procesa tehniskos noteikumus. Sertifikācijas procesa kontroles nolūkā katras sertifikācijas shēmas atbilstību (uz 5 gadu periodu) plānots atzīt ar EK lēmumu.

Dalībvalstij jāinformē EK par publiskas sertifikācijas shēmas atbilstības pieteikumu. Privātas sertifikācijas shēmas izveides gadījumā, EK informē privātās shēmas juridiskais pārstāvis. Par ES kvalitātes kritērijiem atbilstošām piesaistes vienības uzskatāmas, ja tirgus dalībnieks ir izmantojis kādu no EK atzītajām sertifikācijas shēmām, kas nozīmē to, ka pēc būtības sertifikācijas shēmu izmantošana ir obligāta.

Oglekļa piesaistes darbības pakļautas neatkarīgam trešās puses auditam, ko sertifikācijas institūcija veic:

- sākotnēji pirms sertifikācijas shēmas ieviešanas, lai verificētu atbilstību QU.A.L.ITY kritērijiem un pārbaudītu sagaidāmās oglekļa piesaistes aprēķinu atbilstību;
- periodiski re-sertificējot visa veida atbilstību.

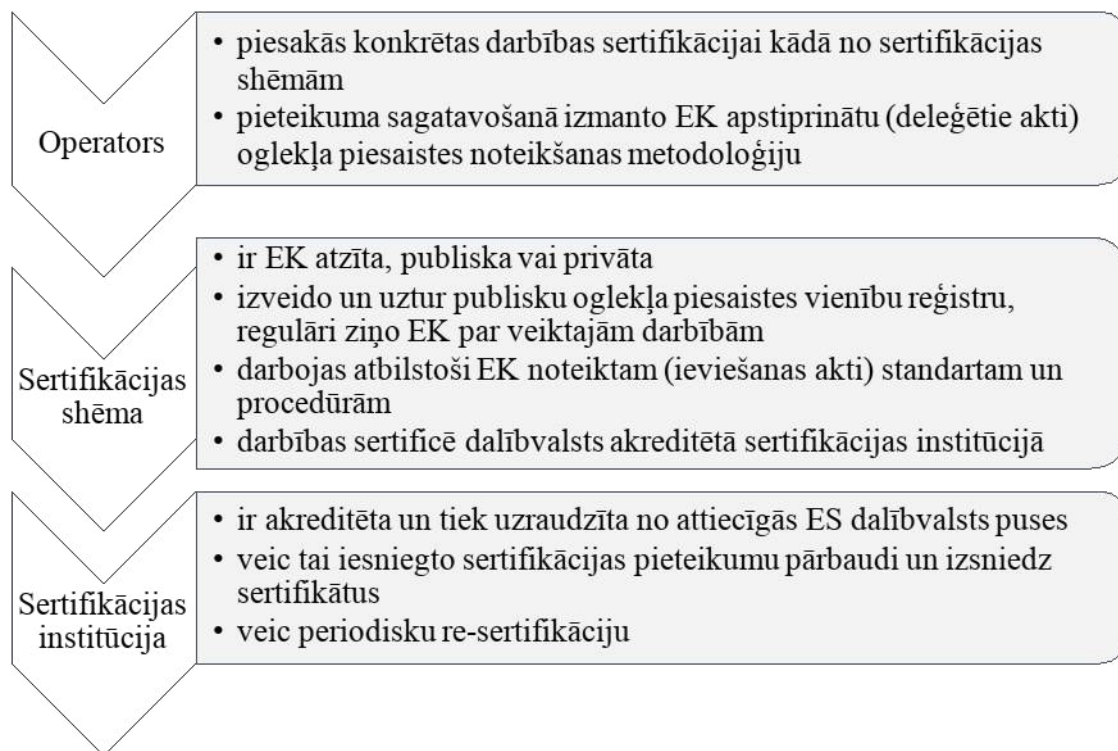
Plānots, ka EK ar ieviešanas aktiem nosaka oglekļa piesaistes darbību apraksta un sertifikācijas, kā arī re-sertifikācijas audita ziņojumu struktūru, tehnisko detalizāciju un minimālās prasības.

Dalībvalstīm noteikts pienākums uzraudzīt nacionāli akreditētu sertifikācijas institūciju darbību.

Sertifikācijas procesa ietvaros:

- operators iesniedz sertifikācijas shēmai pieteikumu, plānotās oglekļa piesaistes darbības aprakstu, izmantoto metodoloģiju, sagaidāmo neto oglekļa piesaistes vērtību;
- sertifikācijas shēma iesniedz materiālu verifikācijai sertifikācijas institūcijai, kura sagatavo sertifikācijas audita ziņojumu un sertifikātu. Sertifikācijas institūcija veic periodisku re-sertifikāciju;
- operators sertifikācijas laikā atbalsta sertifikācijas institūciju, dodot iespēju piekļuvei darbības ieviešanas vietai un visa veida dokumentācijai.

Plānotais sertifikācijas process vienkāršoti attēlots 1.1. attēlā.



Att. 16. Vienkāršots ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikuma (Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Union Certification Framework for Carbon Removals, 2022) ieviešanā iesaistīto pušu attēlojums.

No regulas priekšlikuma izrietošais neto oglekļa piesaistes aprēķina princips paredz sekojošu soļu izpildi:

1. solis. Operators aprēķina papildus radītās oglekļa piesaistes apjomu attiecībā pret standartizētu bāzes vērtību (business as usual).
2. solis. No papildus radītā oglekļa piesaistes apjoma atņem jebkuru SEG emisiju apjomu, kas varētu rasties papildus - prakses ieviešanas rezultātā (piemēram, vairāk izlietota mēslojuma, enerģijas, vai saistībā ar notikušu zemes lietojuma veida maiņu). Aprēķinā neņem vērā oglekļa saistīgas lauksaimniecības radītu SEG emisiju samazinājumu, ja tāds rodas. To var uzskatīt tikai par papildus ilgtspējas labumu (co-benefit). Šādu papildus labumu var minēt sertifikātā, tādējādi palielinot sertificētās oglekļa piesaistes vienības vērtību. Šis nosacījums nonāk zināmā pretrunā ar 2023. gada laikā izskanējušām diskusijām, piemēram ES oglekļa piesaistes ekspertu grupas sanāksmēs un ES LIFE programmas zinātnes platformas konferencē (Naturschutzbund Deutschland (Director), 2023), atsevišķos gadījumos oglekļa piesaistes aprēķinos tomēr iekļaut arī SEG emisiju samazināšanas efektu. SEG emisiju samazināšanas iekļaušanas nepieciešamība galvenokārt tiek saistīta ar ūdens līmeņa pacelšanu (rewetting) platībās ar kūdras augsni.

Neto oglekļa piesaisti reģistrē tad, ja oglekļa piesaiste virs bāzes vērtības ir lielāka par iespējamām attiecīgās darbības papildus radītām SEG emisijām. Piemēram, apmežošanas gadījumā piesaistei virs bāzes līnijas jābūt lielākai par SEG emisijām, kas eventuāli saistāmas ar apmežošanas darbā izmantoto tehniku.

Oglekli uzskata par piesaistītu tikai tad, ja operators var to apliecināt ar nepārtraukta (oglekļa) monitoringa datiem. Tiklīdz monitorings tiek izbeigts, pieņem, ka piesaistītais ogleklis nonāk atpakaļ atmosfērā.

EP ENVI komiteja savā ziņojumā par ES oglekļa piesaistes sertifikācijas ietvara izstrādi (European Parliament Committee on the Environment, Public Health and Food Safety, 2023), kas apstiprināts komitejas balsojumā 2023. gada 24. oktobrī, uzsver, ka nepieciešams:

1. novērst neskaidrības attiecībā uz to - kas ir un kas nav oglekļa piesaiste, ar to saprotot nepieciešamību nodalīt oglekļa piesaistes un SEG emisiju samazināšanas darbības. ENVI priekšlikums ir skaidri izdalīt četras atsevišķas sertificētas darbības: oglekļa piesaisti, oglekļa piesaisti oglekļsaistīgā lauksaimniecībā, SEG emisiju samazināšanu oglekļsaistīgā lauksaimniecībā un oglekļa uzkrāšanu produktos;
2. nepieciešams palielināt caurskatāmību ES vienotā reģistra izveidē, īpaši attiecībā uz sagaidāmo oglekļa uzglabāšanas laiku, uzglabāšanas metodi, fiziska un juridiskā sertifikāta turētāja noteikšanu, sertifikāta turēšanas mērķi;
3. pastiprināt atbildības prasības tā, lai sertifikācijā iesaistītā atbildīgā puse būtu nepārtraukti klātesoša, risinot visas ar izdotā sertifikāta iespējamu atcelšanu saistītas problēmas;
4. nodrošināt minimālos ilgtspējas standartus jeb to, ka jebkurai oglekļsaistīgas lauksaimniecības un oglekļa uzkrāšanas produktos aktivitātei jādemonstrē pozitīva ietekme uz kādu no ilgtspējas kritērijiem.

2023. gada novembra sākumā ES oglekļa sertifikācijas regulas priekšlikums nav pieņemts un ar to, kā arī ar oglekļsaistīgas lauksaimniecības ieviešanu saistās daudzi neskaidri jautājumi, piemēram:

- kurām tieši oglekļa piesaistes darbībām tiks izstrādātas sertifikācijas metodikas?
- kā tiks noteiktas bāzes atskaites vērtības?
- kāda būs vienas oglekļa piesaistes vienības cena?

2023. gadā vidējā 1 tonnas oglekļa piesaistes cena globālajā tirgū svārstās no 20 EUR līdz aptuveni 70 EUR (European Commission, 2022). Tomēr jāņem vērā, ka

ilgtermiņa projektu gadījumā, kā tas ir meža apsaimniekošanā, cenu svārstības ir grūti prognozējamas un rada papildus nenoteiktību.

- kā sistēma tiks finansēta un kā tieši iegūtās vienības izlietotas?

Situācijā, kad nav skaidrs, kurām oglekļa piesaistes darbībām ES izstrādās sertifikācijas metodiku, 2023. gada nogalē nav iespējams novērtēt potenciālos uzlabojumus, kas varētu būt nepieciešami zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora siltumnīcefekta gāzu emisiju inventarizācijas un prognožu ziņojumu sagatavošanai nepieciešamajos darbību datos un ziņojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmi.

Latvijas Klimata likuma priekšlikuma (LR Klimata un enerģētikas ministrija, 2023) 46. pants nosaka brīvprātīgas oglekļa dioksīda piesaistes sistēmas izveidi un uzturēšanu Latvijā, Klimata un enerģētikas ministrijai šī uzdevuma izpildē sadarbojoties ar Zemkopības, Vides aizsardzības un reģionālās attīstības un Ekonomikas ministrijām. Klimata likuma priekšlikuma 46. pantā dots deleģējums Ministru Kabineta noteikt minētās nacionālās sistēmas izveides un uzturēšanas kārtību, paredzot papildus piesaistītā un noglabātā oglekļa aprēķināšanas, uzskaites un ziņošanas kārtības noteikšanu, kā arī valstī vienotas metodikas noteikšanu siltumnīcefekta gāzu emisiju un oglekļa dioksīda piesaistes un noglabāšanas aprēķina veikšanai, novērtējot pasākumu un projektu ietekmi uz klimata pārmaiņām (izņemot Eiropas Savienības emisijas kvotu tirdzniecības sistēmas darbību radīto emisiju apjoma aprēķināšanai).

ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums (Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Union Certification Framework for Carbon Removals, 2022) paredz ES dalībvalstu iesaisti ES oglekļa piesaistes sertifikācijas sistēmas izveidē, tomēr virkne funkciju ir saglabātas EK līmenī, tostarp, sertifikācijas shēmu atzīšana un sertifikācijas metodoloģijas izstrāde un apstiprināšana (deleģētie akti) konkrētām oglekļa piesaistes darbībām. Tādējādi, Latvijai nosakot nacionālā līmenī vienotu metodiku SEG emisiju un oglekļa dioksīda piesaistes un noglabāšanas aprēķina veikšanai, jāņem vērā tas, ka vienota metodika konkrētām oglekļa piesaistes darbībām jau varētu būt noteikta ES līmenī, tomēr nacionālā līmenī var būt nepieciešama tās adaptācija. Vienlaikus ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums (Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Union Certification Framework for Carbon Removals, 2022) saglabā iespēju dalībvalstīm pašām izveidot un uzturēt nacionālu sertifikācijas shēmu, esot atbildīgām par neatkarīgu sertifikācijas institūciju pārvaldību un izveidojot un uzturot nacionālu oglekļa piesaistes vienību reģistru. Minētais aspekts – veids kādā Latvija noteiktu vienotu metodiku SEG emisiju un oglekļa dioksīda piesaistes un noglabāšanas aprēķina veikšanai – būtu detalizēti analizējams kontekstā ar ES līmeņa norisēm Klimata

un enerģētikas ministrijai sadarbībā ar Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju un Zemkopības ministriju līdz 2024. gada 1. jūnijam sagatavojot un iesniedzot Ministru kabinetā konceptuālo ziņojumu par brīvprātīga oglekļa dioksīda piesaistes mehānisma ieviešanu Latvijā (LR Klimata un enerģētikas ministrija, 2023).

ES oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas virzība

ES oglekļa piesaistes ekspertu grupa (CREG, E03 861) (European Commission, 2022) izveidota 2022. jūlijā ar mērķi asistēt EK visos ar oglekļa piesaistes sertifikāciju saistītajos jautājumos. Ekspertu darba grupa strādā visos trīs oglekļa piesaistes darbību virzienos - oglekļa saistīga lauksaimniecība, pastāvīga oglekļa uzglabāšana, oglekļa uzglabāšana produktos. Oglekļa saistīgas lauksaimniecības jautājums ekspertu grupas sanāksmē diskutēts 2023. gada jūnijā, bet 2023. gada novembrī nav pieejama informācija par konkrētiem soļiem sertifikācijas metodoloģijas izstrādē noteiktām ES izvēlētām oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbībām. 2023. gada 21.-22. jūnija sanāksmes protokolā (European Commission, 2023) EK (klimata ģenerāldirektorāts (DG CLIMA)) uzsver, ka būtiskākais ir izstrādāt uzticamu oglekļa piesaistes kvantifikācijas metodoloģiju, bet konkrēti nākamie soļi šīs metodoloģijas izstrādē netiek iezīmēti.

Noslēdzošā ES oglekļa piesaistes ekspertu grupas tikšanās paredzēta 2024. gada aprīlī, kad plānots ziņojums par 2023. gada laikā apkopoto informāciju par labākajām esošajām praksēm ES oglekļa piesaistes sertifikācijā un turpmāka 2024. gada darba plāna sastādīšana, tostarp izstrādājot konkrētu oglekļa saistīgas lauksaimniecības praksi oglekļa piesaistes aprēķinu metodoloģijas.

Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi un oglekļa saistīga lauksaimniecība

Ņemot vērā to, ka 2023. gada novembrī nav apstiprināts ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums (European Commission, 2022b), nav izstrādātas konkrētu oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbību ietekmes kvantificēšanas un sertifikācijas metodoloģijas, kā arī nav zināms, kuras varētu būt tās darbības, kurām šāda metodika tiks izstrādāta, nav iespējams vispusīgi izvērtēt klimata pārmaiņu samazināšanas darbības, kas īstenojamas kā oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumi Latvijā, tomēr pētījumā veikts atsevišķu kokaugu ieaudzēšanas darbību sākotnējs novērtējums to iespējamai ietveršanai oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumu vidū, pieņemot, ka tiek apstiprināti ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikumā noteiktie

QU.A.L.ITY kritēriji. Novērtējumam izvēlētās darbības, kā piemērs gadījumu analīzei, ir:

1. agromežsaimniecības sistēmas izveide aramzemē;
2. kokaugu paludikultūra;
3. apmežošana.

ES oglekļa piesaistes sertifikācijas regulas priekšlikums nedod skaidras norādes par to, kā vērtējama atbilstība QU.A.L.ITY kritērijiem. Nepieciešams sekot regulas priekšlikuma attīstībai un konkrētu darbību sertifikācijas metodoloģiju izstrādei, kas varētu dot skaidrāku priekšstatu par to, kādas metodes un atskaites 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. 22) ņemts vērā tas, kādas ir oglekļa piesaistes darbību ietekmes aprēķināšanas iespējas, līdzšinējie pētījumi, datu pieejamība.

Tab. 22. *Quantification* kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējs <i>Quantification</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
Agromežsaimniecība	Palielināts oglekļa uzkrājums augsnē pateicoties papildus organiskās vielas ienesi ar nobirām, 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 $7,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (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 modelēšanai.
Paludikultūra	Oglekļa uzkrājums dzīvajā biomasā, nedzīvajā koksni, augsnē 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 piesaiste 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 (Hiraishi u.c., 2013; Intergovernmental Panel on Climate Change & Edenhofer, 2014). 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 modelēšanai.
Apmežošana	Oglekļa uzkrājuma palielināšanās dzīvajā un nedzīvajā biomasā, nobirās, augsnē, kā arī ilgtermiņa uzkrājums koksnes produktos (Bastin u.c., 2019).

Potenciāla oglekļasaistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļasaistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>Quantification</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
	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. 23) 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. 23. Additionality kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļasaistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļasaistīgas 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. 24) 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. 24. Long-term storage kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļasaistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļasaistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>Long-term storage</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
Agromežsaimniecība	Piesaistītā oglekļa noturību (permanence) ir iespējams nodrošināt, darbības

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>Long-term storage</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
	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. 25) 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. 25. Sustainability kritērija izpildes iespēju novērtējums

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>sustainability</i> 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 – minerālmēsļu 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 (Priedit & 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 yr ⁻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; Priedit & 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). Pētījumi, kā potenciāli negatīvu blakus efektu min lauksaimniecības zemes platības samazināšanos un potenciālu pārtikas cenu pieaugumu (Doelman

Potenciāla oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbība	Potenciālas oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbības sākotnējais <i>sustainability</i> kritērija izpildes iespēju novērtējums
	u.c., 2020). Ir pētījumi, kas apšaubā 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 pārnesē (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).

Secinājumi

1. Nepieciešams sekot ES oglekļa piesaistes ekspertu grupas (CREG, E03861) darbam, izsakot priekšlikumus attiecībā uz sertifikācijas metodoloģijas izstrādi nacionāli nozīmīgiem un potenciāli efektīviem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem, kuru ietekmes novērtēšanai Latvijā ir pieejami dati un ir izstrādāta metodoloģija. Tie būtu LIFE OrgBalt pētījumu projektā "Klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju demonstrēšana auglīgās organiskajās augsnēs Baltijas valstīs un Somijā" (LIFE OrgBalt, LIFE18 CCM/LV/001158) ietvertie pasākumi, kā arī daļa no pasākumiem, kuri tiks ietverti ZIZIMM sektora SEG emisiju samazināšanas un CO₂ piesaistes palielināšanas ilgtermiņa vīzijā jeb stratēģijā.
2. ZIZIMM sektora SEG emisiju samazināšanā un CO₂ piesaistes palielināšanā būtiskākais potenciāls ir pasākumiem, kas saistīti ar kokaugu audzēšanu. Tie būtu nacionāli atbalstāmi arī oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbību ieviešanas kontekstā.
3. Nepieciešams veikt esošās situācijas novērtējumu (atbalstošie un kavējošie apstākļi, esošās iniciatīvas, institucionālā kapacitāte, zinātniskā atbalsta kapacitāte) oglekļa saistīgas lauksaimniecības darbību realizācijai un sertifikācijai Latvijā.

Pārskata autori Ieva Līcīte, Linards Ludis Krumšteds un Andis Lazdiņš.

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

Pētījuma ietvaros iegūti empīriski dati par augsnes heterotrofās elpošanas radītajām CO₂, N₂O un CH₄ emisijām no augsnes un oglekļa ienesi ar augu atliekām palieņu augsnēs. 2023. gadā turpināta iepriekšējā gadā uzsāktā empīrisko datu ieguve augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju no augsnes un oglekļa ieneses ar augu atliekām raksturošanai trijos zālajos un uzsāktā empīrisko datu ieguve trijās sējplatībās, tai skaitā, balstoties uz literatūras datiem, vērtēta oglekļa ienese ar kūtsmēsliem ganībās un no kūtsmēslu krātuvēm. Izmēģinājumu objektus ierīkoja un mērījumus veica Agroresursu un ekonomikas institūta Stendes pētniecības centrs. Pārskata autori Inga Jansone, Sanita Zute, Andis Lazdiņš un Aldis Butlers.

Pētījuma metodika

Abavas ielejas palieņu pļavu raksturojums

Palienes lauks pie Pūres tilta (Pūre – *N* 57 02`20.86; *E* 22 53`54.4) pieder saimniecībai, kas nodarbojas ar liellopu audzēšanu, lauku izmanto gan zālāja pļaušanai (siena, skābsiena gatavošanai), gan ganīšanai. Zālāju nevar uzskatīt par 100% dabīgu zālāju, jo ir norādes, kas liecina, ka pirms 5...10 gadiem lauks arī izmantots kā aramzeme. 2023. gadā – zālāju pļava, kas izmantota kā ganības, nogaišanu veicot pa blokiem. Biomasas uzskaitēi pirmā zālaugu raža novākta zālaugiem sasniedzot attīstībā stiebrošanu/ziedēšanu, kas meteoroloģisko apstākļu dēļ bija vēlāks, to ietekmēja vēsais maijs un sausums pavasarī (29.06.2023) Otrā biomasas raža novākta augustā (24.08.2023), trešā – 16.10.2023, ievācot arī sakņu biomasas paraugus. CO₂ gāzu, augsnes mitruma un temperatūras mērījumi, kā arī gruntsūdeņu dziļuma mērījumi tika veikti uz lauka 2022. gadā iekārtotajos trīs uzskaites laukumi dažādos lauka virsmas augstumos virs upes līmeņa. Pirmā uzskaites platība tuvu upes krastam, kur bagātīgi uzkrājas plūdu sanesumi, augsnes virskārta auglīga – aug nātres un citi platlapji ar lielu biomasu. Otrā un trešā uzskaites vieta pēc zālāja sastāva līdzvērtīga – pamatā stiebrzāles un platlapju apakšzāles – pienenes, skābenes, šaurlapu ceļtekas u.c.



Att. 17. 16.03.2023, Pūres tilta lauks.



Att. 18. 22.08.2023, Pūres tilta lauks.



Att. 19. 16.10.2023, Pūres tilta lauks.

Lauks pie Zvejnieku tilta Abavas upes labajā krastā (Riebiķi – $N 57^{\circ}00'39.1'' E 22^{\circ}44'13.41''$). Dabīgs zālājs upes krastā - pļava, kas pavasaros applūst, laika gaitā veidojies/izskalojies nelīdzens reljefs ar ieplakām, kas palu vai citu apstākļu ietekmē bieži applūst. Lauku neizmanto aktīvai saimnieciskai darbībai. Īpašnieki zālāju nopļauj reizi gadā un novāc. Zālāja noaugums/ biomasa novērtēta līdzīgos periodos kā Pūres laukā – pirmā raža vākta 29.06.2023, otrā - 23.08.2023 trešā – 2.10.2023, vienlaikus ievācot arī sakņu masu 20 cm dziļumā. Zālāja struktūrā daudz platlapju un liela auguma stiebrzāles.



Att. 20. 16.03.2023, Riebiķu lauks.



Att. 21. 10.07.2023, Riebiķu lauks 3. punkts.



Att. 22. 04.08.2023, Riebiķu lauks 3. punkts.



Att. 23. 16.09.2023, Riebiķu lauks 2. punkts.



Att. 24. 20.06.2023, pēc pirmā plāvuma paraugu ievākšanas Riebiķos.

Lauks pie Zvejnieku tilta Abavas upes kreisajā krastā (Bugas – *N 57 00`35.66; E 22 44`14.6*). Dabīgs zālājs, kas tiek regulāri noganīts iekārtotas pastāvīgas gaļas liellopu ganības, ļaujot dzīvniekiem brīvi pārvietoties visas sezonas laikā. Lauka reljefs līdzens, augsne smilšaina. Zālāja struktūra smalka – maura retējs, baltais āboliņš, smilgas u.c. Atsevišķas seklas ieplakās, kur mitrums uzkrājas lietus laikā. 2023. gada pirmā puse bija ar mazu nokrišņu daudzumu, kas nelabvēlīgi ietekmēja zālāja ataugšanu. Liellopi ganības atradās visu sezonu, līdz ar to jūnijā, augustā nebija iespējams paņemt augu paraugus, jo bija noganīts. Ganībās nav iespējams norobežot teritoriju, tā tiek regulāri noganīta. Uzskaitē veikta trīs vietās, kas iekārtota 2022. gadā, vadoties pēc pavasara plūdu dažāda līmeņa atstātām pēdām, tomēr vietu augstuma atšķirības nav izteiktas. Teritorija upes kreisajā krastā ir plaša laukuma paliene. Uzskaites vietas – zemākā ātri apkūstoša, uzkrātas trūdvielas, zālāja struktūrā savairojušās ložņājošās gundegas. Augstākās vietās vairāk stiebrzaļu, smilšaināks.



Att. 25. 16.03.2023, Bugas.



Att. 26. 19.04.2023, Bugas – mērījumu vietas iekārta.



Att. 27. 20.06.2023, Bugas.



Att. 28. 23.10.2023, Bugas 2. punkts, 1. punkts applūdis.

Katrā mērījumu vietā gāzu apmaiņa un vides parametri noteikti 7 reizes sezonā jeb vienu reizi mēnesī visā veģetācijas periodā no aprīļa līdz oktobrim, Mērījumu vietas fiksētas ar GPS pēc koordinātēm. Vietas koordinātas noteiktas ar iekārtu GeoMetr.

Pirms mērījumu veikšanas mērījuma vietu attīra no apauguma un augu atliekām, nezālēm. CO₂ noteikšanai uzstāda iekārtu EGM-5, kas aprīkota ar elpošanas kameru SRC-2. (kameras tilpums 1171 mL, elpošanas laukums – 78 cm², laukuma/tilpuma attiecība 1/15). Katrā vietā veikti 3 mērījumi.

Vienlaikus noteikta augsnes temperatūra (°C) un augsnes mitrums (%), ar iekārtai EGM – 5 pievienotu augsnes mitruma un temperatūras zondi, kura strādā ar Stevens HydraProbe augsnes sensoru, 6-7 cm dziļumā. Katrā vietā, no veģetācijas atbrīvotajos laukumos iegūts viens mērījums.

Visos parauglaukumos 0-80 cm dziļumā ievākti noteikta tilpuma augsnes paraugi (100 cm³ 0-10, 10-20, 20-40 un 40-80 cm dziļumā slāņa vidū, kā arī sajaukti paraugi visā attiecīgo augsnes slāņu biezumā). Paraugi ievākti 2 atkārtojumos. Augsnes analīzes veiktas atbilstoši meža monitoringa programmā ICP forests metodikai, noteiktie parametri CaCO₃, C_{org.}, C_{kop.}, pH_{KCl}, N_{kop.}, C/N, HNO₃ ekstrahējamais P, K, Ca un Mg, kā arī augsnes granulometriskais sastāvs (frakcijas 2000-63 μm, 63-2μm un < 2μm).

Augsnes ķīmisko analīžu rezultāti objektu un parauglaukumu griezumā apkopoti Tab. 26, augsnes granulometriskā sastāva analīžu rezultāti apkopoti Tab. 27. Elementu uzkrājuma aprēķins līdz 80 cm dziļā augsnes slānī aprēķināts Tab. 28. Visos objektos augsnes oglekļa uzkrājums ir būtiski lielāks nekā minerālaugsnēs (Bārdule u.c., 2009; Lazdiņš, 2015). Izņēmums ir 2. un 3. parauglaukums Bugā, kur oglekļa uzkrājums ir būtiski mazāks nekā vidēji minerālaugsnēs.

Tab. 26. Augsnes ķīmisko īpašību analīžu rezultāti

Objekts	PL	Slānis, cm	C _{karb.} , g kg ⁻¹	C _{org.} , g kg ⁻¹	pH _{KCl}	N _{kop.} , g kg ⁻¹	C/N	HNO ₃ ekstrahējamie elementi, mg kg ⁻¹			
								P	K	Ca	Mg
Pure	P1	0-10	0,103	57,68	6,84	5,253	11	4,83	69,08	179,83	152,48
Pure	P1	10-20	0,083	50,94	6,85	4,586	11	4,85	65,77	162,12	140,63

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

Objekts	PL	Slānis, cm	C _{karb.} , g kg ⁻¹	C _{org.} , g kg ⁻¹	pH _{KCl}	N _{kop.} , g kg ⁻¹	C/N	HNO ₃ ekstrahejamie elementi, mg kg ⁻¹			
								P	K	Ca	Mg
Pure	P1	20-40	0,126	33,84	7,24	2,897	12	1,98	54,39	159,07	132,66
Pure	P1	40-80	0,186	19,74	7,22	1,374	14	0,64	44,54	156,46	121,92
Pure	P2	0-10	<0,012	72,97	5,96	7,371	10	9,29	81,09	81,93	103,03
Pure	P2	10-20	<0,012	46,02	5,69	4,935	9	4,82	80,86	75,49	109,22
Pure	P2	20-40	<0,012	23,80	5,65	2,930	8	2,13	71,35	65,94	105,35
Pure	P2	40-80	<0,012	10,77	5,68	1,331	8	0,58	53,25	49,54	90,57
Pure	P3	0-10	<0,012	67,57	5,67	6,878	10	8,85	85,60	75,58	100,92
Pure	P3	10-20	<0,012	53,46	5,77	5,841	9	6,26	82,40	73,93	104,56
Pure	P3	20-40	<0,012	40,18	5,66	4,610	9	4,13	75,14	66,55	100,39
Pure	P3	40-80	<0,012	31,47	5,41	3,507	9	2,81	58,97	56,23	96,34
Buga	B1	0-10	<0,012	37,35	5,72	4,389	9	3,11	55,05	53,70	79,68
Buga	B1	10-20	<0,012	24,21	5,58	3,049	8	1,44	49,04	46,71	76,06
Buga	B1	20-40	<0,012	27,98	5,74	3,378	8	1,67	46,96	49,87	80,96
Buga	B1	40-80	<0,012	30,35	5,80	3,654	8	2,03	61,32	68,27	102,27
Buga	B2	0-10	<0,012	14,14	5,53	1,616	9	0,45	12,71	15,34	26,73
Buga	B2	10-20	<0,012	9,13	5,58	1,000	9	0,23	11,13	11,00	23,06
Buga	B2	20-40	<0,012	7,81	5,66	0,949	8	0,23	10,90	10,33	23,66
Buga	B2	40-80	<0,012	0,86	6,10	0,190	5	0,00	3,24	2,88	7,50
Buga	B3	0-10	<0,012	14,08	5,29	1,434	10	0,50	12,30	13,82	26,29
Buga	B3	10-20	<0,012	9,36	5,24	1,101	9	0,26	11,23	11,02	24,82
Buga	B3	20-40	<0,012	6,91	5,28	0,768	9	0,18	11,61	10,40	25,94
Buga	B3	40-80	<0,012	1,01	5,41	0,420	2	0,01	4,66	3,68	10,86
Riebiķi	R1	0-10	<0,012	59,46	6,11	6,115	10	3,71	42,79	56,99	64,76
Riebiķi	R1	10-20	<0,012	34,16	6,02	3,739	9	1,74	39,76	48,65	63,11
Riebiķi	R1	20-40	<0,012	20,45	6,11	2,672	8	0,66	26,06	30,28	47,72
Riebiķi	R1	40-80	<0,012	10,93	6,40	1,428	8	0,36	30,27	34,57	60,21
Riebiķi	R2	0-10	<0,012	52,04	6,05	5,500	9	2,92	39,58	53,46	60,91
Riebiķi	R2	10-20	<0,012	47,54	6,00	4,975	10	2,52	40,40	53,32	63,49
Riebiķi	R2	20-40	<0,012	22,84	6,05	2,815	8	0,92	31,49	38,73	56,42
Riebiķi	R2	40-80	<0,012	2,95	6,30	0,490	6	0,03	10,99	10,74	25,44
Riebiķi	R3	0-10	<0,012	44,42	6,17	4,614	10	2,23	37,56	41,23	52,29
Riebiķi	R3	10-20	<0,012	35,85	6,02	4,017	9	1,82	41,14	43,98	58,46
Riebiķi	R3	20-40	<0,012	17,28	6,16	2,141	8	0,51	20,54	23,88	38,06
Riebiķi	R3	40-80	<0,012	5,97	6,32	0,990	6	0,11	12,96	14,30	26,64

Tab. 27. Augsnes fizikālo īpašību analīžu rezultāti

Objekts	Atkārtojums	Slānis, cm	Granulometriskais sastāvs, %			Augsnes blīvums, kg m ⁻³
			2000-63 μm	63-2μm	< 2μm	
Pure	P1	0-10	42,6	34,4	23,0	906,0
Pure	P1	10-20	45,0	28,2	26,8	1135,2
Pure	P1	20-40	54,7	27,2	18,1	1308,5
Pure	P1	40-80	64,9	18,8	16,3	1100,3
Pure	P2	0-10	17,9	51,2	30,9	801,0
Pure	P2	10-20	21,0	40,5	38,5	1031,4
Pure	P2	20-40	18,3	43,7	38,0	1469,7
Pure	P2	40-80	37,2	35,8	27,0	1567,5
Pure	P3	0-10	23,6	37,1	39,3	914,5
Pure	P3	10-20	26,4	32,2	41,4	1057,7
Pure	P3	20-40	25,4	36,6	38,0	920,4
Pure	P3	40-80	26,4	40,2	33,4	1407,6
Buga	B1	0-10	47,2	32,3	20,5	1165,8
Buga	B1	10-20	47,6	30,1	22,3	1217,1
Buga	B1	20-40	43,9	31,1	25,0	1109,4
Buga	B1	40-80	27,1	37,1	35,8	1650,8
Buga	B2	0-10	86,5	7,4	6,0	1419,3
Buga	B2	10-20	89,2	5,3	5,5	1642,6
Buga	B2	20-40	89,7	4,9	5,4	1656,9
Buga	B2	40-80	97,3	1,2	1,5	1444,3
Buga	B3	0-10	88,8	6,5	4,7	1326,9
Buga	B3	10-20	88,7	5,6	5,7	1431,5
Buga	B3	20-40	87,4	7,0	5,6	1594,7
Buga	B3	40-80	96,2	2,4	1,4	1540,6
Riebiķi	R1	0-10	63,7	17,6	18,7	894,2
Riebiķi	R1	10-20	63,6	18,2	18,2	1136,7
Riebiķi	R1	20-40	74,7	13,0	12,3	1437,0
Riebiķi	R1	40-80	66,8	18,0	15,2	1487,6
Riebiķi	R2	0-10	61,5	19,5	19,0	829,2
Riebiķi	R2	10-20	62,0	18,5	19,5	1058,7
Riebiķi	R2	20-40	66,0	18,4	15,6	1606,9
Riebiķi	R2	40-80	90,7	4,2	5,1	1556,3
Riebiķi	R3	0-10	70,1	14,5	15,4	897,5
Riebiķi	R3	10-20	71,3	13,7	15,0	1107,2
Riebiķi	R3	20-40	80,0	9,5	10,5	1599,2
Riebiķi	R3	40-80	85,1	9,0	5,9	1680,9

Tab. 28. Oglekļa un citu elementu uzkrājums augsnē

Objekts	PL	Slāņa masa, tonnas ha ⁻¹	Ckarb., tonnas ha ⁻¹	Corg., tonnas ha ⁻¹	Nkop., tonnas ha ⁻¹	C/N	HNO ₃ ekstrahējamie elementi, kg ha ⁻¹			
							P	K	Ca	Mg
Buga	B1	11 205	0,0	335,4	40,5	33	633,0	22,5	680,9	1040,4
	B2	12 153	0,0	65,9	8,2	31	91,1	1,8	90,7	197,6
	B3	12 110	0,0	60,3	8,5	30	98,2	1,6	89,9	220,1
Pūre	P1	9059	1,3	285,5	23,6	48	475,6	17,9	1451,9	1181,6
	P2	11 042	0,0	243,4	28,0	35	692,0	22,3	647,9	1072,7
	P3	9443	0,0	369,5	40,7	37	635,8	38,1	586,4	930,1
Riebiķi	R1	10 855	0,0	215,8	25,9	34	338,5	9,3	399,0	625,1
	R2	11 327	0,0	185,2	21,9	33	245,2	8,2	292,1	457,4
	R3	11 927	0,0	175,0	22,1	33	232,1	6,4	258,2	412,5

Pētījuma ietvaros noteikta augsnē ienestā biomasa, ņemot zāles paraugus pēc 1., 2. un 3. ļaušanas. Pēc pēdējās ļlaušanas ievākta pazemes biomasa. Vidēji pazemes biomasa ir 25,0 tonnas ha⁻¹, tajā skaitā objektā Bugas 30,6 tonnas ha⁻¹; objektā Pūre 19,5 tonnas ha⁻¹ un objektā Riebiķi 24,9 tonnas ha⁻¹. Būtiska atšķirība dažādos objektos nav konstatēta, lai gan tas var būt saistīts arī ar lielu datu izkliedi. Vidējā virszemes biomasa, kas iegūta gāzu apmaiņas mērijumu objektos, atbilst 4,5 tonnām ha⁻¹, no 3,8 tonnām ha⁻¹ līdz 5,1 tonnām ha⁻¹. Atšķirība nav statistiski būtiska. ļlaušanā iegūtā biomasa atbilst vidēji 7,7 tonnām ha⁻¹.

Aramzemes palieņu augsnē un dažādi augsnē apstrādes ņēmieni

Mērijumi 2023. gadā veikti 3 saimniecībās (Tab. 29).

Tab. 29. Lauku koordinātes

Saimniecība	Pagasts	Lon	Lat	Augsnes apstrādes izmēģinājumu varianti ²	Mērijumu gads
Rietumi	Smiltenes nov.	026 25.060	57 27.785	3 – A, MA, TS	2021; 2022 2023
Mētru lauks, Pūre (aluviālā augsne)	Tukuma nov.	022 53.182	57 02.882	1– A	2023
Priednieku lauks, Pūre (aluviālā augsne)	Tukuma nov.	022 52.933	57 02.933	1– A	2023

Darbs uz lauka: Katram izmēģinājuma variantam veikti mērijumi 10 reizes sezonā jeb vienu reizi trīs nedēļās visā veģetācijas periodā no aprīļa (pēc sējas)

² A – tradicionāli – augsne apvērsta arot 20 - 22 cm ; MA – minimālā augsnes apstrāde līdz 10-15 cm bez apvēršanas; TS – sēja veikta bez augsnes apvēršanas, tiešā sēja

līdz novembrim (pēc ražas novākšanas) , iezīmētas katrā augsnes apstrādes variantā 3 mērījumu vietas, kuras veikti mērījumi 3 atkārtojumos, kas fiksētas ar GPS pēc koordinātēm. Vietas koordinātas noteiktas ar mērīšanas iekārtu GeoMetr.

Mērījumu veikšana notiek iezīmētas vietas, kur augsne ir nosepta, mērījumu laikā atsedz iezīmēto vietu, CO₂ noteikšanai uzstāda iekārtu EGM-5 , kas aprīkota ar elpošanas kameru SRC-2. (kamaras tilpums 1171 mL, elpošanas laukums – 78 cm², laukuma/tilpuma attiecība 1/15).

Vienlaikus noteikta augsnes temperatūra (C°) un augsnes mitrums (%), ar iekārtai EGM – 5, pievienotu augsnes mitruma un temperatūras zondi, kura strādā ar Stevens HydraProbe augsnes sensoru, 6-7 cm dziļumā.

Tab. 30. Lauku un paraugu ievākšanas vietu koordinātes

Vieta	Apstrādes veids	Mērījuma vieta	Mērījuma punkti	Lon	Lat
Smiltene	Tiešā sēja	I	1,2,3	26°25.14946	57°27.79403
	Tiešā sēja	II	4,5,6	26°25.08956	57°37.76493
	Tiešā sēja	III	7,8,9	26°25.08956	57°37.76493
	Min. apstrāde	III	10,11,12	26°25.02305	57°27.73223
	Min. apstrāde	II	13,14,15	26°24.99295	57°27.75213
	Min. apstrāde	I	16,17,18	26°25.06005	57°27.78563
	Aršana	I	19,20,21	26°25.11705	57°27.81453
	Aršana	II	22,23,24	26°25.10196	57°27.82443
	Aršana	III	25,26,27	26°25.04375	57°27.79603
Rapsis	Aršana	I	1,2,3	22°53.111	57°02.892
		II	4,5,6	22°53.182	57°02.882
		III	7,8,9	22°53.160	57°02.870
Kvieši	Aršana	I	1,2,3	22°52.913	57°02.918
		II	4,5,6	22°52.927	57°02.935
		III	7,8,9	22°52.906	57°02.904

Saimniecību raksturojums aramzemēs izvietotajos objektos

Lauku apsaimnieko saimniecība “Rietumi” Grundzāles pagastā, Smiltenes novadā. Laukā mērījumi tiek turpināti 3. gadu trīs slejās ar atšķirīgu augsnes apstrādes metodi – arums, minimālā apstrāde un tiešā sēja. 2022. gada rudenī sētie ziemas kvieši nepārziemoja, tāpēc saimnieks pieņēma lēmumu, lietot herbicīdu un lauku pārsēt ar lauku pupam. Sēja veikta maija pirmajā dekādē (2. maijā), pirms sējas laukam dots pamatmēslojums 150 kg YaraMila NPK(S) 14-14-21. Izpētes objekti attēlos parāditi Att. 29.



24.04.2023



29.06.2023



29.06.2023, "Rietumi", lauku pupas, tiešā seja



29.06.2023, "Rietumi", minimālā apstrāde



01.07.2023, "Rietumi", arums



02.11.2023, "Rietumi", ziemāji, minimālā apstrāde

Att. 29. Izmēģinājumu objekti augsnes apstrādes ietekmes raksturošanai.

Otro lauku Abavas palieņu augsnē apsaimnieko saimniecība "Priednieki" (turpmāk tekstā Priednieku lauks, Att. 30). Pūres pagastā izmēģinājums iekārtots pirmo gadu, tuvu Abavas un Pūres upes sateces vietai – palieņu applūstošos laukos. Ziemas kviešu laukā iekārtots izmēģinājums, kur mērījumus veica trīs vietās, katrā 3 atkārtojumos. Lauka pārplūšanas dēļ 2023. gadā N virsmēslojums ziemas kviešiem pavasarī nav dots.



19.04.2023, Priednieku lauks



19.04.2023, lauka iekārtošana Priedniekos

Att. 30. Priednieku lauks.

Trešo lauku palieņu augsnē apsaimnieko SIA “Mētras zemes” (turpmāk Mētru lauks, Att. 31). Pūres pagastā izmēģinājums ir iekārtots pirmo gadu palieņu applūstošos laukos. Izmēģinājums iekārtots ziemas rapšu laukā trīs vietas, katra 3 atkārtojumos. Rapsim 2023. gadā ir dots 2 reizes slāpekļa virsmēslojums: 1) N21S24 14.04.23 – deva 300 kg ha⁻¹; 2) N33 21.04.2023 – deva 200 kg ha⁻¹. 2023. gadā septembra nogalē laukā iesēti ziemas kvieši. Rudens lietās lauks daļēji applūda.



Mērījumi, 02.06.2023 un 06.10.2023



15.09.2023, mērījumi rapša rugainē



24.10.2023, Mētru lauks, ziemas kvieši

Att. 31. Mētru lauks.

Ražas 2023. gadā parādītas Tab. 31.

Tab. 31. Lauku pupas, saimniecībā Rietumi, Smiltenes novadā, t ha⁻¹

Varianti: augsnes apstrādes veids	Mērījuma vietas	Raža, t ha ⁻¹ , standarta mitrums 14%
Tiešā sēja	I	0,53
	II	0,44
	III	0,81
Minimālā apstrāde	I	0,79
	II	0,65
	III	0,78
Arts	I	0,87
	II	0,79
	III	0,56

Tab. 32. Rapša raža Mētru laukā, t ha⁻¹

Mērījuma vieta uz lauka	Rapša raža, t ha ⁻¹ , pie 8% mitruma
I	4,91
II	6,64
III	8,09

Tab. 33. Ziemas kviešu raža Mētru laukā, t ha⁻¹

Mērījumu vieta uz lauka	Raža, t ha ⁻¹ , pie 14% mitruma
I	2,87
II	1,39
III	3,04

Ražu veidošanos saimniecību laukos nodrošina barības vielu nodrošinājums, meteoroloģiskie apstākļi. Pavasara sausums ietekmēja vasarāju ražas, lauku pupas sētas tiešajā sēja lēni sadīga. Straujāk sadīga pupas, kas sētas augsni sastrādājot. Tomēr siltais rudens kavēja pupu nobriešanu, un pie šāda mitruma un siltuma strauji izplatījās rūsa. Kas nelabvēlīgi ietekmēja pupu ražu.

Kviešu laukā bija izteikts barības vielu trūkums, vasarā, ražas veidošanās laikā bija izteikti sauss laiks un piedevām lauks 2x sezonā bija daļēji applūdis. Notika barības vielu izskalošanās. Augi bija maza auguma, vāji attīstītām vārpām. Pēc datiem papildus mēslojumā slāpekļis netika dots, līdz ar to arī ražas līmenis bija zems.

Rapšiem raža bija vidēja, rapši ražas sāk veidot jau iepriekšējā gada rudenī. Līdz ar to raža bija stabilāka, augstāka. Arī daļa no rapša lauka bija applūdusi vasaras periodā, kad Abavas upes līmenis strauji cēlās, tas ietekmēja 1 punkta rapša ražu. 2 un 3 punkta ūdens līmeņa celšanās upe neietekmēja, ņemot vērā doto papildus mēslojumu, tika nodrošināta vidēja rapša raža.

Meteoroloģisko datu raksturojums 2023. gadā

Gaisa vidējā temperatūra LBTU Pūres meteoroloģiskajā stacijā apkopotas Tab. 34, nokrišņu dati Tab. 35; attiecīgie dati no Grundzāles meteoroloģiskās stacijas apkopoti Tab. 36 un 37.

Tab. 34. Gaisa vidējā temperatūra

Mēneši	Temperatūra, C°				Ilggadīgie Stendes NS ³	Novirze no ilggadīgajiem
	I	II	III	Vidēji		
Janvāris	1,3	1,4	-0,3	0,7	-3,2	4,0
Februāris	-0,4	1,5	-1,6	0,0	-3,0	3,0
Marts	-1,5	2,1	3,9	1,6	0,0	1,6
Aprīlis	3,4	9,2	8,8	7,1	5,8	1,3
Maijs	6,5	12,6	13,4	10,9	11,0	-0,1
Jūnijs	12,6	18,0	19,1	16,6	14,6	2,0
Jūlijs	16,7	17,7	15,5	16,6	17,3	-0,7
Augusts	17,6	19,3	17,3	18,0	16,6	1,4
Septembris	15,6	15,2	15,7	15,5	12,0	3,5
Oktobris ⁴	10,0	7,1	4,5	7,2	6,8	0,4

Tab. 35. Nokrišņi LBTU Pūres meteoroloģiskajā stacijā

Mēneši	Nokrišņi, mm				Ilggadīgie Stendes NS ⁵	Norma %
	I	II	III	Summa		
Janvāris	0,0	5,0	7,4	12,4	47,6	26
Februāris	1,4	19,0	2,8	23,2	36,5	64
Marts	3,8	9,8	13,2	26,8	30,7	87
Aprīlis	6,2	1,2	8,6	16,0	36,5	44
Maijs	2,0	10,2	0,0	12,2	50,0	24
Jūnijs	3,2	5,2	25,0	33,4	71,0	47
Jūlijs	29,2	14,8	50,4	94,4	88,5	107
Augusts	82,8	27,4	78,8	189,0	88,0	215
Septembris	30,8	21,2	14,0	66,0	61,5	107
Oktobris	44,0	39,4*	34,0*	117,4	77,1	152

³ Ilggadīgiem dati izmantoti no tuvākās valsts meteoroloģiska stacija.

⁴ LBTU Pūres meteoroloģiska stacija nebija datu, tika aizstāti ar tuvākās Stendes NS datiem.

⁵ LBTU Pūres meteoroloģiska stacija nebija datu, tika aizstāti ar tuvākās Stendes NS datiem.

Tab. 36. Gaisa vidējā temperatūra Grundzāles meteoroloģiskajā stacijā

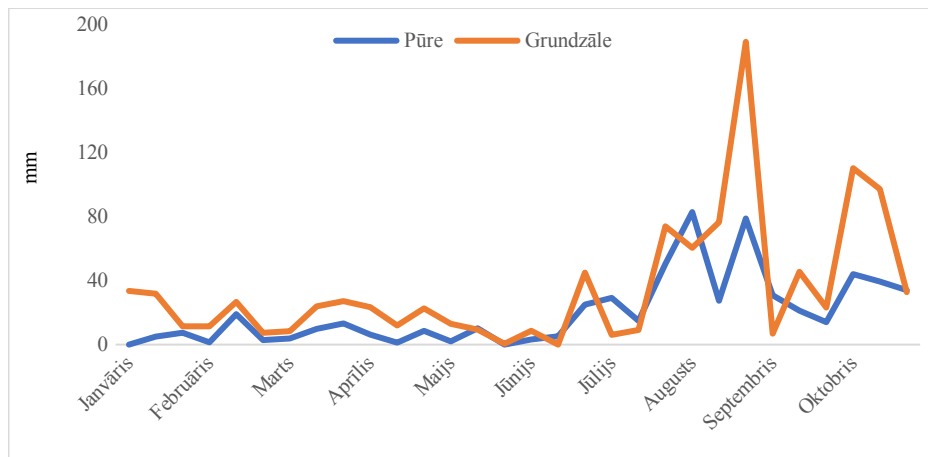
Mēneši	Temperatūra, C°				Ilggadīgie Gulbenes NS ⁶	Novirze no ilggadīgajiem
	I	II	III	Vidēji		
Janvāris	-5,0	1,4	-1,4	-1,7	-4,5	2,8
Februāris	-1,6	0,1	-5,3	-2,0	-4,6	2,6
Marts	-2,3	1,7	3,7	1,1	-0,5	1,6
Aprīlis	3,2	9,2	10,1	7,5	6,2	1,3
Maijs	6,2	13,2	13,4	11,0	11,8	-0,8
Jūnijs	12,5	19,1	18,8	16,8	15,4	1,4
Jūlijs	16,2	17,6	16,2	16,6	17,8	-1,2
Augusts	19,0	19,9	17,8	18,8	16,5	2,3
Septembris	15,2	15,2	15,7	15,4	11,4	4,0
Oktobris	9,1	6,6	2,2	5,9	5,6	0,3

Tab. 37. Nokrišņi daudzums Grundzāles meteoroloģiskajā stacijā

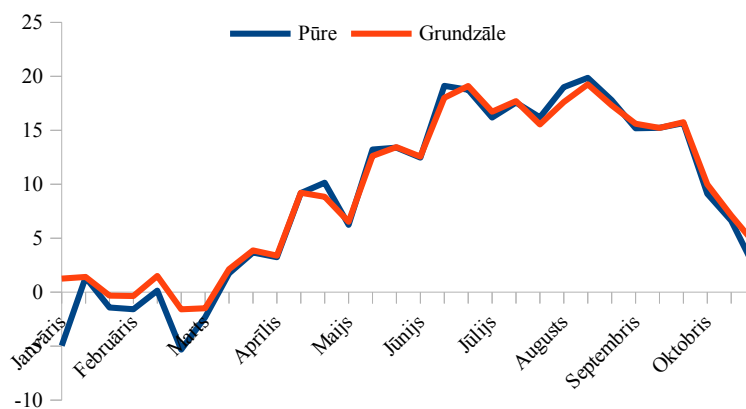
Mēneši	Nokrišņi, mm				Ilggadīgie Gulbenes NS ⁷	Norma, %
	I	II	III	Summa		
Janvāris	33,5	31,8	11,4	76,8	46,1	166
Februāris	11,4	26,7	7,4	45,4	38,1	119
Marts	8,4	23,9	27,2	59,4	36,7	162
Aprīlis	23,4	12,0	22,6	57,9	34,7	167
Maijs	13,0	9,4	0,5	22,9	57,5	40
Jūnijs	8,6	0,0	45,0	53,6	78,1	69
Jūlijs	6,1	9,2	73,9	89,2	71,8	124
Augusts	60,5	76,5	189,2	326,1	70,6	462
Septembris	6,9	45,5	23,1	75,4	53,5	141
Oktobris	110,2	97,1	32,8	240,1	68,1	353

⁶ Ilggadīgie dati izmantoti no tuvākās valsts meteoroloģiska stacija.

⁷ Ilggadīgie dati izmantoti no tuvākās valsts meteoroloģiska stacija.



Att. 32. Nokrišņu dinamika.



Att. 33. Temperatūras dinamika.

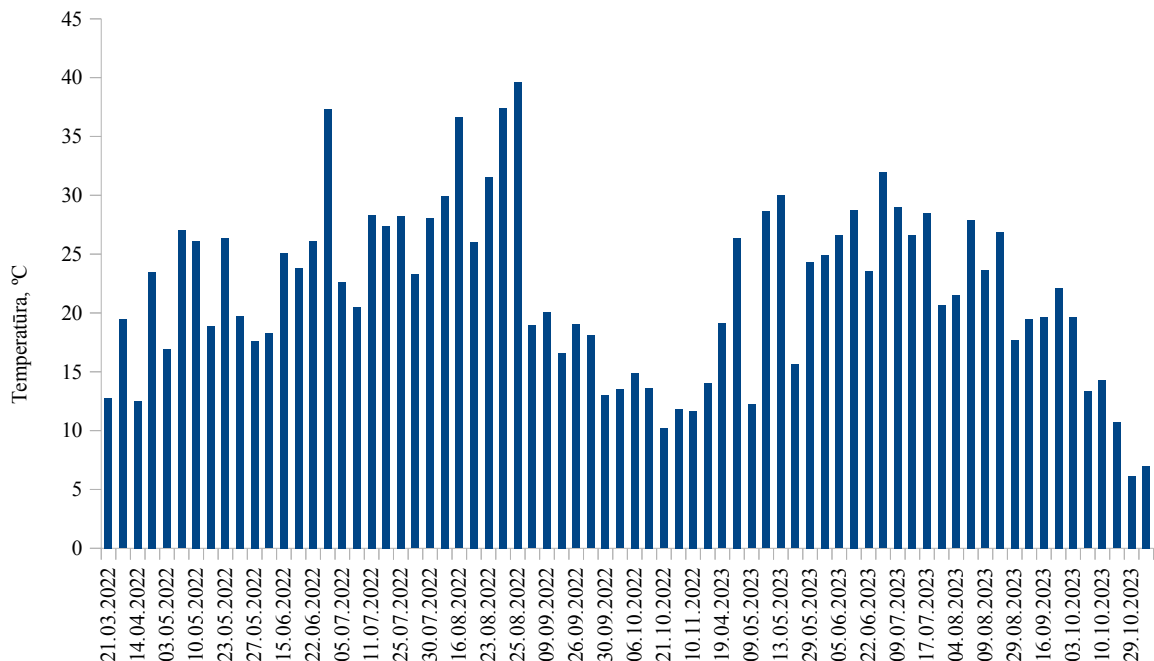
Gaisa temperatūras režīms starp lokācijas vietām atšķirās gada pirmajā ceturksnī, kad fiksētā gaisa temperatūra Pūres meteoroloģiska stacija bija zemāka, salīdzinot ar Grundzālē fiksēto. Visa gada garumā vidējās mēneša gaisa temperatūras bija augstākas par vidējiem ilggadīgiem rādītājiem, izņemot maiju un jūliju, kur visās izmēģinājuma vietās bija zemāka temperatūra, salīdzinot ar ilggadīgiem datiem. Vērtējot visa gada garumā, ir vērojams temperatūras režīma palielinājums 1,4-1,6 °C gada griezumā. Īpaši silts ir septembra mēnesis 3-4 °C augstāka temperatūra, nekā ilggadīgos novērojumos. Rezultātā veģetācija turpināja strauji attīstīties septembra un oktobra mēnešos. Veģetācijas augšana turpinājās arī novembra 1. dekādē.

Nokrišņu nodrošinājums izmēģinājumu vietās bija atšķirīgs. Kurzemes pusē līdz jūnija beigām bija ļoti sauss, mitruma nodrošinājums bija zems. Kas negatīvi ietekmēja laukaugu sadīgšanu un attīstību. Turpretī Vidzemes pusē nokrišņu daudzums līdz aprīļa beigām pārsniedza ilggadējo normu. Maijs un jūnijs izmēģinājumu vietās bija sauss, un maija mēnesis bija arī aukstāks. Ar jūlija mēnesi sākās lietavas, un nokrišņu daudzums līdz pat oktobra beigām vairākkārt pārsniedza ilggadējos rādītājus. Augsnes izmēģinājumu vietas bija pārsātināta ar

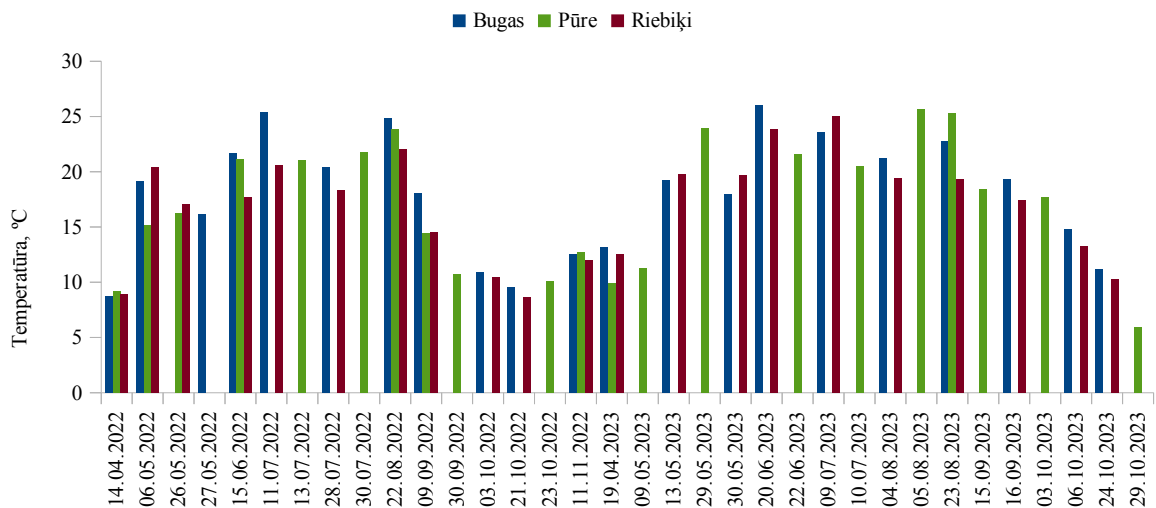
mitrumu. Palienu pļavas Abavas krastos šogad jau 4 reizes bija pārplūdušas. Lielākais nokrišņu daudzums ir fiksēts augusta III dekādē Grundzālē – 189 mm, Pūrē augusta I dekādē – 83 mm.

SEG emisiju mērījumu rezultāti

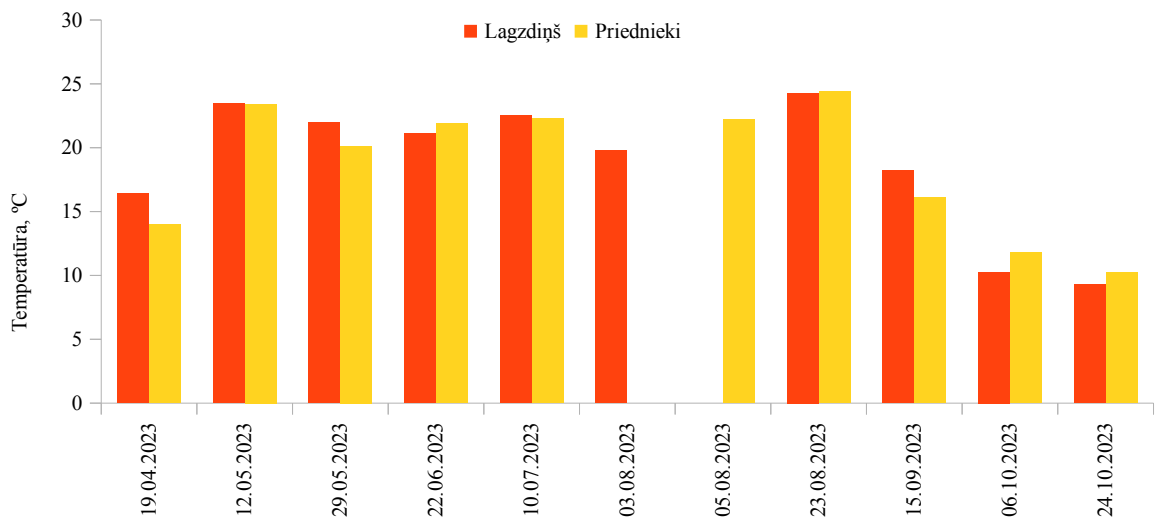
Gaisa temperatūra augsnes heterotrofās elpošanas mērījumu un gāzu paraugu vākšanas laikā parādīta Att. 34. Mērījumi nav veikti ziemas un pavasara mēnešos. Zemākā temperatūra mērījumu laikā rudenī bija 5 °C, bet pavasarī mērījumi sākās, kad gaisa temperatūra pārsniedza 10 °C. Augsnes temperatūra gāzu apmaiņas mērījumu laikā zālajos parādīta Att. 35, bet 2023. gadā ierīkotajos objektos aramzemēs – Att. 36.



Att. 34. Gaisa temperatūra gāzu apmaiņas mērījumu laikā.

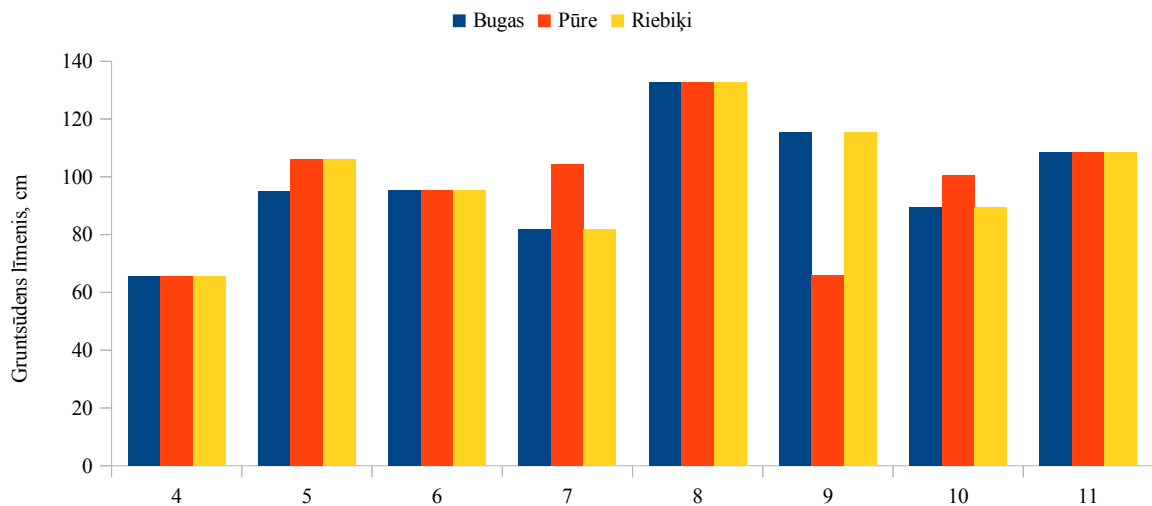


Att. 35. Augsnes temperatūra gāzu apmaiņas mērījumu laikā zālajos.



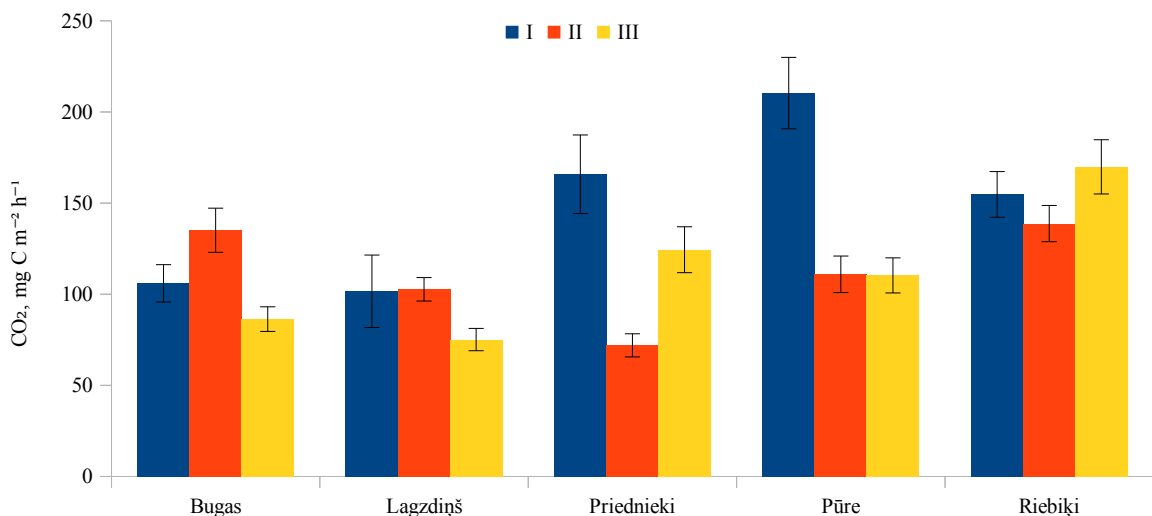
Att. 36. Augsnes temperatūra gāzu apmaiņas mērījumu laikā aramzemēs.

Gruntsūdens līmenis mērīts tikai zālajos, jo aramzemēs veģetācijas sezonas laikā tas bija dziļāks par 1,5 m un, visticamāk, neietekmēja SEG emisijas no augsnēs (Att. 37). Gruntsūdens līmenis visos objektos pakāpeniski pazeminājās veģetācijas sezonas laikā, sasniedzot minimumu vasaras beigās. Pavasara mēnešos visas zālāju platības applūda.



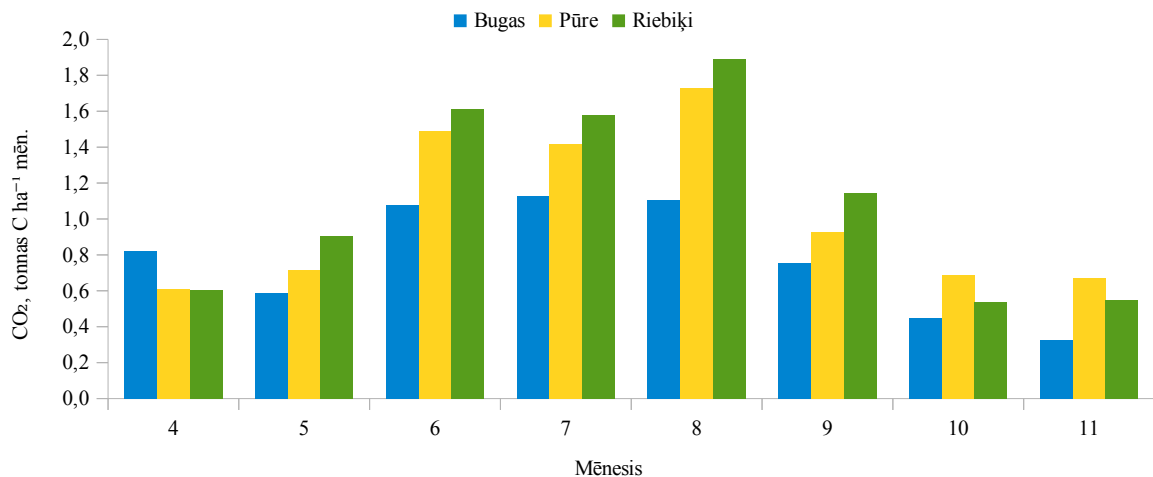
Att. 37. Gruntsūdens līmenis gāzu apmaiņas mērījumu laikā zālajos.

Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumu rezultāti mērījumu vietu griezumā apkopoti Att. 38. Visos gadījumos mērījumu vieta (I) ir vistuvāk upei (zemākā vieta) un mērījumu vieta (III) atrodas visaugstāk – tālāk no upes. Sakarība ar mērījumu vietu nav konstatēta, bet atsevišķos gadījumos konstatēta būtiska atšķirība starp mērījumu rezultātiem.

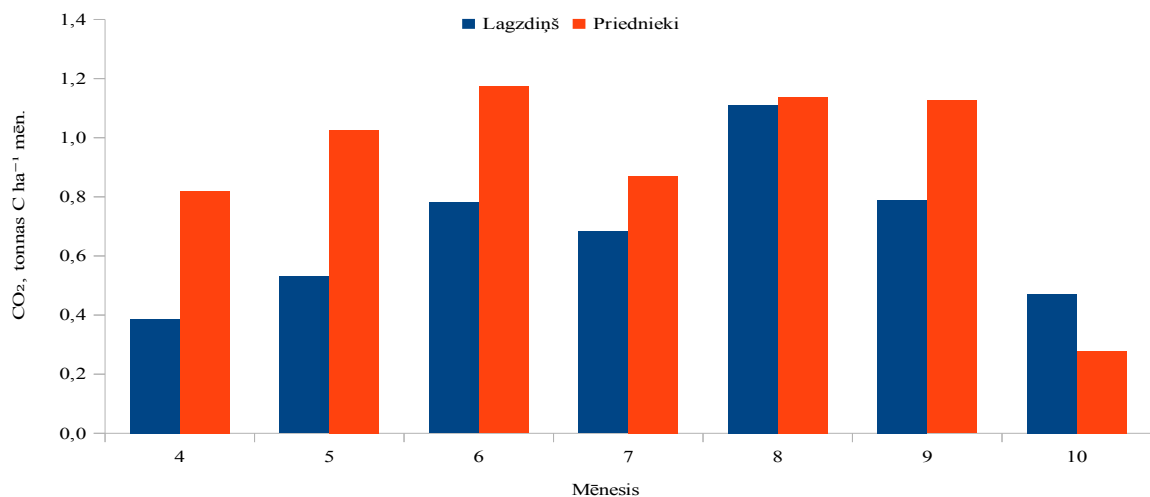


Att. 38. Augsnes heterotrofā elpošana, vidēji mērījumu periodā.

Vidējās ikmēneša heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas zālajos parādītas Att. 39, bet aramzemēs – Att. 40. Emisijas sasniedz maksimumu vasaras mēnešos un samazinās rudens un pavasara mēnešos. Pieņemot, ka ziemas mēnešos emisijas atbilst pirmā un pēdējā mēneša emisiju līmenim, vidējās ar augsnes heterotrofo elpošanu saistītās CO₂ emisijas no augsnes ir $10,1 \pm 1,1$ tonnas CO₂ C ha⁻¹ gadā, bet no aramzemēm – $8,0 \pm 0,7$ tonnas CO₂ C ha⁻¹ gadā. Emisijas no aramzemēm ir būtiski mazākas nekā no zālājiem, taču jāņem vērā, ka emisijas no zālājiem mērītas divas sezonas un emisijas varēja ietekmēt sezonālas atšķirības.

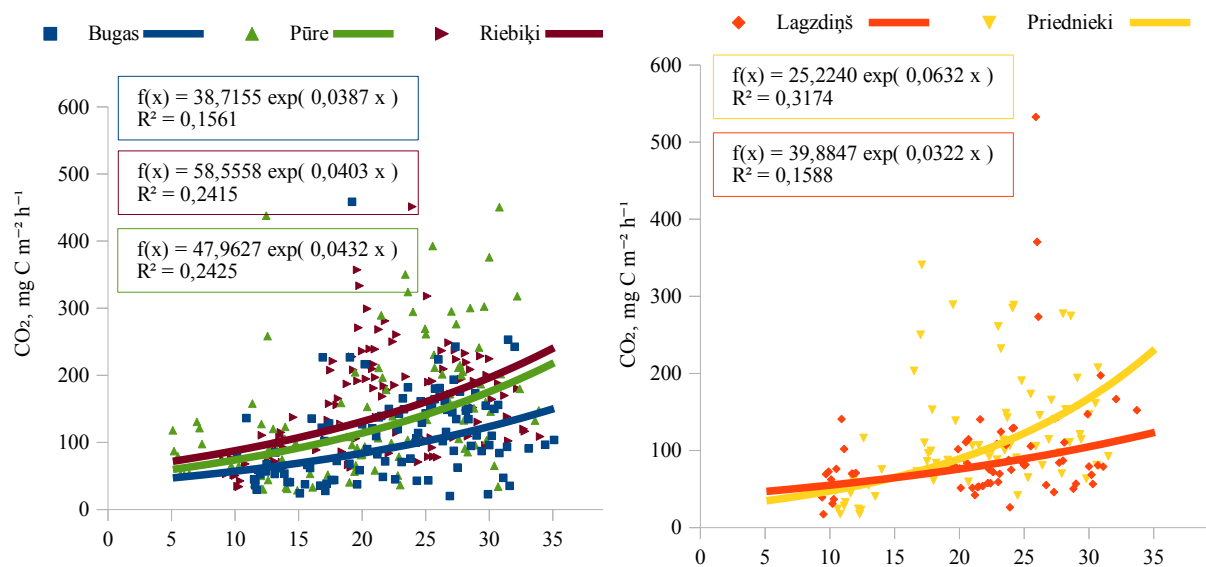


Att. 39. Vidējie ikmēneša heterotrofās elpošanas rezultāti zālajos.

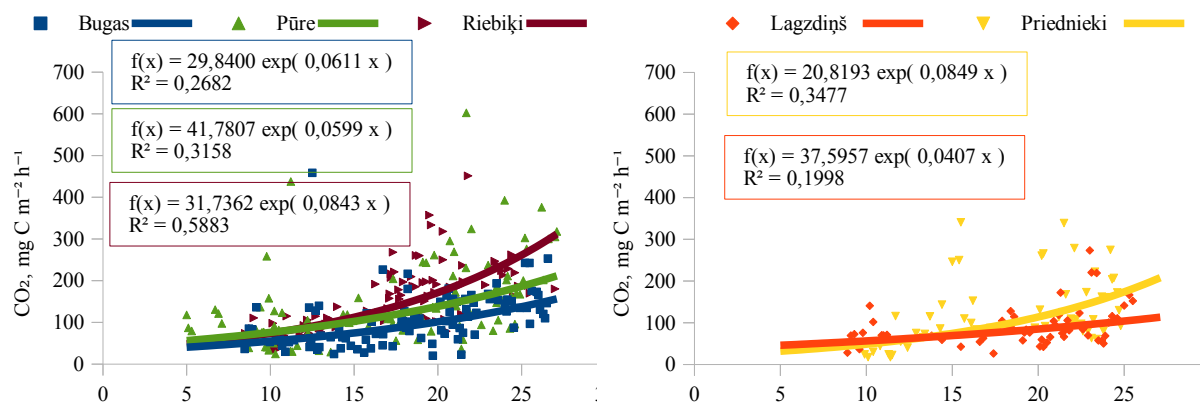


Att. 40. Vidējie ikmēneša heterotrofās elpošanas rezultāti aramzemēs.

Heterotrofās elpošanas radīto emisiju un gaisa temperatūras sakarība parādīta Att. 41. Sakarība ir vāji izteikta, taču šāds rezultāts var būt saistīts ar to, ka mērījumi veikti tikai gada siltajos mēnešos. Kopumā ir izteikta sakarība, ka, pieaugot gaisa temperatūrai, emisijas pieaug. Ciešāka sakarība konstatēta starp heterotrofās elpošanas radītajām emisijām un augsnes temperatūru (Att. 42).



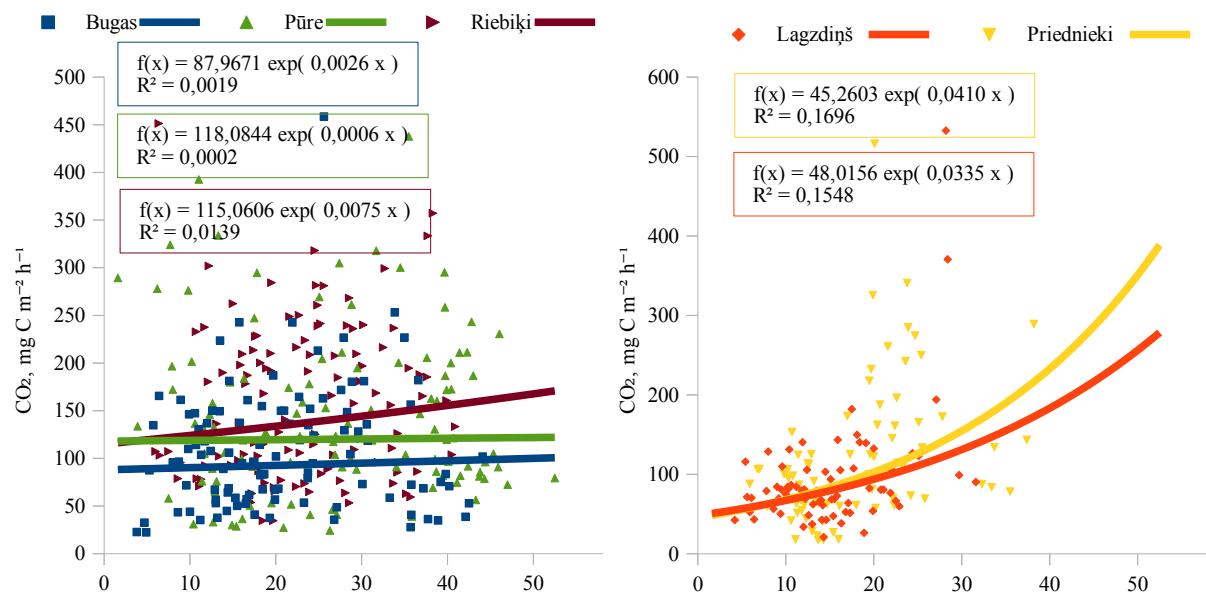
Att. 41. Augsnes heterotrofās elpošanas un gaisa temperatūras sakarība.



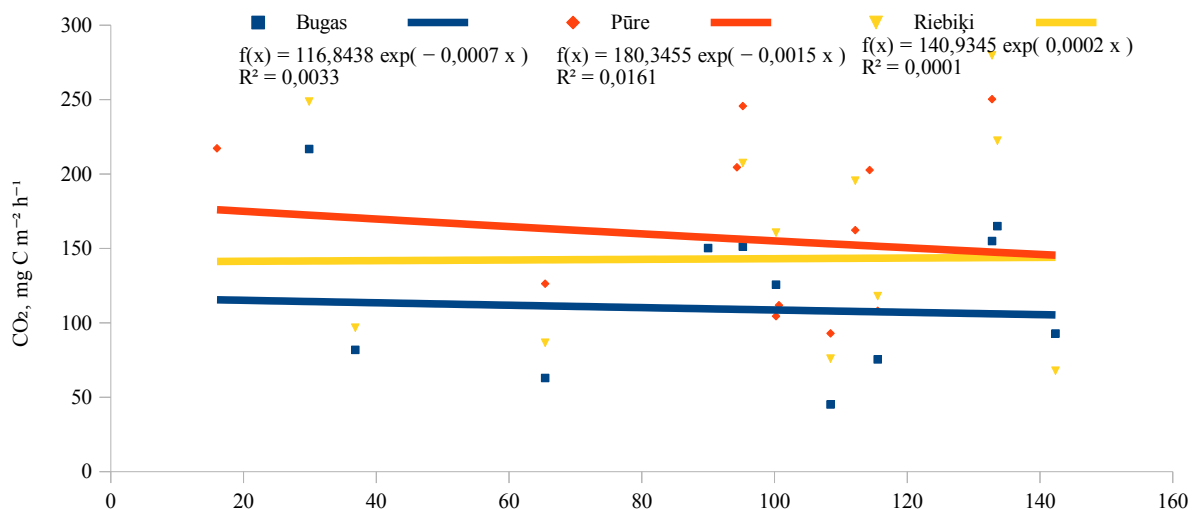
Att. 42. Augsnes heterotrofās elpošanas un augsnes temperatūras sakarība.

Mitruma saturam augsnē nav konstatēta cieša sakarība ar augsnes heterotrofo elpošanu, lai arī aramzemēs konstatēts heterotrofās elpošanas radīto emisiju pieaugums, palielinoties mitruma saturam augsnē (Att. 43). Aramzemēs vidējais augsnes mitruma saturs vidēji ir divas reizes mazāks nekā zālajos.

Heterotrofās elpošanas un gruntsūdens līmeņa sakarība vērtēta zālajos. Korelācija nav konstatēta (Att. 44), lai arī mērījumi nav veikti laikā, kad mērījumu objekti bija applūduši. Vasaras mēnešos gruntsūdens līmenis nokritās dziļāk par 60 cm un, visticamāk, vairs neietekmē ja CO₂ emisijas.

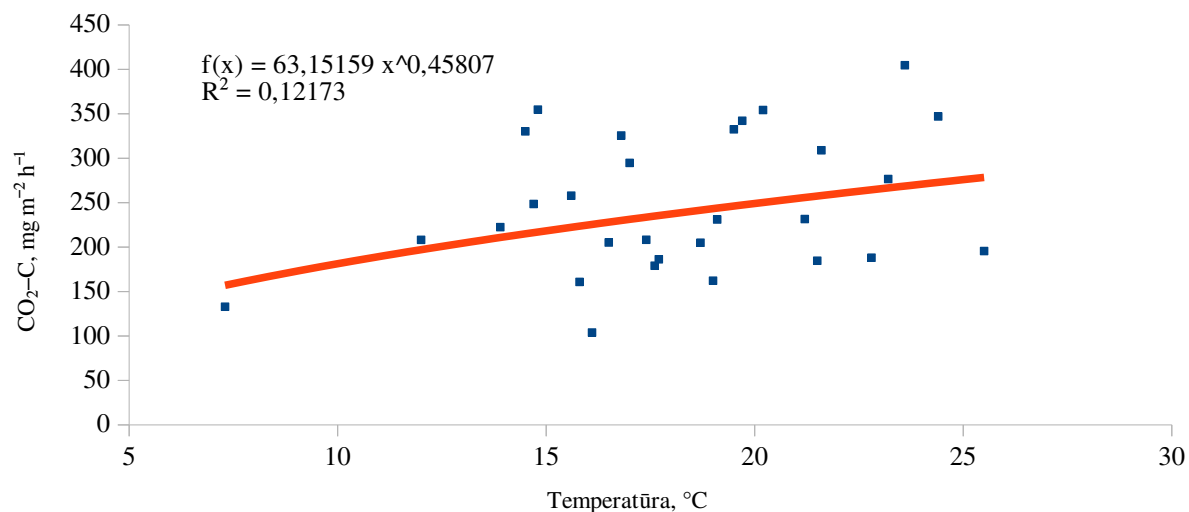


Att. 43. Augsnes heterotrofās elpošanas un mitruma satura augsnē sakarība.

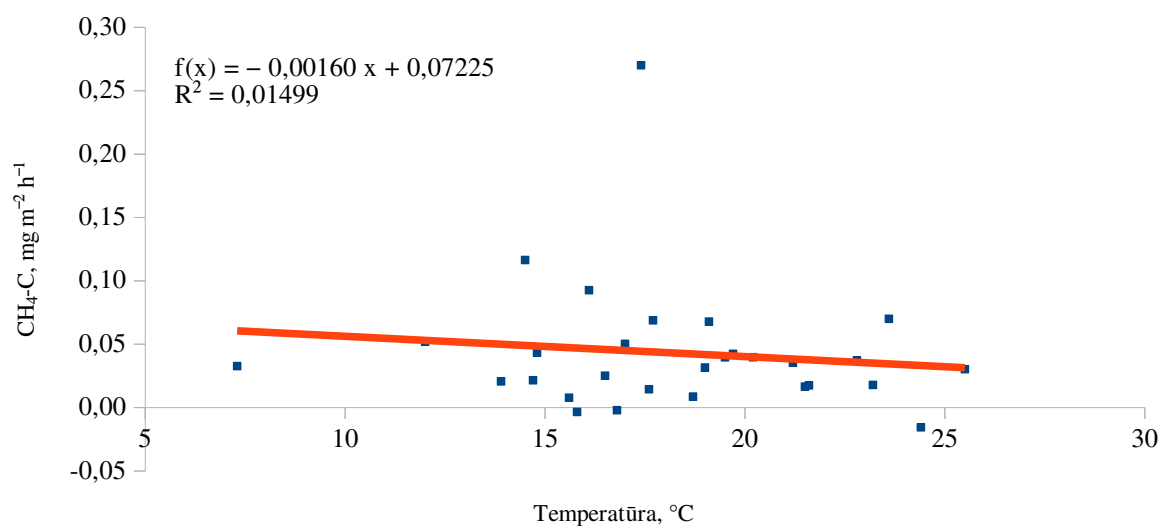


Att. 44. Augsnes heterotrofās elpošanas un gruntsūdens līmeņa sakarība.

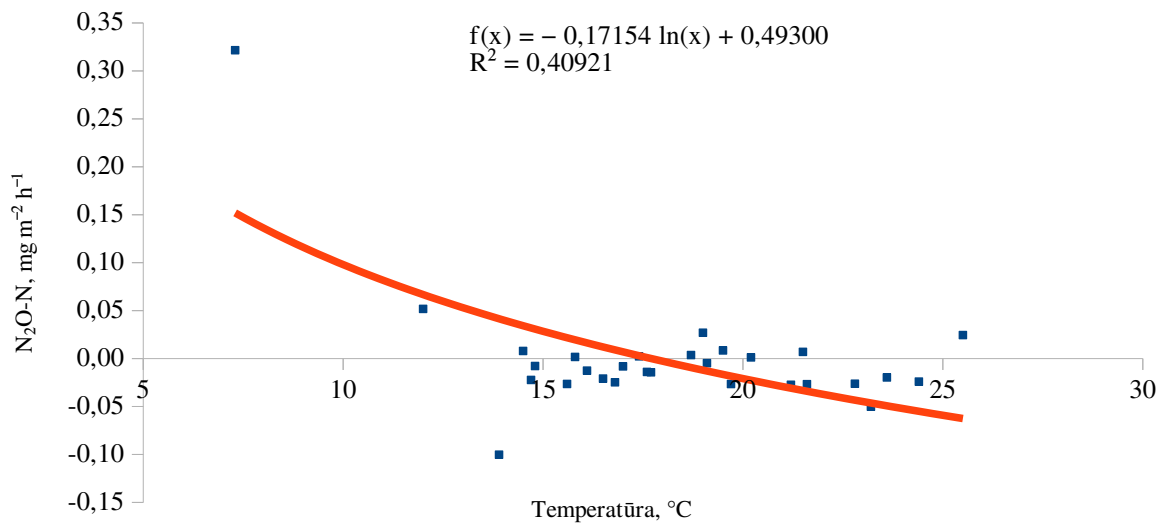
Augsnes kopējā elpošana ietver augsnes heterotrofo un augu autotrofo elpošanu. Šo rādītāju nosaka platībās ar neskartu veģetāciju. Arī kopējai elpošanai nav konstatēta cieša sakarība ar gaisa temperatūru (Att. 45). Arī metāna emisijām nav konstatēta sakarība ar gaisa temperatūru (Att. 46). Savukārt, dislāpekļa oksīda emisijām konstatēta cieša sakarība ar gaisa temperatūru – pieaugot gaisa temperatūrai, emisijas samazinās (Att. 47). Tas var būt saistīts ar mēslojuma ienesi aramzemēs pavasarī, jo emisiju pieaugums pie mazākas gaisa temperatūras saistīts ar krasu emisiju pieaugumu aramzemju parauglaukumos pavasara mēnešos.



Att. 45. Augsnes kopējās elpošanas un gaisa temperatūras sakarība.

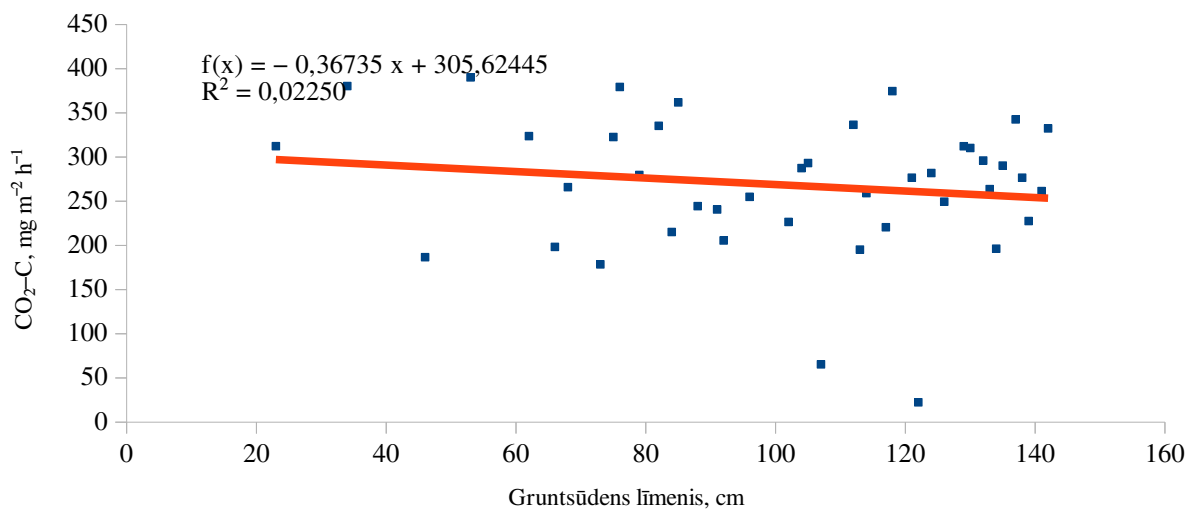


Att. 46. Metāna emisiju no augsnēs un gaisa temperatūras sakarība.

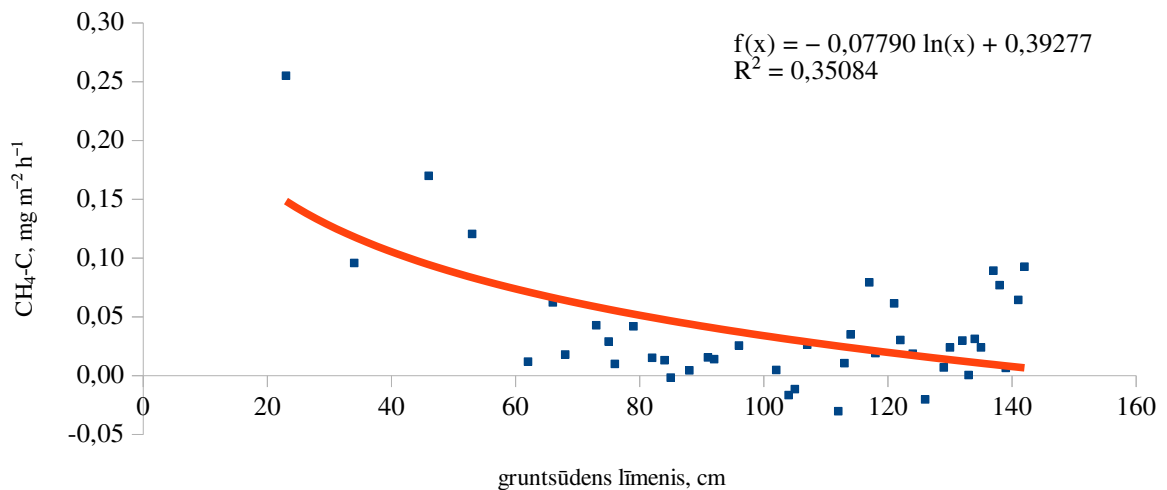


Att. 47. Dislāpekļa oksīda emisiju no augsnes un gaisa temperatūras sakarība.

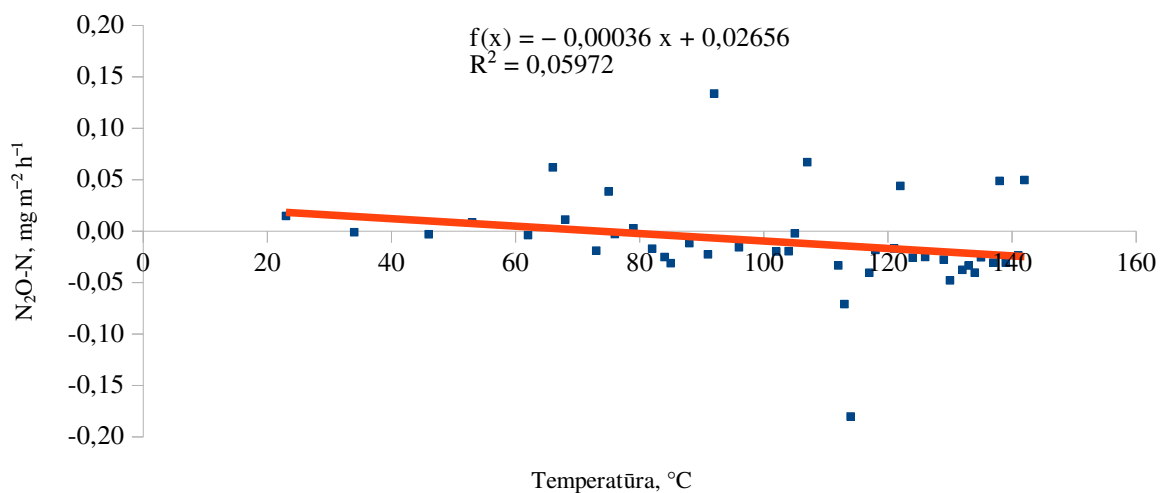
Pētījumā nav konstatēta gruntsūdens līmeņa un kopējās elpošanas (Att. 48), kā arī dislāpekļa oksīda emisiju (Att. 50) sakarība, bet konstatēta vidēji cieša sakarība ar metāna emisijām – paaugstinoties gruntsūdens līmenim virs 60 cm, metāna emisijas pieaug (Att. 49).



Att. 48. Augsnes kopējās elpošanas un gruntsūdens līmeņa sakarība.

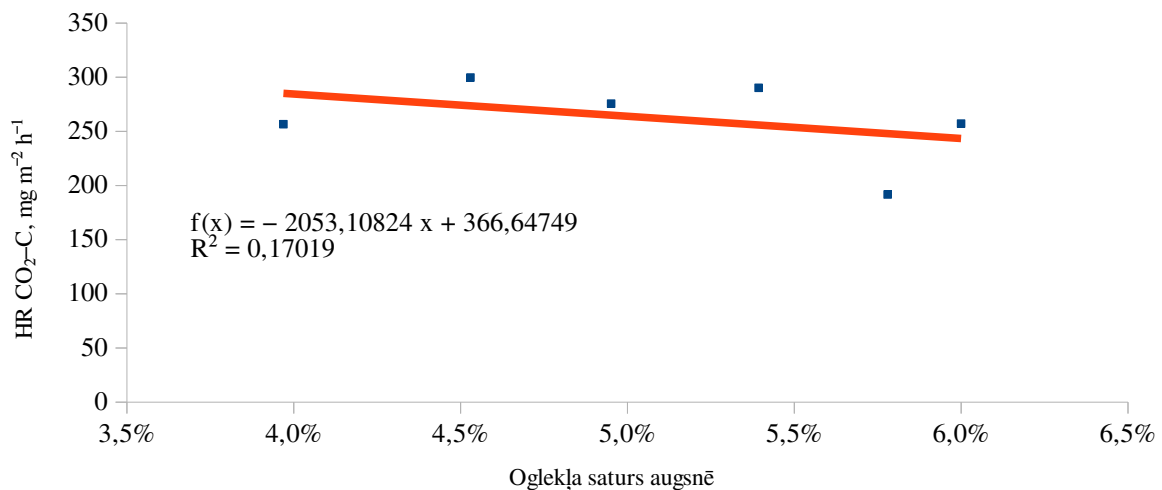


Att. 49. Metāna emisiju no augsnes un gruntsūdens līmeņa sakarība.

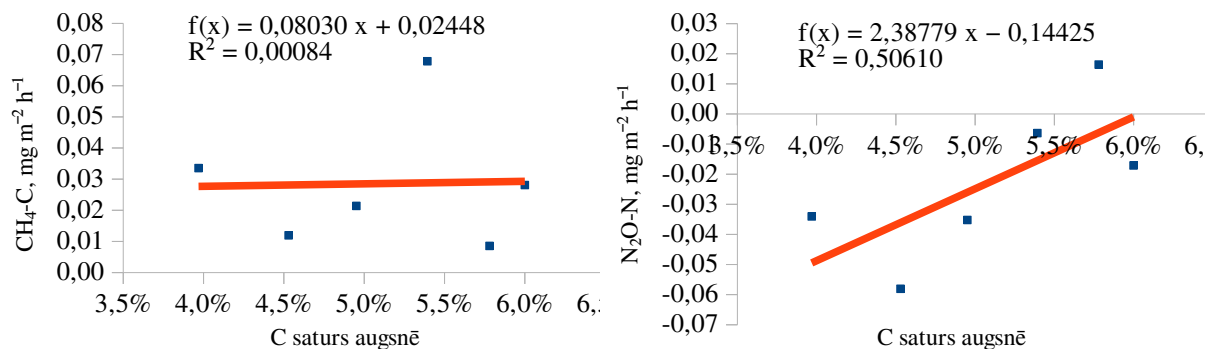


Att. 50. Dislāpekļa oksīda emisiju no augsnes un gruntsūdens līmeņa sakarība.

Oglekļa saturs augsnes virskārtā (0-20 cm) izpētes objektos ir 4-6%. Salīdzinot kopējās elpošanas vidējos rādītājus un oglekļa saturu augsnes virskārtā, būtiska atšķirība nav konstatēta, lai arī, samazinoties oglekļa saturam augsnē, konstatēta CO₂ emisiju pieauguma tendence (Att. 51), kas nav saistīta ar zemes izmantošanas veidu. Līdzīga tendence novērota E2SOILAGRI projektā zālājos pushidromorfās augsnēs, kur mazāks organisko vielu saturs augsnē bija saistīts ar lielākām CO₂ emisijām. Līdzīga tendence novērota dislāpekļa oksīda emisijām. Metāna emisijām šāda sakarība nav konstatēta (Att. 52).

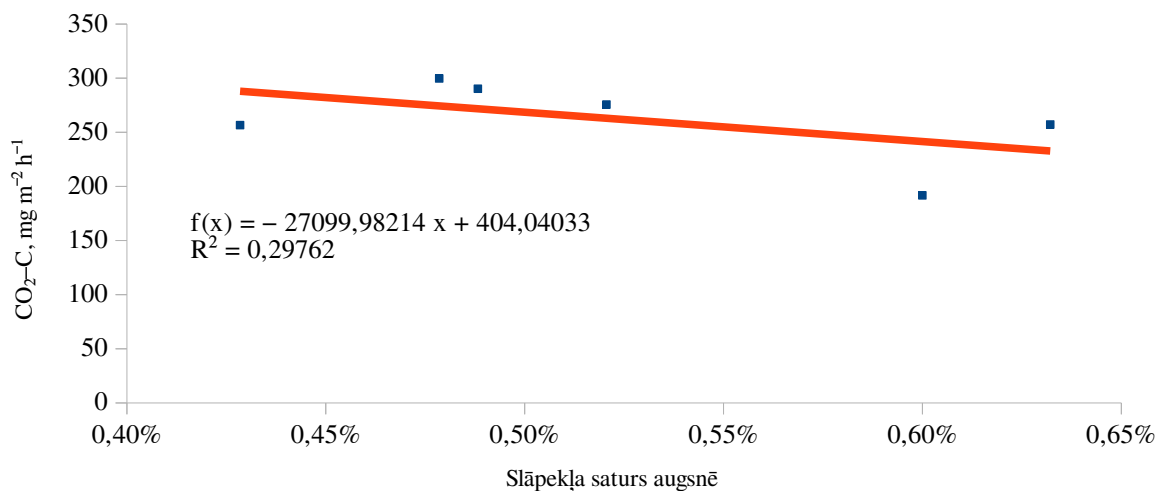


Att. 51. Augsnes kopējās elpošanas un oglekļa satura augsnes virskārtā sakarība.

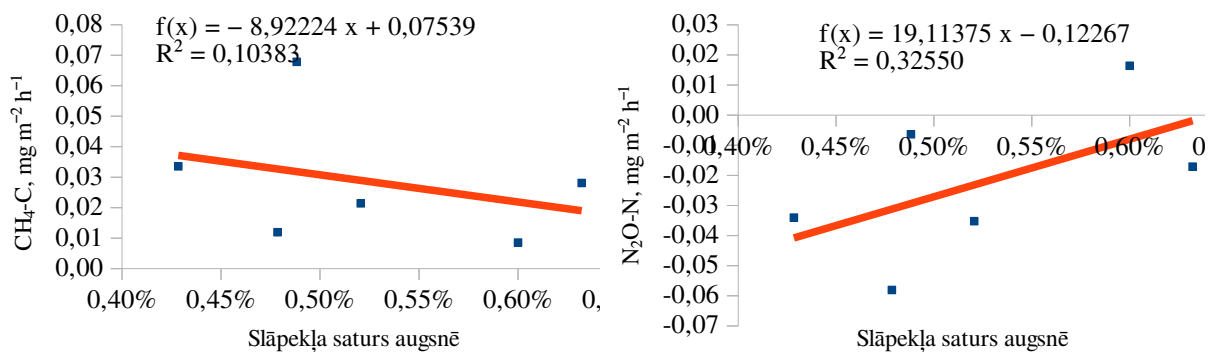


Att. 52. Metāna un dislāpekļa oksīda emisiju no augsnes un oglekļa satura augsnes virskārtā sakarība.

Slāpekļa saturs augsnes virskārtā negatīvi korelē ar augsnes kopējo elpošanu (Att. 53) un metāna emisijām, un pozitīvi korelē ar dislāpekļa oksīda emisijām (Att. 54).



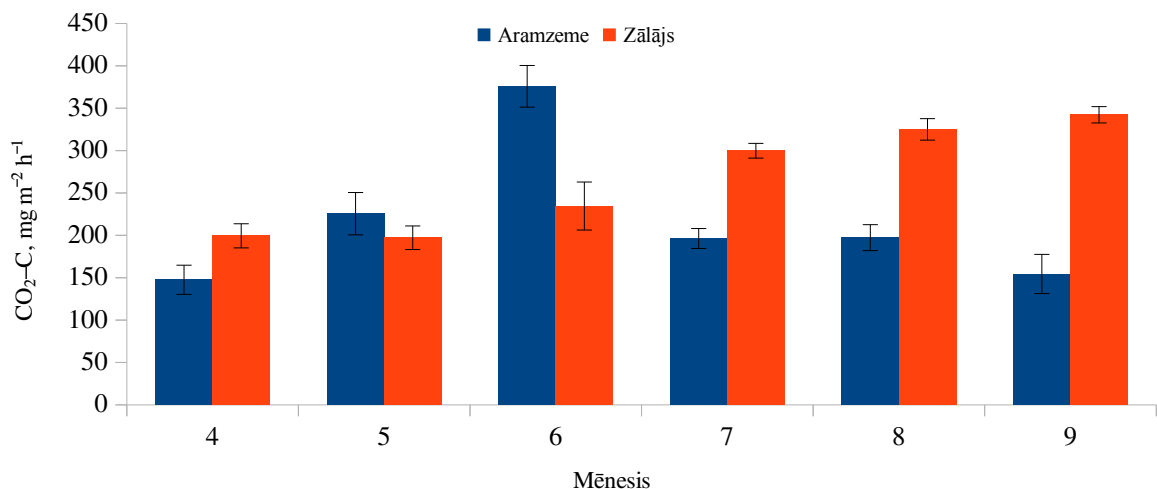
Att. 53. Augsnes kopējās elpošanas un slāpekļa satura augsnes virskārtā sakarība.



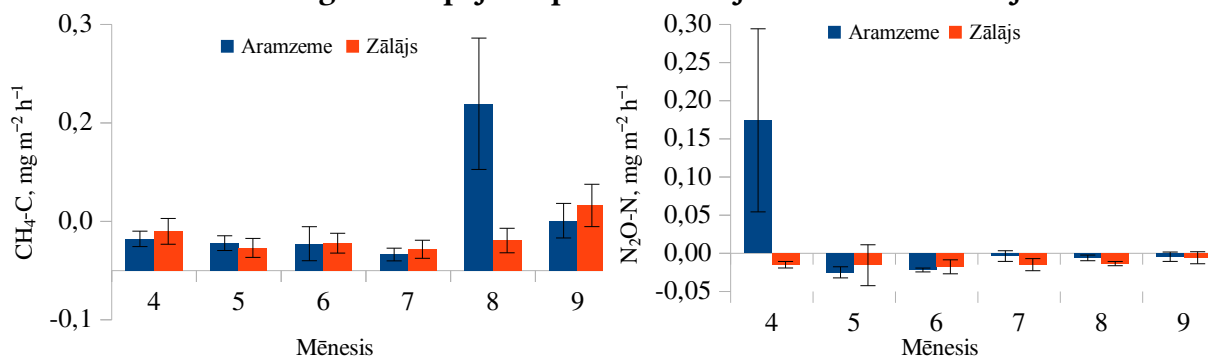
Att. 54. Metāna un dislāpekļa oksīda emisiju no augsnes un slāpekļa satura augsnes virskārtā sakarība.

Vidējie ikmēneša kopējās elpošanas rādītāji parādīti Att. 55. Aramzemēs kopējā elpošana pieaug līdz jūnijam un turpmākajos mēnešos samazinās, bet zālajos turpina pieaugt visā veģetācijas sezonā līdz pat rudens mēnešiem. Tas var būt saistīts gan ar veģetācijas attīstību, gan ar augu atlieku sadalīšanos.

Metāna emisijas pieaug rudens mēnešos, it īpaši aramzemēs, kur atsevišķi mērījumi augustā veido ekstrēmi lielas emisijas. Dislāpekļa emisijas aramzemēs pieaug pavasarī, bet pārējā laikā tās ir niecīgas vai negatīvas (Att. 56).



Att. 55. Augsnes kopējās elpošanas vidējie ikmēneša rādītāji.



Att. 56. Metāna un dislāpekļa oksīda emisiju vidējie ikmēneša rādītāji.

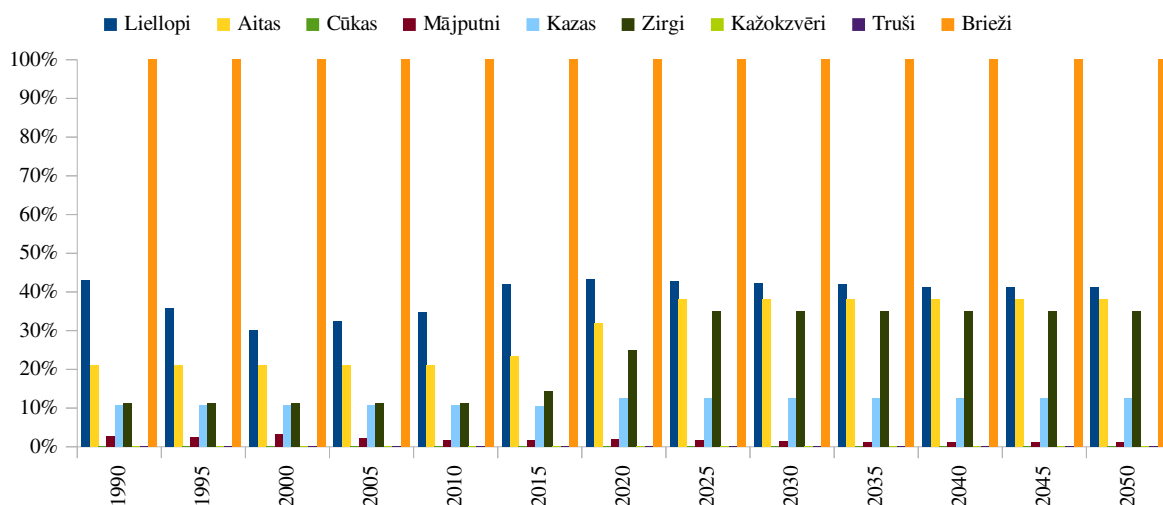
Kopējā elpošana aramzemēs atbilst $16,1 \pm 1,7$ tonnām C ha⁻¹ gadā, bet zālajos – $23,4 \pm 1,2$ tonnām C ha⁻¹ gadā. Augsnes heterotrofā elpošana aramzemēs ir 50% no kopējās elpošanas, bet zālajos 30% no kopējās elpošanas.

Metāna emisijas no augsnes aramzemēs atbilst $0,15 \pm 0,05$ tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā, bet zālajos – $0,14 \pm 0,05$ tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā. Gan zālāji, gan aramzemes aluviālās augsnēs ir neliels metāna emisiju avots.

Dislāpekļa emisijas no augsnes aramzemēs atbilst $1,8 \pm 1,6$ tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā, bet zālajos – $-0,4 \pm 0,3$ tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā. Saskaņā ar pētījuma rezultātiem aramzemes aluviālās augsnēs ir būtisks dislāpekļa oksīda emisiju avots, taču šajā novērtējumā var būt ietvertas ar mēslojuma izmantošanu saistītās emisijas. Zālāji ar aluviālām augsnēm patērē dislāpekļa oksīdu. Gan aramzemēs, gan zālajos dislāpekļa oksīda emisijām ir liela nenoteiktība, tāpēc novērojumi jāturpina ziemas mēnešos, kā arī jāpalielina mērījumu biežums mēnešos, kad notiek mēslojuma ienese, lai izslēgtu no aprēķiniem ar mēslojuma izmantošanu saistītās emisijas.

Oglekļa ienese augsnē ar kūtsmēsliem

Pētījumā sagatavoti dati oglekļa ieneses ar kūtsmēsliem novērtējumam, izmantojot oglekļa aprites modeli Yasso. Oglekļa aprites rādītāji vispirms dalīti tādos, kas nonāk ganībās un tādos, ko ienes aramzemēs, tajā skaitā sētajos zālajos. Att. 57 parādīts dažādu mājdzīvnieku kūtsmēsļu nonākšanas ganībās īpatsvars dažādām dzīvnieku grupām. Pirms 1990. gada izmantoti vidējie dati 1990.-1994. gados.



Att. 57. Pieņēmumi par procentuālo oglekļa ienesi ar kūtsmēsliem ganībās.

Oglekļa saturs dažādos mēslošanas līdzekļos un kūtsmēslos, parādīts, attiecīgi, Tab. 38 un 41. Mēslošanas līdzekļu uzskaitē ietver kūdru, digestātu, notekūdeņu dūnas un to kompostus, sadzīves atkritumu kompostus un citus organisko mēslošanas līdzekļus, kas pielīdzināti notekūdeņu dūņu kompostus. AWENH⁸ frakciju sadalījums kūtsmēslos dots Tab. 39, bet organiskajos mēslošanas līdzekļos – Tab. 40.

Tab. 38. Ar mēslošanas līdzekļiem ienestā oglekļa raksturojums

	N saturs, kg tonnā sausas	Relatīvais sausnas saturs, %	Zudumi	C saturs, kg tonnā sausas
Kūdra	21,05	60,0%	30,0%	400,00
Digestāts (neskaitot kūtsmēsļu pārstādes produktus)	25,00	15,0%	0,0%	500,00
Notekūdeņu dūņu komposts	21,88	60,0%	0,0%	350,00
Sadzīves atkritumu komposts	29,17	60,0%	0,0%	350,00
Citi organiskie mēslošanas līdzekļi	21,88	60,0%	0,0%	350,00

⁸ AWENH – (A) skābēs šķīstošie savienojumi; (W) ūdenī šķīstošie savienojumi; (E) etilspirtā šķīstošie savienojumi; (N) nešķīstošie savienojumi; (H) humusvielas.

Tab. 39. Kūtsmēsļu organisko vielu sausnas frakcijas augsnes oglekļa aprites aprēķiniem ar Yasso modeli

Kūtsmēsļu īpašības	(A) Skābēs šķīstošie savienojumi	(W) Ūdenī šķīstošie savienojumi	(E) Etilspirtā šķīstošie savienojumi	(N) Nešķīstošie savienojumi	(H) Humusvielas
Liellopi	25,0%	20,0%	10,0%	30,0%	15,0%
Aitas	25,0%	20,0%	10,0%	30,0%	15,0%
Cūkas	30,0%	15,0%	10,0%	35,0%	10,0%
Mājputni	20,0%	25,0%	15,0%	25,0%	15,0%
Kazas	30,0%	20,0%	10,0%	25,0%	15,0%
Zirgi	25,0%	20,0%	10,0%	30,0%	15,0%
Kažokzvēri	20,0%	15,0%	20,0%	30,0%	15,0%
Truši	30,0%	25,0%	10,0%	25,0%	10,0%
Brieži	30,0%	20,0%	10,0%	30,0%	10,0%

Tab. 40. Organisko mēslošanas līdzekļu organisko vielu sausnas frakcijas augsnes oglekļa aprites aprēķiniem ar Yasso modeli

Mēslojuma īpašības	(A) Skābēs šķīstošie savienojumi	(W) Ūdenī šķīstošie savienojumi	(E) Etilspirtā šķīstošie savienojumi	(N) Nešķīstošie savienojumi	(H) Humusvielas
Kūdra	20,0%	5,0%	10,0%	40,0%	25,0%
Digestāts (neskaitot kūtsmēsļu pārstādes produktus)	25,0%	10,0%	15,0%	40,0%	10,0%
Notekūdeņu dūņu komposts	25,0%	15,0%	10,0%	30,0%	20,0%
Sadzīves atkritumu komposts	25,0%	15,0%	10,0%	30,0%	20,0%
Citi organiskie mēslošanas līdzekļi	20,0%	5,0%	15,0%	50,0%	10,0%

Tab. 41. Kūtsmēsļu īpašības aprēķinos

Kūtsmēsļu īpašības	Ražošanas ⁹ gadā, tonnas vienība ⁻¹	N saturs, kg tonnā kūtsmēsļu	Sausnas saturs, %	C/N attiecība ¹⁰	C saturs, kg tonnā sausnas	Oglekļa zudumi uzglabāšanas laikā ¹¹ , %	Oglekļa zudums biogāzes reaktoros ¹² , %	Oglekļa zudums kompostējo t ¹³ , %
Liellopi	8,30	6,08	14,70	19,00	522,50	30,00	30,00	39,00
Slaucamās govīs	22,30	4,72	13,90	20,00	517,40	30,00	30,00	39,00
Aitas	0,40	9,25	28,10	16,00	347,10	30,00	30,00	39,00
Cūkas	1,90	5,58	10,30	12,00	518,40	30,00	30,00	39,00
Mājputni	0,02	11,93	38,00	16,00	502,29	30,00	30,00	39,00
Kazas	1,10	9,89	32,50	16,00	486,81	30,00	30,00	39,00
Zirgi	9,20	5,49	29,60	30,00	556,26	30,00	30,00	39,00
Kažokzvēri ¹⁴	0,02	4,10	25,00	7,50	123,00	30,00	30,00	39,00
Truši ¹⁵	0,06	11,11	51,60	25,00	538,42	30,00	30,00	39,00
Brieži ¹⁶	9,78	6,60	40,70	39,00	632,43	30,00	30,00	39,00

⁹ http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/barker_ncsu_manure_02.pdf

¹⁰ <https://www.ag.ndsu.edu/manure/documents/nm1478.pdf>

¹¹ Pieņēmums (Ali u.c., 2019)

¹² Pieņēmums (Thomsen u.c., 2013)

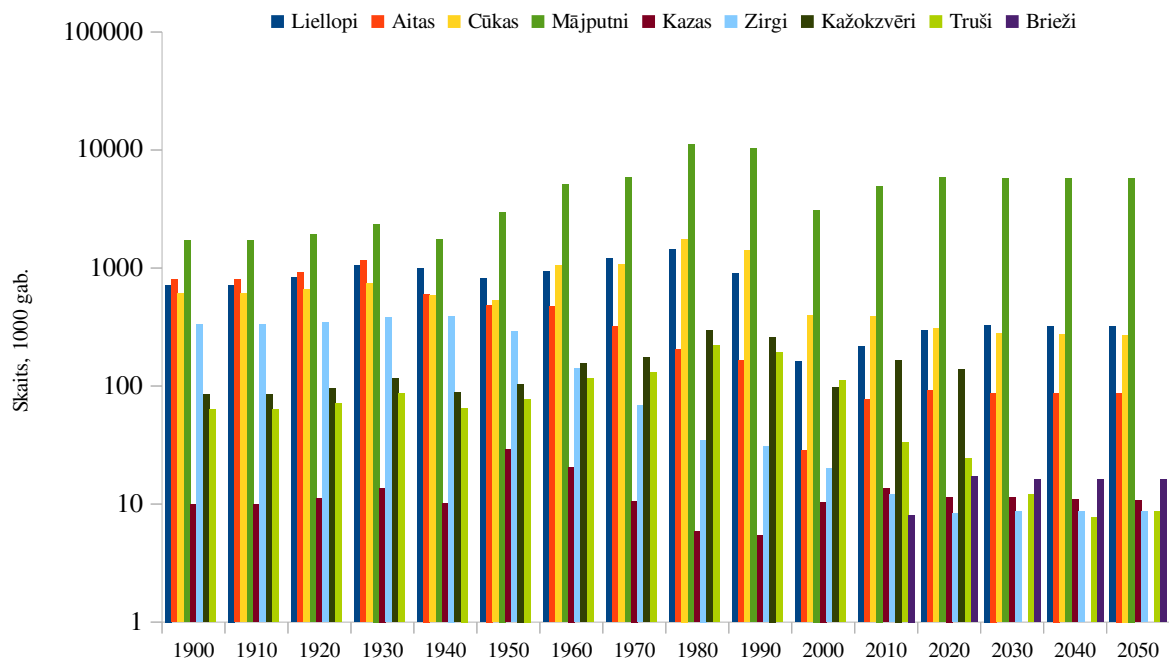
¹³ Pieņēmums (Zhang u.c., 2021)

¹⁴ <http://furresearch.org/wp-content/uploads/2015/10/Hussain2012aa.pdf>; http://www.yarmouth.org/magazine/pollution_in_the_tusket/brochure_1/index.htm

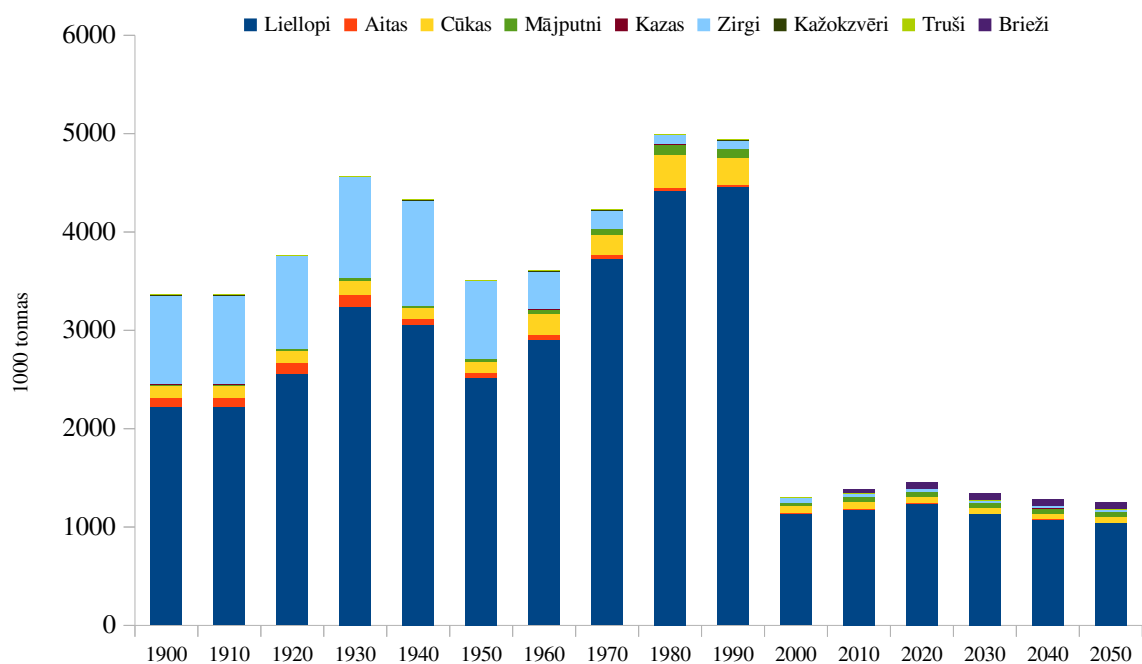
¹⁵ http://jast-old.modares.ac.ir/article_5003_e87aba1e346117d0fd76239f70bb6b5d.pdf

¹⁶ <http://scenicriversfarmforest.com/nutrient-value-of-deer-manure/>;
https://www.researchgate.net/profile/Rich_Mcdowell/publication/7976543_Phosphorus_in_Fresh_and_Dry_Dung_of_Grazing_Dairy_Cattle_Deer_and_Sheep_Sequential_Fraction_and_Phosphorus31_Nuclear_Magnetic_Resonance_Analyses/links/54bd64650cf218d4a16a27c1/Phosphorus-in-Fresh-and-Dry-Dung-of-Grazing-Dairy-Cattle-Deer-and-Sheep-Sequential-Fraction-and-Phosphorus31-Nuclear-Magnetic-Resonance-Analyses.pdf

Mājdzīvnieku skaita novērtēšanai izmantoti Centrālā statistikas biroja dati, veicot, pēc nepieciešamības, interpolāciju vai ekstrapolāciju, lai raksturotu mājdzīvnieku skaitu no 1900. gada (Att. 58). Prognozei izmantoti dati, kas ietverti Latvijas SEG emisiju prognožu ziņojumā (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2021). Kūtsmēslu ražošanas, tajā skaitā prognozes kopsavilkums dots Att. 59.

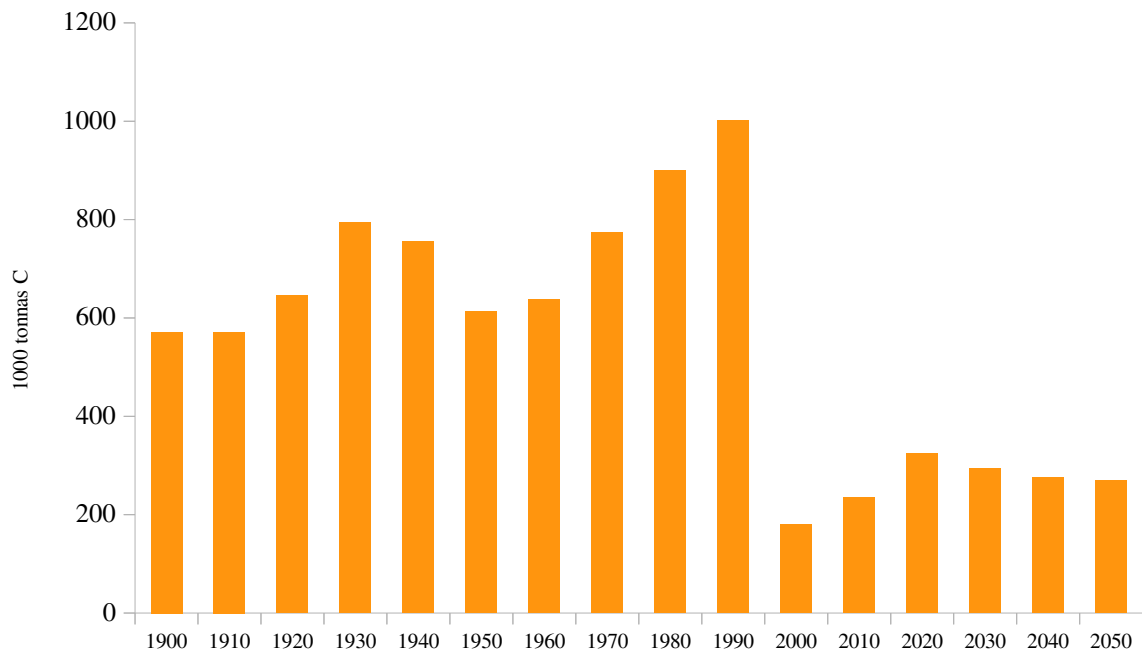


Att. 58. Mājdzīvnieku skaits.

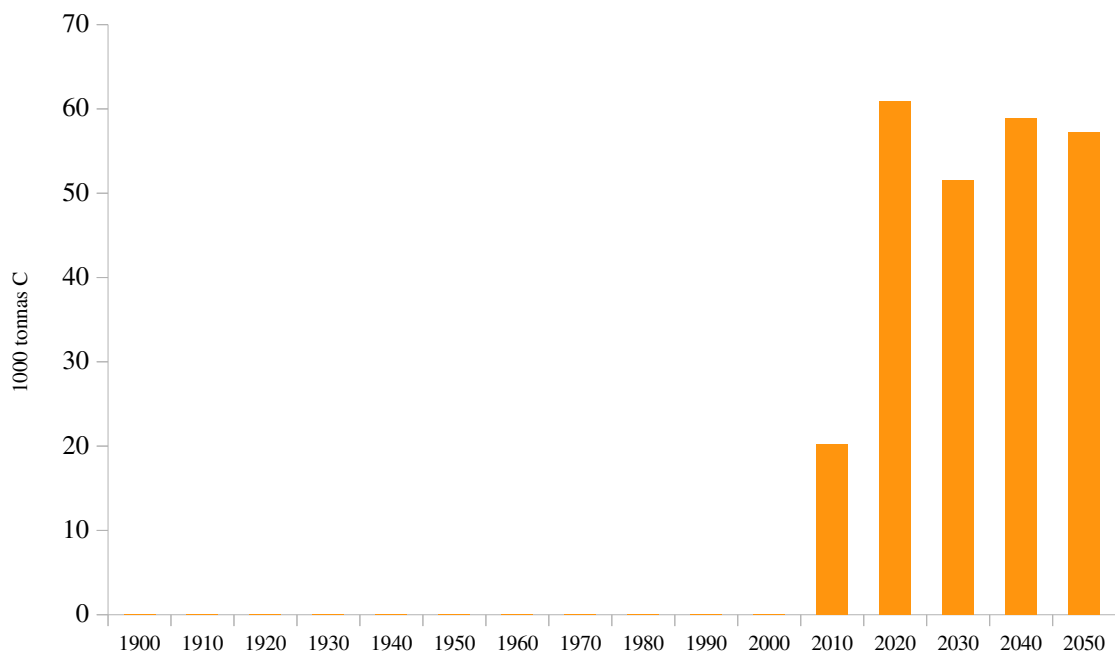


Att. 59. Kūtsmēslu ražošana.

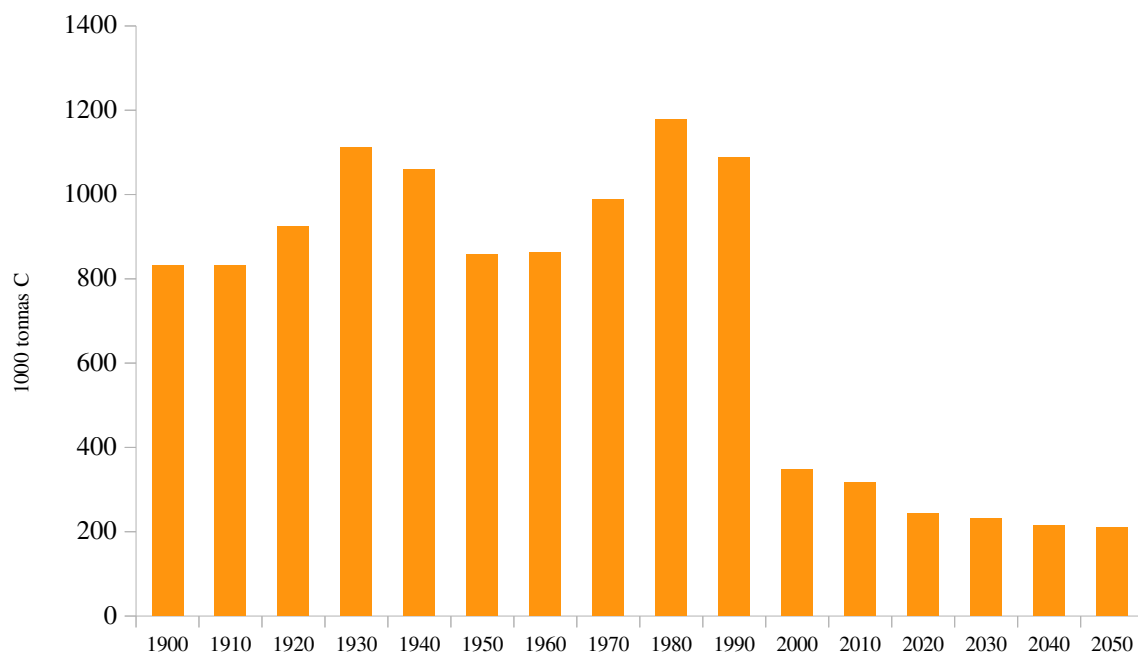
Oglekļa ienese augsnē ar kūtsmēsliem ganībās piecgažu griezumā parādīta dots Att. 60. Oglekļa ienese augsnē aramzemēs, tajā skaitā sētajos zālajos parādīta Att. 61, oglekļa ienese augsnē ar uzglabātiem kūtsmēsliem – Att. 62 un oglekļa ienese augsnē ar citiem organiskajiem mēslošanas līdzekļiem – Att. 63. Kopsavilkums par oglekļa ienesi augsnē aramzemēs un zālajos dots Att. 64.



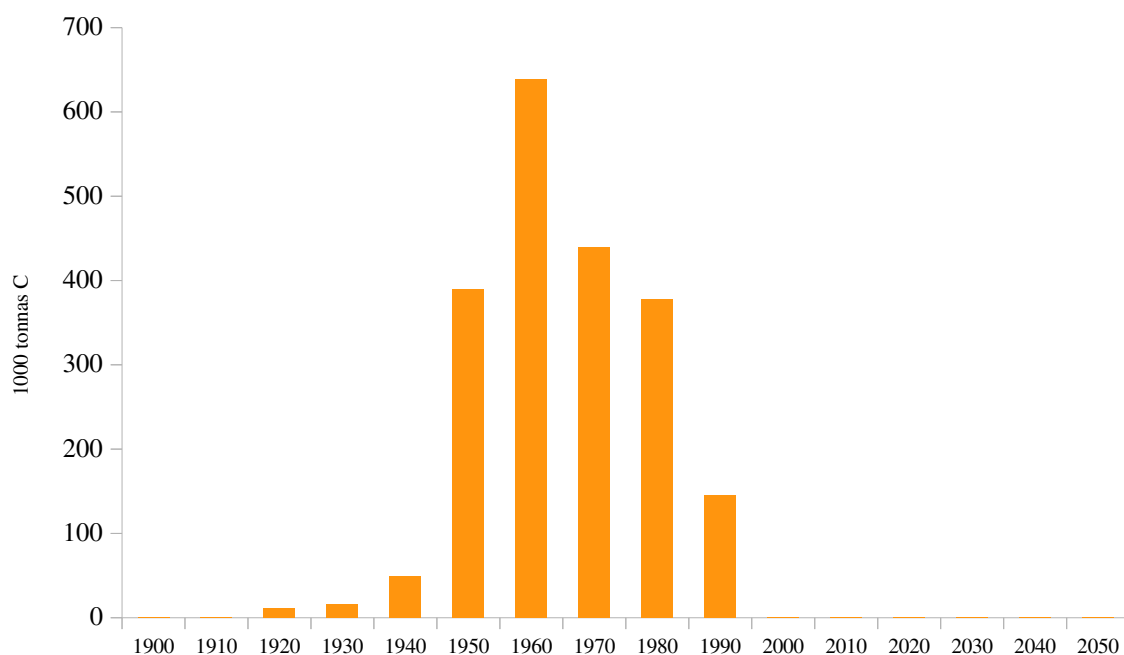
Att. 60. Oglekļa ienese ar kūtsmēsliem ganībās.



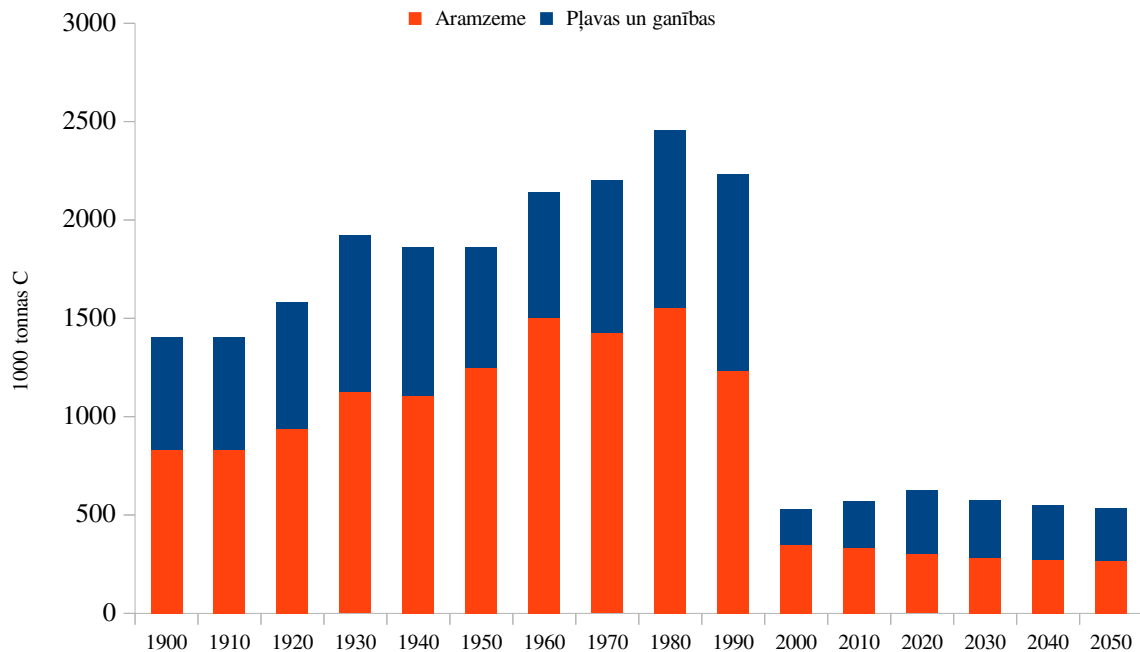
Att. 61. Oglekļa ienese augsnē ar digestātu.



Att. 62. Oglekļa ienese augsnē ar uzglabātiem kūtsmēsliem.



Att. 63. Oglekļa ienese augsnē ar kūdru un citiem organiskajiem mēslošanas līdzekļiem.



Att. 64. Oglekļa ienese augsnē ar kūdru un citiem organiskajiem mēslošanas līdzekļiem.

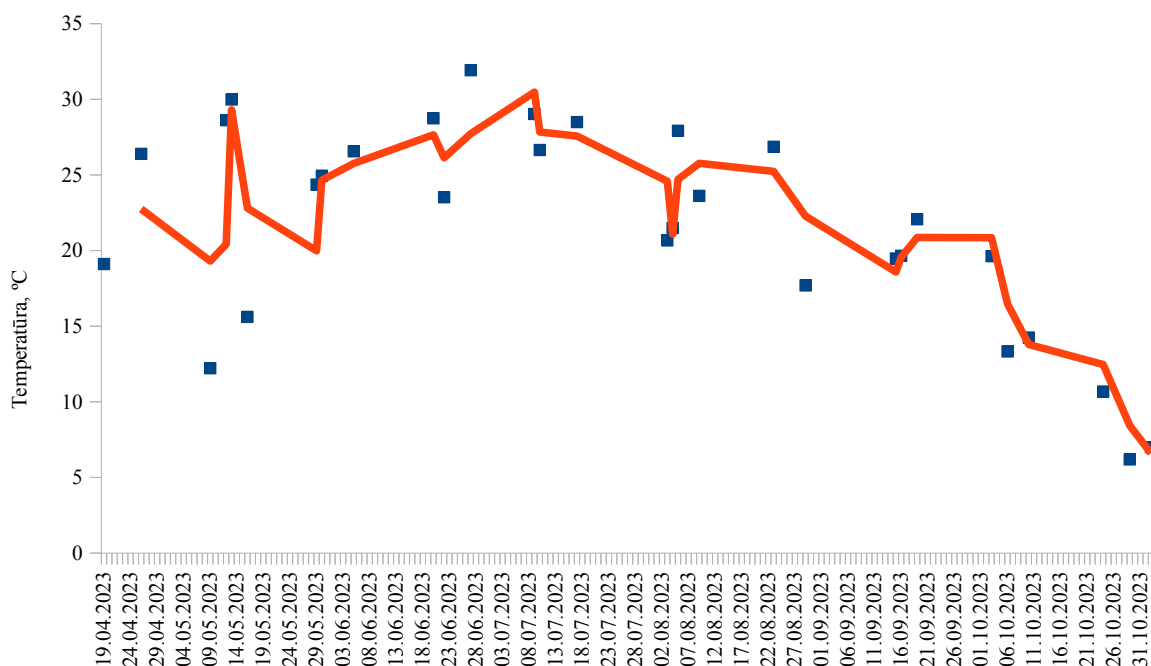
Turpmākajos pētījuma etapos jāvērtē dažādu kompostu, mulču un citu organisko mēslošanas līdzekļu izmantošanas prognozes un vēsturiskie dati, jo par šīm kategorijām informācija ir nepietiekoša. Tāpat ir jānovērtē faktiskais kūdras ieneses lauksaimniecības zemēs apjoms pirms 1990. gada, jo kūdu izmantoja galvenokārt lopkopībā kā pakaišus un tikai pēc tam izkliedēja augsnē, tāpēc reālais augsnē nonākušā oglekļa daudzums ir būtiski mazāks.

Pārskata autori Inga Jansone, Sanita Zute, Andis Lazdiņš un Aldis Butlers.

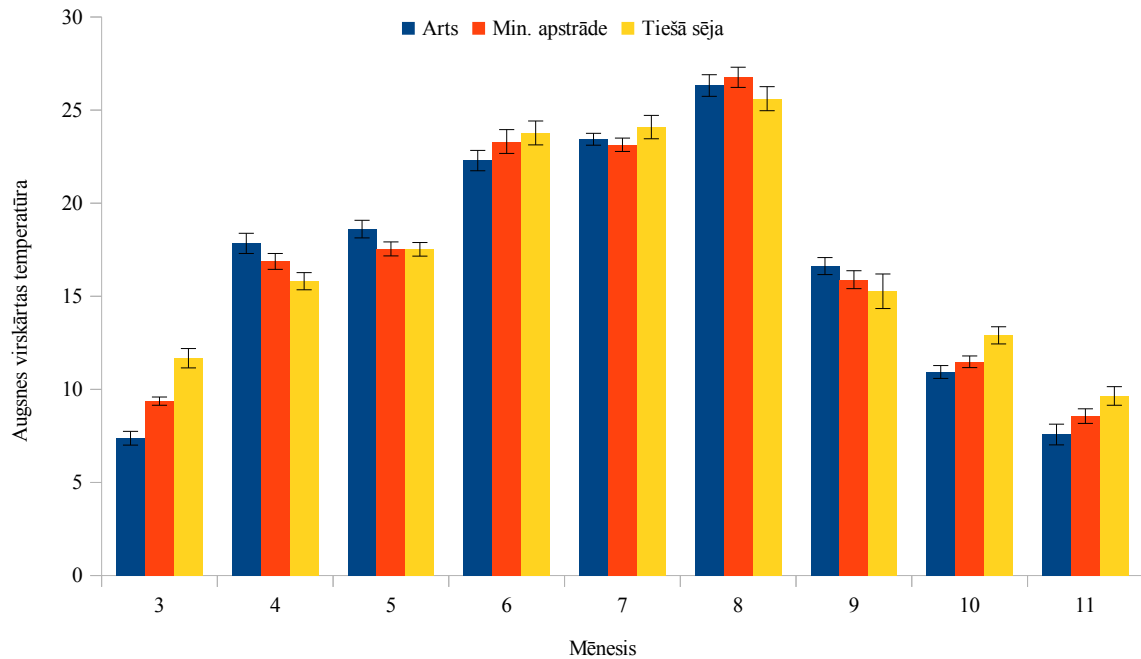
Empīriski dati par CO₂ emisijām no augsnes, pielietojot trīs augsnes apstrādes paņēmienus

Pētījuma ietvaros iegūti empīriski dati par augsnes apstrādes veida ietekmi uz CO₂ emisijām no augsnes, augu sekā lietojot trīs atšķirīgus augsnes apstrādes paņēmienus. Pētījumā noteikta augsnes heterotrofā elpošana, augsnes temperatūra un mitruma saturs augsnes virskārtā. Pārskata autori Inga Jansone, Sanita Zute, Andis Lazdiņš un Aldis Butlers.

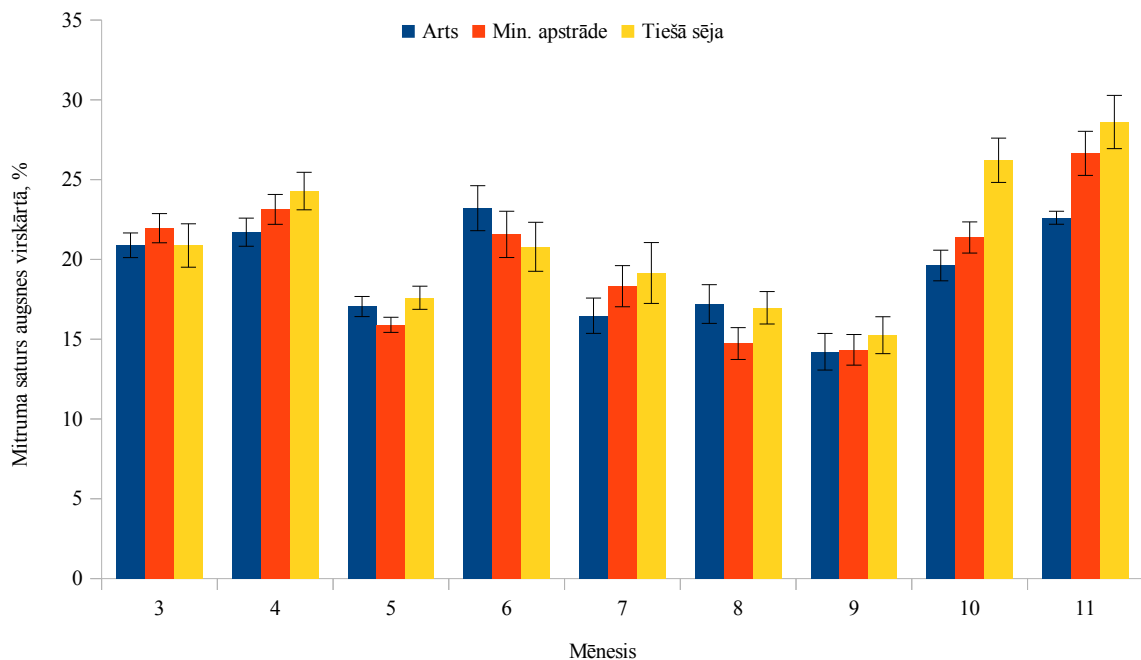
Vidējā gaisa temperatūra mērījumu laikā 2023. gadā parādīta Att. 65. Augsnes temperatūras mērījumu apkopojums mēnešu griezumā dots Att. 66. Būtiskas sistemātiskas atšķirības, atkarībā no augsnes apstrādes veida nav konstatētas. Arī, salīdzinot mitruma saturu augsnē, nav konstatētas statistiski būtiskas atšķirības, lai arī tiešās sējas gadījumā mitruma saturs augsnē vasaras otrās puses un rudens mēnešos ir lielāks nekā pārējos variantos. Oktobrī atšķirība ir statistiski būtiska (Att. 67).



Att. 65. Gaisa temperatūra mērījumu laikā.

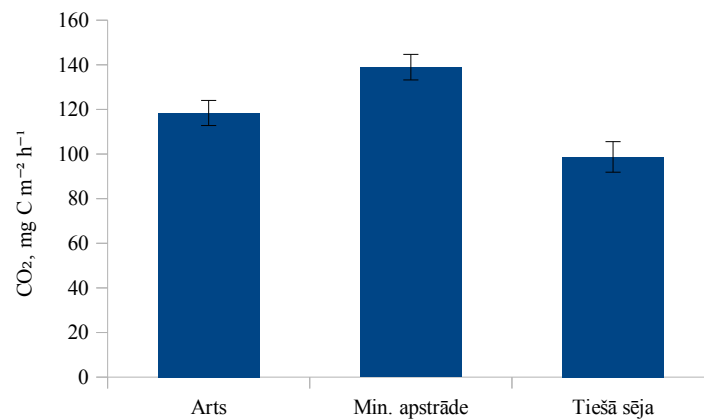


Att. 66. Augšnes virskārtas temperatūra mērījumu laikā.



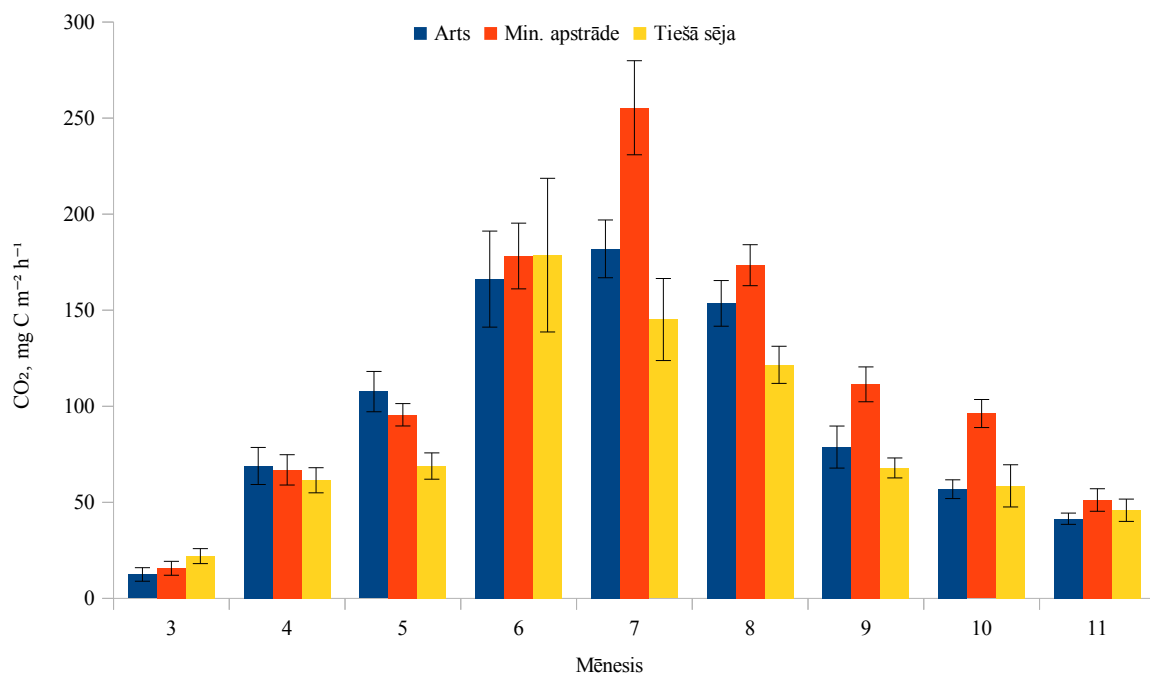
Att. 67. Mitruma saturs augšnes virskārtā mērījumu laikā.

Salīdzinot vidējos heterotrofās elpošanas rezultātus, konstatēts, ka tiešās sējas gadījumā CO₂ emisijas ir būtiski mazākas nekā artajā laukā un laukā, kur veikta minimālā augsnes apstrāde. Būtiski lielākas emisijas nekā citos laukos ir platībā, kur veikta minimālā augsnes apstrāde (Att. 68).



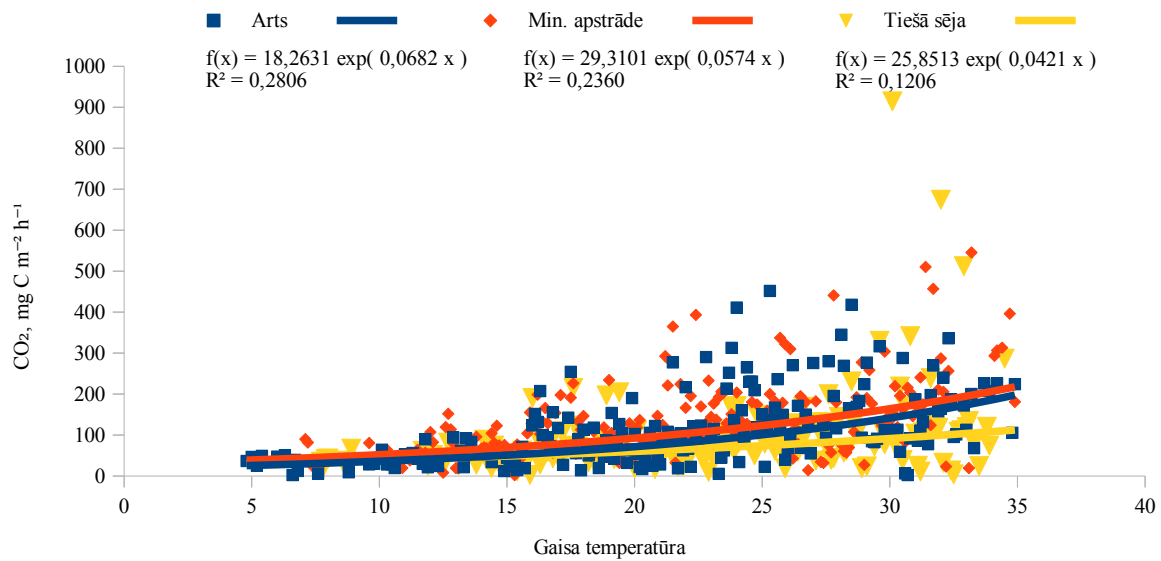
Att. 68. Vidējās CO₂ emisijas no augsnes (heterotrofā elpošana).

Salīdzinot vidējās mēneša emisijas, būtiska atšķirība konstatētas tikai atsevišķos mēnešos; laukā, kur veikta minimāla augsnes apstrāde, būtiski lielākas CO₂ emisijas ir rudens mēnešos. Būtiskas atšķirības platībās, kur veikta tieša sēja un aršana, konstatēta tikai maijā, kad artajā laukā bija būtiski lielākas emisijas. Pēc tam atšķirība izzūd (Att. 69).



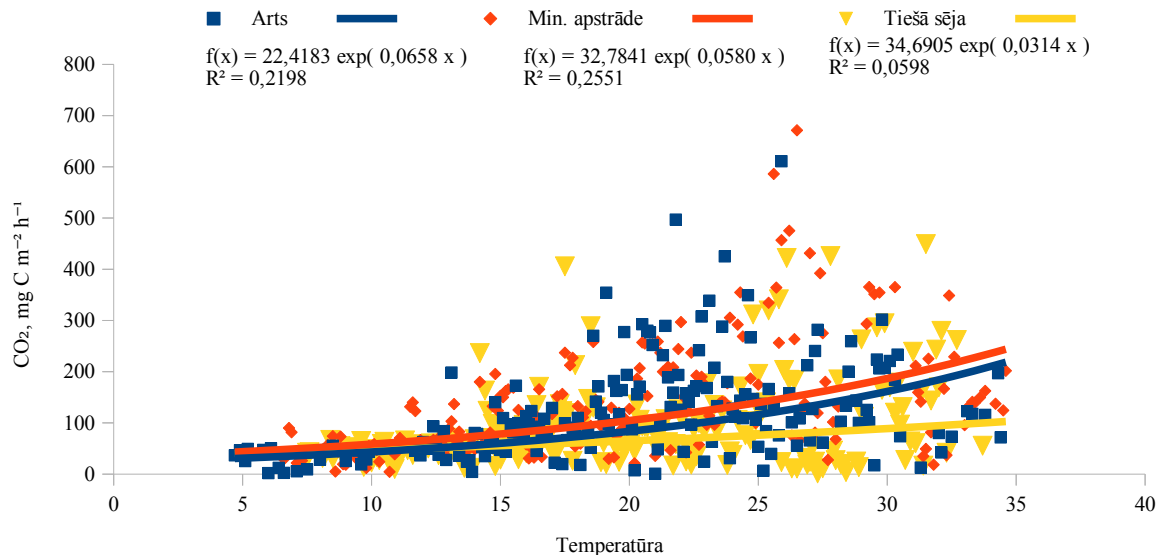
Att. 69. Vidējās ikmēneša CO₂ emisijas no augsnes.

CO₂ emisiju un gaisa temperatūras sakarība ir vāja, taču vērojama CO₂ emisiju pieauguma tendence, palielinoties gaisa temperatūrai (Att. 70). Lēnākais emisiju kāpums, pieaugot gaisa temperatūrai, konstatēta platībās kur veikta tiešā sēja. Lielākās emisijas pie vienādas gaisa temperatūras ir platībās, kur veikta minimāla augsnes apstrāde.



Att. 70. Gaisa temperatūras un CO₂ emisiju no augsnes sakarība.

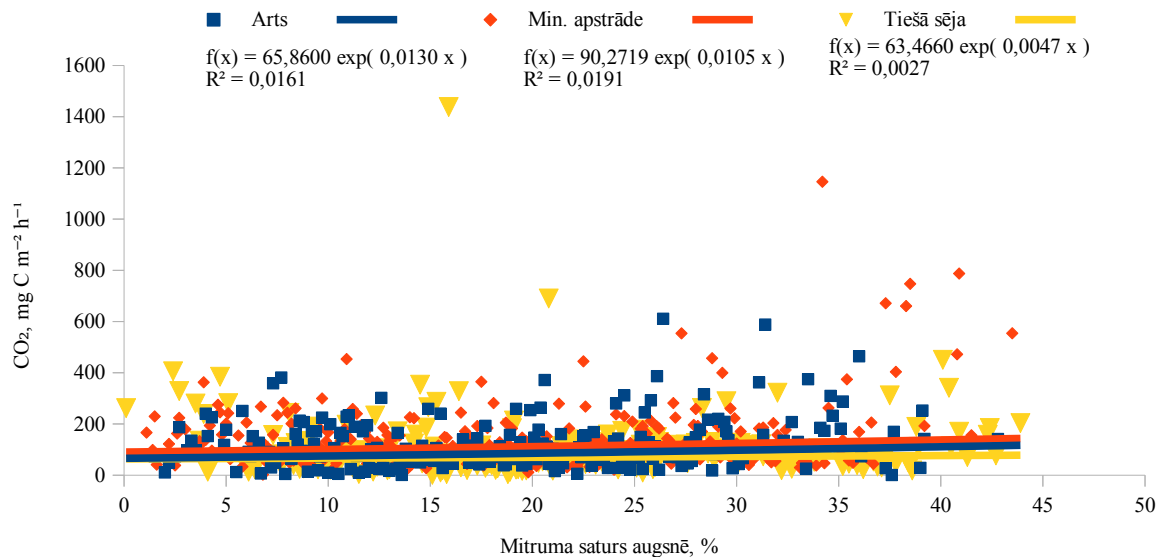
Arī CO₂ emisiju sakarība ar augsnes temperatūru ir vāja, bet ar izteiktu pieauguma tendenci, palielinoties augsnes temperatūrai (Att. 71). Lēnākais emisiju pieaugums, palielinoties augsnes temperatūrai, vērojams platībās, kur veikta tiešā sēja.



Att. 71. Augsnes temperatūras un CO₂ emisiju no augsnes sakarība.

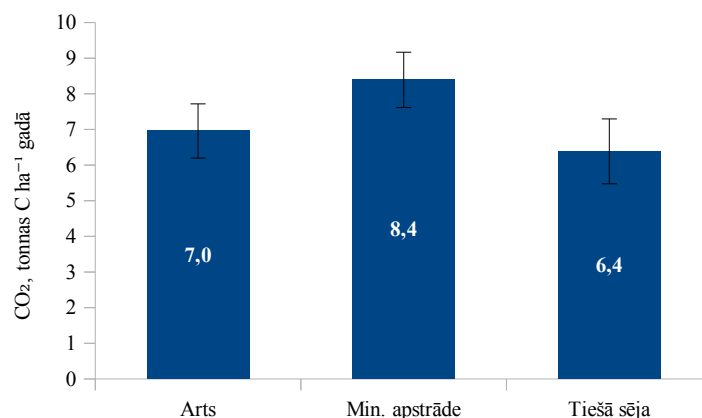
Mitruma saturam augsnē un CO₂ emisijām nav konstatēta sakarība, lai arī konstatēts, ka pie vienāda mitruma satura augsnē CO₂ emisijas no augsnes ir mazākas platībās, kur veikta tiešā sēja (Att. 72). Pētījums 2023. gadā veikts tikai vienā saimniecībā, tāpēc konstatētās atšķirības var būt saistītas ar citiem faktoriem, ne tikai augsnes apstrādes paņēmieni, piemēram, iepriekšējā augsnes apstrādes paņēmiena vai audzējamās kultūras ietekmi, tāpēc gāzu apmaiņas mērījumi atkārtojami vairākās saimniecībās ar

atšķirīgām augsnes īpašībām, kur attiecīgie augsnes apstrādes paņēmieni atkārtoti izmantoti vairākus gadus pēc kārtas. Mērījumi jāturpina vismaz 5 gadus, lai iegūtu informāciju arī par iespējamo augu maiņas ietekmi uz SEG emisijām.



Att. 72. Mitruma satura augsnē un CO₂ emisiju no augsnes sakarība.

Vidējās ikgadējās emisijas, kas aprēķinātas, kā mēneša emisiju summa, būtiski atšķiras tiešās sējas un minimālas augsnes apstrādes gadījumā, attiecīgi, $6,4 \pm 0,9$ tonnas C ha⁻¹ gadā un $8,4 \pm 0,8$ tonnas C ha⁻¹ gadā (Att. 73). Atšķirība artajās un tiešās sējas platībās nav būtiska. Artajās platībās CO₂ emisijas ir mazākas nekā platībās, kur veikta minimāla augsnes apstrāde, taču atšķirība nav būtiska.



Att. 73. Vidējās ikgadējās CO₂ emisijas no augsnes.

Izmantotā literatūra

1. Ali, B., Shah, G. A., Traore, B., Shah, S. A. A., Shah, S.-S., Al-Solaimani, S. G. M., Hussain, Q., Ali, N., Shahzad, K., Shahzad, T., Ahmad, A., Muhammad, S., Shah, G. M., Arshad, M., Hussain, R. A., Shah, J. A., Anwar, A., Amjid, M. W., & Rashid, M. I. (2019). Manure storage operations mitigate nutrient losses and their products can sustain soil fertility and enhance wheat productivity. *Journal of Environmental Management*, 241, 468–478. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.081>
2. Bārdule, A., Bāders, E., Stola, J., & Lazdiņš, A. (2009). Forest soil characteristic in Latvia according results of the demonstration project BioSoil (Latvijas meža augsņu īpašību raksturojums demonstrācijas projekta BioSoil rezultātu skatījumā). *Mežzinātne / Forest Science*, 20 (53), 105–124.
3. 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>
4. 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)
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a union certification framework for carbon removals, (2022). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0672>
9. 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>
10. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council sustainable carbon cycles, COM/2021/800 final (2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0800>
11. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

- establishing a Union certification framework for carbon removals, COM/2022/672 final (2022). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0672>
12. European Commission. (2023). *Minutes 2nd Meeting of the Carbon Removals Expert Group*.
13. European Commission. (2022). *Expert Group on Carbon Removals (E03 861)*. <https://ec.europa.eu/transparency/expert-groups-register/screen/expert-groups/consult?lang=en&groupID=3861>
14. Committee on Environment, Food Safety and Public Health Result of votes and roll-call votes, (2023). <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/276998/2023-10-24%20votes%20and%20roll-call%20votes.pdf>
15. 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>
16. 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
17. 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>
18. Intergovernmental Panel on Climate Change, & 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.
19. 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>
20. 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>
21. 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>
22. 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.
23. 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>
24. Lazdins, A., Sņepsts, 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>
25. Lazdiņš, A. (2015). *Preliminary results of comparison of carbon stock in soil in grassland, cropland*

- and forest land. Adaptation and mitigation: strategies for management of forest ecosystems.
26. 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>
 27. LR Klimata un enerģētikas ministrija. (2023). *Likumprojekts 'Klimata likums'*. LR Klimata un enerģētikas ministrija. <https://tapportals.mk.gov.lv/structuralizer/data/nodes/d3c99cf3-67bb-455d-b908-7fa182b2d87d/preview>
 28. 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>
 29. 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>
 30. Ministry of Environmental Protection and Regional Development. (2021). *Reporting on Policies and Measures under Article 18 of Regulation (EU) No. 2018/1999 of the European Parliament and of the Council* (lpp. 123). Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. <https://unfccc.int/documents/271530>
 31. Naturschutzbund Deutschland (Director). (2023). *LIFE platform meeting on the benefits of peatland restoration for Europe*.
 32. 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>
 33. Priede, A., & Gancone, A. (Red.). (2019). *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas*. Baltijas Krasti.
 34. 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>
 35. 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>
 36. 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>
 37. 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/29/045/29045794.pdf#page=82
 38. Schäfer, A., & Joosten, H. (2005). *Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren*. Universität Greifswald. <https://docplayer.org/214201533-Erlenaufforstung-auf-wiedervernaessten-niedermooren-alnus-leitfaden.html>
 39. Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Møller, H. B., Sørensen, P., & Christensen, B. T. (2013). Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.006>

40. 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.climateexchange.org.uk/media/3137/afforestation-and-restocking-on-peaty-soils.pdf>
41. 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>
42. 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>
43. Wichtmann, W., Joosten, H., & Schröder, C. (Red.). (2016). *Paludiculture, productive use of wet peatlands: Climate protection, biodiversity, regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers.
44. Zhang, Z., Liu, D., Qiao, Y., Li, S., Chen, Y., & Hu, C. (2021). Mitigation of carbon and nitrogen losses during pig manure composting: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 783, 147 103. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147103>