

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: 01.03.2022-15.11.2022

IZPILDĪTĀJS: LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"

LĪGUMA NR. 10 9.1-11/21/1825-E

PROJEKTA VADĪTĀJS:

I. Līcīte

Kopsavilkums

Pētījuma mērķis ir pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmu 2021.-2030. gada SEG emisiju mazināšanas saistību kontekstā, kā arī pilnveidot un izstrādāt jaunus metodiskos risinājumus SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķiniem zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektorā. Pētījumā izstrādātos risinājumus izmantosim nacionālās SEG inventarizācijas pilnveidošanai ZIZIMM sektorā, novērtējot augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas un SEG emisijas lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Pētījuma divu gadu rezultāti parāda, ka bioloģiski apsaimniekotos laukos CH₄ emisijas ir mazākas nekā integrētās saimniecībās, savukārt, N₂O un CO₂ bioloģiski apsaimniekotos laukos ir lielākas. Pasējas augu izmantošanai nav konstatēta būtiska ietekme uz SEG emisijām, taču nepieciešami ilgstoši novērojumi augsnē notiekošo procesu raksturošanai un jāuzlabo oglekļa ieneses vienādojumi, lai noteiktu augu atlieku kompensējošo efektu.

Komerčiālās oglekļa piesaistes vienību tirdzniecības sistēmas, piemēram, Verra, kā arī Eiropas Komisijas veidotā sistēma oglekļa piesaistes vienību starptautiskai tirdzniecībai var noteikt būtiskus ierobežojumus Latvijas ZIZIMM sektoram nozīmīgāko SEG emisiju samazināšanas pasākumu (organisko augšņu apmežošana, meliorācijas sistēmu izbūve mežā, agromežsaimniecības pasākumi lauksaimniecībā izmantojamās zemēs) īstenošanai, un to potenciālā ietekme uz klimatneitralitātes mērķu īstenošanu, visticamāk, būs neliela, tāpēc Latvijai ir jāveido nacionāla, uz ilglaicīgu emisiju samazinājumu un piesaistes palielinājumu vērsta sistēma, kas būtu metodiski harmonizēta ar komerciālajām un Eiropas Komisijas veidoto sistēmu un nodrošinātu vienlīdzīgus konkurences apstākļus, piesaistot sabiedrisko un privāto finansējumu.

Pētījums apstiprina sākotnēji izvirzīto hipotēzi, ka arī aluviālās augsnes var būt nozīmīgs CO₂ emisiju avots, kura ietekme uz SEG emisijām, iespējams, nav mazāka kā tipisku organisko augšņu ietekme. Pētījums parāda arī to, ka uz oglekļa ieneses palielināšanu vērsta lauksaimniecības prakse var kompensēt emisijas no augsnes un padarīt šīs platības par CO₂ piesaistes avotu. Lai iekļautu aluviālās augsnes SEG inventarizācijas sistēmā kā atsevišķu emisiju vai piesaistes avotu, ir jāizstrādā CO₂, CH₄ un N₂O emisiju faktori aramzemēm un ilggadīgajiem zālājiem, kā arī jāpilnveido darbību dati, identificējot platības ar šādām augsnēm. Lai nodrošinātu emisiju samazinājumu aluviālajās augsnēs, ir jāpilnveido oglekļa ienese dati un jāizstrādā rekomendācijas aluviālo augšņu apsaimniekošanai klimatneitralitātes mērķu izpildes kontekstā.

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.....	8
Ievads.....	8
SEG emisijas no minerālaugsnes.....	10
Bioloģiskās un konvencionālās lauksaimniecības ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	10
Pasējas ietekme uz SEG emisijām no augsnes.....	13
Materiāli un metodes.....	14
Pētījuma objekta raksturojums.....	14
Mērījumu veikšana ar Picarro.....	18
Meteoroloģisko apstākļu raksturojums.....	21
Rezultāti.....	23
SEG mērījumu rezultāti.....	23
Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām.....	24
Augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme uz SEG emisijām.....	29
Lauksaimnieciskās darbības veida ietekme uz SEG emisijām.....	31
Augsnes un audzējamās kultūras ietekme uz SEG emisijām.....	32
Lauksaimnieciskās darbības veida, augsnes un vasaras miežu ietekme uz SEG emisijām.....	33
Sarkanā āboliņa ietekme uz SEG emisijām.....	34
Secinājumi par pasējas augu ietekmi.....	37
Oglekļa vienību sertifikācijas un verificācijas sistēmu analīze.....	39
Priekšlikumi Eiropas Savienības oglekļa saistīgās lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai Latvijā.....	39
Organisko augšņu apmežošanas un aramzemes ar organisko augsni transformācija par zālāju ietekmes novērtējums.....	40
Verra oglekļa standarts (Verified Carbon Standard).....	54
SVID analīze.....	56
Saskaņā ar Verra standarta prasībām izstrādāta apmežošanas projekta ietekmes novērtēšanas metodika.....	61
Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” izveidotais modelis.....	64
Kopsavilkums.....	68
Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas no aluviālajām augsnēm.....	70
Pētījuma metodika.....	70
Rezultāti.....	73
Izmantotā literatūra.....	89

Ievads

Pētnieciskie uzdevumi saskaņā ar Ministru kabineta noteikumu Nr. 124 "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 (darba uzdevumu īsteno Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātē):
 1. noteikt CO₂, CH₄ un N₂O emisijas no lauksaimniecībā izmantotām zemēm atkarībā no sarkanā āboliņa kā pasējas auga izmantošanas un izvēlētajiem kultūraugiem (3 kultūraugi ar un bez pasējas auga izmantošanas), izmantojot Picarro G2508 gāzu analizatoru;
 2. raksturot pasējas auga izmantošanas un izvēlēto kultūraugu ietekmi uz SEG emisijām izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko LLU 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.
2. Izvērtēt pētījuma izpildes periodā aktuālos Eiropas Komisijas priekšlikumus oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai un pieejamo informāciju par Eiropas Savienības valstīs lietotajām oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmām, piemēram, VERRA standartu, nodrošinot zinātnisku kompetenci Latvijas pozīcijas formulēšanā un aizstāvēšanā (darba uzdevumu īsteno LVMI Silava):
 1. sagatavot priekšlikumus Eiropas Savienības oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai Latvijā (pārvaldība, attiecināmās jomas, oglekļa vienību uzskaites monitorings, ziņošanas un pārbaudes sistēma, darbību ietekmes identificēšana Nacionālajā SEG inventarizācijas sistēmā);
 2. izvērtēt atbilstoši pašreizējam zināšanu līmenim un tehniskajām iespējām identificējamu ES oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas darbību (*organisko augšņu apmežošana un aramzemes ar organisko augsni transformācija par zālāju*) ieviešanas iespējas atbilstoši sagatavotajiem oglekļa apsaimniekošanas sistēmas ieviešanas priekšlikumiem.

3. Iegūt empīriskus datus par augsnes heterotrofās elpošanas radītajām CO₂ emisijām no aluviālajām (palieņu) augsnēm, ko izmanto kā ganības vai ilggadīgos zālājus. Pētījums veicams 6 objektos, kas raksturo dažādas aluviālās augsnes – no aluviālajām normāli mitrajām augsnēm līdz aluviālajām purva augsnēm.

Pētījuma 1. darba uzdevuma 1. darbības īstenošanai veģetācijas sezonas laikā iegūti empīriskie dati CO₂, CH₄ un N₂O emisiju raksturošanai no lauksaimniecībā izmantotām zemēm, ierīkojot izmēģinājumus ar sarkano āboliņu kā pasējas augu 3 kultūraugiem. Pētījuma vajadzībām ierīkoti izmēģinājumu objekti ar pasēju un kontroles laukumus bez pasējas. Gāzu apmaiņas mērījumi veikti, izmantojot Picarro G2508 gāzu analizatoru un augsnes heterotrofās elpošanas mērīšanai piemērotas necaurspīdīgas kameras. Oglekļa ieneses raksturošanai izmantoti biomasas vienādojumi un novērtēta izmēģinājumu objektos izaugušā biomasas masa. Gāzu apmaiņas mērījumi veikti vienreiz mēnesī veģetācijas sezonas laikā.

Pasējas auga izmantošanas ietekme uz SEG emisijām vērtēta izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko Agroresursu un ekonomikas institūta Stendes pētniecības centrs, vienlaicīgi ar SEG emisiju un augsnes elpošanas mērījumiem, mērot augsnes mitrumu, augsnes un gaisa temperatūru, nokrišņus, kā arī nosakot mēslojuma izkliedēšanas ietekmi uz SEG emisijām, nosakot SEG emisiju izmaiņas pēc mēslojuma izkliedēšanas. Pārskatā apkopoti sākotnējie mērījumu un datu analīzes rezultāti.

Pētījuma 2. darba uzdevuma īstenošanas ietvaros analizēti aktuālie Eiropas Komisijas priekšlikumi oglekļa apsaimniekošanas iniciatīvas ieviešanai un informāciju par Eiropas Savienības valstīs lietotajām oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmām, 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 izvērtētas 2 darbības (organisko augšņu apmežošana un aramzemju ar organiskām augsnēm transformācija par zālājiem). Otrs pasākums izraudzīts, ņemot vērā dabas atjaunošanas regulas projektā ietverto prasību ierobežot kūdras augšņu kultivēšanu. Darbību ieviešanas iespējas izvērtētas atbilstoši pašreizējam zināšanu līmenim un tehniskajām iespējām. Pētījumā novērtētas izraudzīto darbību ieviešanas iespējas un risinājumi integrēšanai oglekļa apsaimniekošanas sistēmā.

Pētījuma 3. darba uzdevumā iegūti empīriski dati par augsnes heterotrofās elpošanas radītajām CO₂ emisijām no aluviālajām augsnēm, ko izmanto kā ganības vai ilggadīgos zālājus. Pētījums veikts 9 laukumos, kas raksturo dažādas aluviālās augsnes – no aluviālajām normāli mitrajām augsnēm līdz aluviālajām purva augsnēm. Pētījumā

noteiktas augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas, augsnes temperatūra, mitruma saturs augsnes virskārtā, virszemes un pazemes biomasa un biomasas ieguve siena vai zaļbarības sagatavošanai platībās, ko apsaimnieko kā ilggadīgo zālāju. Augsnē 0-10, 10-20, 20-40 un 40-80 cm dziļumā noteikts pH, kopējā N, C un slāpekļskābē ekstrahējamā K, Ca, Mg un P saturs, kā arī augsnes blīvums.

Augsnes heterotrofās elpošanas parauglaukumos vienu mēnesi pirms mērījumu uzsākšanas novākta visu veģētāciju un ierobežota sakņu izaugsme. Gāzu apmaiņu mērīta veģētācijas sezonas laikā, 9 mēnešu ilgumā. Mērījumi veikti 9 pastāvīgos heterotrofās elpošanas laukumos katrā izmēģinājumu platībā. Mērījumu metodiku harmonizēta ar LIFE OrgBalt projektā izmantojamo metodiku gāzu apmaiņas raksturošanai. Darba uzdevumu īstenoja Agroresursu un ekonomikas institūta Stendes pētniecības centrs. Pārskatā apkopoti sākotnējie analīžu rezultāti un atziņas par CO₂ emisijām no aluviālajām augsnēm. Pārskatā ietverta arī informācija par CO₂ emisijām no augsnes, izmantojot atšķirīgus augsnes apstrādes paņēmienus – tiešā sēja, minimāla augsnes apstrāde un aršana.

Pasējas auga izmantošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtējums

Nodaļa sagatavota, izmantojot Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes (LBTU) sagatavoto pārskatu "Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana". Pārskata autori Inga Grīnfelde, Kristīne Valujeva, 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.

Eiropas Savienības iekšējo kārtību ziņojumu sagatavošanai par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas kārtību 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. Ziņojumus par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radītajām SEG emisijām un CO₂ piesaisti dalībvalstīm jā sagatavo saskaņā ar 2013. gada 21. maija Eiropas Parlamenta un Padomes regulas Nr. 525/2013 7.pantu un 2014. gada 30. jūnija Komisijas Īstenošanas regulas 749/2014 4. nodaļu, kas nosaka ziņošanu lēmuma Nr. 529/2013/ES izpildei, tajā skaitā 38. pants reglamentē izvairīšanos no dubultas ziņošanas, 39. pants nosaka ziņošanas prasības attiecībā uz aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas sistēmām, 40. pants nosaka ziņošanas prasības attiecībā uz ikgadējiem aprēķiniem par emisijām un piesaisti, ko rada aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošana, bet 41. pants nosaka īpašās ziņošanas prasības.

Saskaņā ar līgumslēdzēju pušu lēmumu Nr. 2/CMP.7 un Lēmumu Nr. 529/2013/ES ikgadējie ziņojumi jā sagatavo atbilstoši 2006. gada Labas prakses vadlīnijām

Nacionālajai siltumnīcefekta gāzu inventarizācijai (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Kiyoto, 2006) un 2013. gada pārstrādātajiem papildus metodiskajiem norādījumiem un labas prakses vadlīnijām, kas izriet no Kioto protokola prasībām (Hiraishi u.c., 2013).

Par uzskaites periodu, kas sākas 2021. gada 1. janvārī, Latvijai būs jā sagatavo un jā uztur ikgadēja uzskaitē, 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 "Dīvgadu 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 Lauksaimniecības universitāti un citām institūcijām gatavojamajos ziņojumos augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes un ar tām saistītās N₂O emisijas no minerālaugsnēm lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

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

Pētnieciskie uzdevumi:

1. noteikt CO₂, CH₄ un N₂O emisijas no lauksaimniecībā izmantotām zemēm atkarībā no sarkanā āboliņa kā pasējas auga izmantošanas un izvēlētajiem kultūraugiem (vismaz trīs kultūraugi ar un bez pasējas auga izmantošanas), izmantojot Picarro G2508 gāzu analizatoru;
2. raksturot pasējas auga izmantošanas un izvēlēto kultūraugu ietekmi uz SEG emisijām izpētes teritorijā, kuru apsaimnieko LLU 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 minerālaugsnes

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 augsnes, jo tie nosaka mikroorganismu aktivitāti un visus ar tiem saistītos procesus. CO₂ veidojas aerobos apstākļos, un to ietekmē sakņu aktivitāte, mikrobioloģiskie procesi, augu atliekas, kā arī mikroklimats, reljefs un katalītiskās īpašības māla koloīdos šķīdumos. Visaugstākais CO₂ emisiju daudzums tiek novērots pie pH neitrāla līmeņa (Čuhel u.c., 2010). CH₄ veidošanās notiek stingri anaerobos apstākļos un pozitīvi korelē ar augsnes mitrumu. N₂O veidojas minerālā slāpekļa nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu rezultātā. Sausas augsnes samitrināšana aktivizē slāpekļa mineralizāciju, nitrifikācijas procesu, un izraisa pastiprinātu NO un N₂O emisiju izdalīšanos. Jo lielāks augsnes mitrums, jo lielākas N₂O emisijas, bet pie ļoti augsta augsnes mitruma N₂O veidošanās samazinās. Ja mitruma periodi mijas ar sausuma periodiem, tad N₂O emisijas pieaug (Oertel u.c., 2016).

Precīza un uz emisiju minimizēšanu vērsta augsnes apsaimniekošana var ne tikai samazināt SEG emisijas no augsnes, bet arī veicināt oglekļa piesaisti. Mēslošanas līdzekļu lietošanas daudzuma pielāgošana augu vajadzībām samazina N₂O emisiju, jo slāpekļis, kas nav pieejams augiem, izraisa N₂O emisijas pieaugumu (McSwiney & Robertson, 2005), tomēr lietusgāžu un lietus periodu laikā N₂O emisijas var pieaugt (Venterea u.c., 2012).

Bioloģiskās un konvencionālās lauksaimniecības ietekme uz SEG emisijām no augsnes

Konvencionālā lauksaimniecība veido lielāko daļu lauksaimniecības. Konvencionālajā lauksaimniecībā izmanto ķīmiski sintezētus minerālmēslus un augu aizsardzības līdzekļus. Šādā sistēmā ir augsts mehanizācijas līmenis un minimāls 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 maz kalcija. Papildu augsnes paskābināšanos veicina arī skābie lieti. Lai samazinātu augsnes paskābināšanos, ir nepieciešams augsnes kaļķot;

2. Papildus nepievadot augu barības vielas, tiek veicināta organiskās vielas satura samazināšanās. Organiskā viela rodas no trūdošiem dzīvajiem organismiem, un tā 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. Saimniecībā audzēto kultūraugu 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.

Bioloģiskā lauksaimniecība ir saimniekošanas sistēma, kurā produkts iegūts, 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 ha⁻¹ slāpekļa);
2. Barības vielas augiem nodrošina ar organisko mēslojumu (pakaišu kūtsmēsli, virca u.c.) un zaļmēslojuma augu (āboliņš, eļļas rutks, sinepes u.c.) audzēšanu un iestrādi augsnē;
3. Lieto mikroorganismu darbību veicinošus augsnes apstrādes paņēmienus (augšņu apvēršanu, dziļlirdināšanu).

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.

2007. gadā Vāgeningenas universitātē tika veikti divi eksperimenti – pavasarī (23. maijs – 12. jūnijs) un vasarā (2.-22. augusts). Eksperimenti tika veikti gan konvencionāli, gan bioloģiski apstrādātos laukos, kuros ir smilšaina augsne. SEG emisiju vērtības nebija lielas, bet tās bija ievērojami augstākas no bioloģiski apstrādātās augsnes, nekā no konvencionāli apstrādātās augsnes. Galvenie šī pētījuma rezultāti bija tādi, ka mikroorganismu populācijas un SEG emisiju plūsmas svārstās,

kad barības vielas tiek atbrīvotas kontrolētos apstākļos. SEG emisijas augstākas bija bioloģiski apstrādātos laukos, bet zemākas konvencionāli apstrādātos laukos. Daudzos citos pētījumos SEG emisijas no bioloģiski apstrādātiem laukiem tika uzskatītas par zemākām nekā no konvencionāli apstrādātās aramzemes. Tomēr, līdzīgi kā šajā pētījumā, Kalifornijā CO₂ emisijas bioloģiski apstrādātos laukos bija lielākas, nekā konvencionāli apstrādātos laukos, Japānā CO₂ un NO₂ emisijas bija augstākas bioloģiskajā saimniecībā, nekā divās nesen pārveidotās konvencionālajās saimniecībās un Nīderlandē SEG emisijas bioloģiski apstrādātajos laukos kopumā bija lielākas, nekā konvencionāli apstrādātajos laukos. Siltumnīcefekta gāzu emisijas relatīvais līmenis ir ļoti atkarīgs no individuālajām lauksaimniecības sistēmām, kas izvēlētas salīdzinošajam pētījumam. Bioloģiskās saimniecības sistēmas ne vienmēr ir labvēlīgākas videi, ņemot vērā SEG emisijas uz platības vienību un iespējamo ieguldījumu globālajā klimata pārmaiņās. Lauksaimniecības sistēmas, kurās tiek uzkrāts salīdzinoši liels organiskā oglekļa un slāpekļa daudzums, piemēram, bioloģiskās lauksaimniecības sistēmās, āboliņu rotācijā un bezaršanas tehnoloģija var radīt ievērojams daudzums SEG emisiju pēc augsnes apstrādes.

Bioloģiskās lauksaimniecības prakse var samazināt SEG emisijas dažādos veidos. Pirmkārt, ierobežojot sintētisko mēslošanas līdzekļu, herbicīdu, pesticīdu un fungicīdu izmantošanu, kas var samazināt SEG emisijas un arī nitrātu un ķīmisko vielu nonākšanu ūdenstilpnēs. Otrkārt, starpkultūru sēšana, kultūraugu rotācija un komposta izmantošana bioloģiskajā lauksaimniecībā var spēlēt lielu lomu, lai saglabātu augsnes auglību, palielinātu oglekļa piesaistīšanu un samazinātu SEG emisijas. Starpkultūra var ierobežot nezāļu augšanu un samazināt ūdens noteci, līdz ar to samazināt augsnes eroziju. Bioloģiskā lauksaimniecība ir ilgtspējīga, jo tā nodrošina optimālu augsnes auglību, palielina oglekļa piesaistīšanu un samazina SEG emisijas. Pētījumā Austrālijā tika konstatēts, ka SEG emisijas augstākas bija bioloģiski apsaimniekotajā laukā. Somijas pētījumā, kur SEG emisijas tika mērītas bioloģiski un konvencionāli apsaimniekotos zālajos un konvencionāli apsaimniekotos graudaugos, statistiski nozīmīgas koncentrāciju atšķirības netika novērotas. Savukārt Anglijas pētījumā tika secināts, ka SEG emisijas konvencionāli apsaimniekotos laukos uz hektāru ir daudz lielākas.

Nesenie pētījumi ir snieguši pierādījumus, kas apstiprina bioloģisko lauksaimniecību kā ilgtspējīgu izvēli, piemēram, salīdzinot SEG emisijas, augsnes organiskās vielas saturu un globālās sasilšanas potenciālu konvencionālajā lauksaimniecībā un bioloģiskajā lauksaimniecībā samazinātas augsnes apstrādes apstākļos, augsnes organiskā oglekļa piesaistīšana un negatīvs globālās sasilšanas potenciāls ir bioloģijā lauksaimniecībā samazinātas augsnes apstrādes apstākļos.

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, izmantojot tauriņziežus kā pasējas augu.

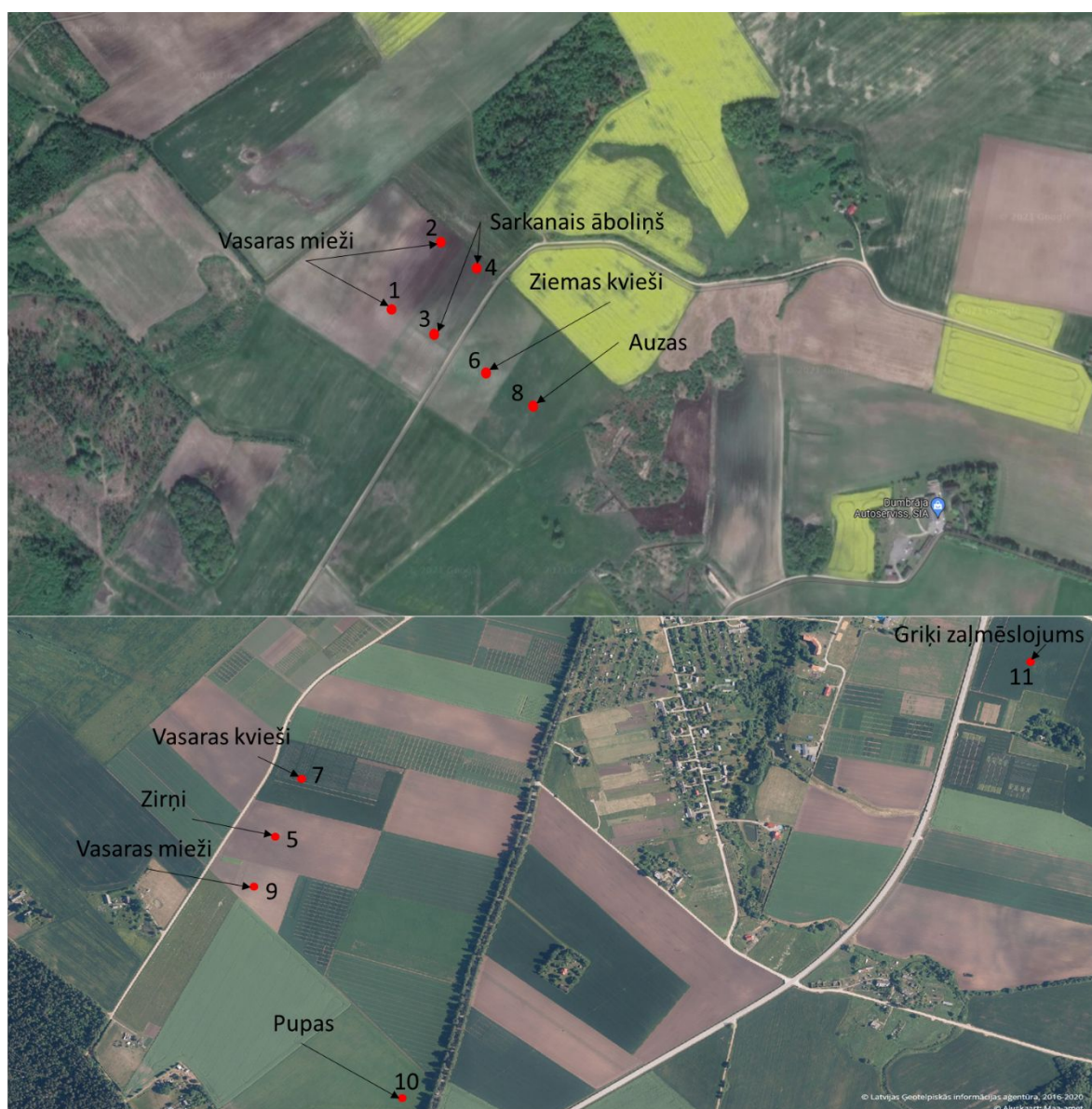
Zems slāpekļa saturs augsnē ir priekšrocība pākšaugu attīstībai pasējā, salīdzinot ar galveno kultūru, bet, ja slāpekļa saturs augsnē ir augsts, tad galvenā kultūra izkonkurē pākšaugus, kas ļauj secināt, ka slāpekļa saturam augsnē ir ļoti svarīga regulējoša loma. Liela pākšaugu biomasa var liecināt par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

N₂O emisija samazinās, ja palielinās pasējas augu biomasa, kas arī nozīmē, ka laikapstākļiem ir ļoti būtiska loma N₂O emisijas samazināšanā, savukārt ja pasējas augu augšana tiek apgrūtināta, tad tiek samazināta N-NO₃ uzņemšana, kas noved pie palielinātas N₂O emisijas. Siltākas ziemas ļauj pasējas augam aktīvāk uzņemt slāpekli, veidojot biomasu, tādā veidā augsnē samazinās slāpekļa daudzums, no kura veidoties N₂O emisijai, kā arī aktīvi augošie pasējas augi uzņem augsnes ūdeni, radot nelabvēlīgus apstākļus denitrifikācijai, līdz ar to samazinās N₂O emisija (Behnke & Villamil, 2019). Augsta oglekļa ienese no pasējas augiem, kas nav tauriņzieži, var stimulēt N₂O emisijas veidošanos (Kaye & Quemada, 2017). Kaye and Quemada (2017), apkopojot citu autoru pētījumus, secināja, ka pasējas augiem nav ietekme uz CH₄ emisiju no augsnes. CO₂ 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 N₂O emisijas svārstības pasējas sistēmās ietekmē mijiedarbība starp šādiem faktoriem: augu augšanu, augsnes īpašībām, klimatiskajiem apstākļiem un pasējas augu veidu (Nguyen & Kravchenko, 2021).

Materiāli un metodes

Pētījuma objekta raksturojums

2022. gadā projekta īstenošanas gaitā N₂O, CH₄, CO₂ un NH₃ mērījumi lauka apstākļos tika veikti Stendes pētniecības centrā, kur lauksaimnieciskā darbība notiek uz minerālaugsnēm, bet atsevišķos laukos ir arī sastopama organiskā augsne. SEG emisiju mērījumu lauku atrašanās vietas norādītas Att. 1, lauksaimnieciskās darbības veids un augsnes veids norādīts Tab. 1, bet agronomiskās darbības katram laukam norādītas Tab. 2 - 10.



Att. 1. SEG emisiju mērījumu vietas Stendes pētījumu stacijā.

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

Kultūra	Bioloģiskā		Konvencionālā
	Minerālaugsne	Organiskā augsne	Minerālaugsne
Vasaras mieži	1	2	9
Sarkanais āboliņš (1.gads)	3	4	
Zirņi			5
Ziemas kvieši (1 gads pēc sarkanā āboliņa)	6		
Vasaras kvieši (1 gads pēc sarkanā āboliņa)			7
Auzas (2 gadi pēc sarkanā āboliņa)	8		
Pupas (1 gads pēc sarkanā āboliņa)	10		
Griķi zaļmēslojums			11

Tab. 2 Agronomiskās darbības bioloģiski apstrādātā vasaras miežu laukā

Vasaras mieži, 2022	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugšs	Griķi sēklai (šķ. Aiva) (2020), V.kvieši (šķ. "Uffo") (2021)
Augsne	Vg/mS
Augsnes apstrāde	Šļūksana 20.04.2022
Pamatmēslojums	-
Sēkla	-
Izsējas norma	-
Sējas laiks	02.05.2022
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 3 Agronomiskās darbības bioloģiski apstrādātā sarkanā āboliņa laukā

Sarkanais āboliņš, 2022	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugšs	V.kvieši (šķ. Uffo) (2020), v.mieži (šķ. "Austri") (2021)
Augsne	VG/mS
Augsnes apstrāde	Šļūksana 22.04.2021
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB/šķ. "Dižstende"
Izsējas norma	10 kg ha-1
Sējas laiks	13.03.2021
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 4 Agronomiskās darbības konvencionāli apstrādātā zirņu nākamajā laukā

Zirņi, 2022	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšsargs	Z.kvieši (2020), v.mieži (2021)
Augsne	Pv1/K-sM/mS
Augsnes apstrāde	Šļūksana 18.04.2022
Pamatmēslojums	-
Sēkla	B kategorija/ šķ. "Bruno"
Izsējas norma	250 kg ha ⁻¹
Sējas laiks	23.04.2022
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Corum 0.8 l ha ⁻¹ +Dash 0.5 l ha ⁻¹ (06.06.2022); Propulse 0.7 l ha ⁻¹ + Decis Mega 0.15 l ha ⁻¹ 30.06.22

Tab. 5 Agronomiskās darbības bioloģiski apstrādātā ziemas kviešu laukā 3.gadā pēc pasējas

Ziemas kvieši 3.gadā pēc pasējas, 2022	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšsargs	V.kvieši (2019), v.mieži (2020), s.āboliņš (2021)
Augsne	Vg/mS
Augsnes apstrāde	Aršana 05.08.2021, šļūksana 10.09.2021
Pamatmēslojums	-
Sēkla	IS/ šķ. "Fredis"
Izsējas norma	250 kg ha ⁻¹
Sējas laiks	20.09.21
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 6 Agronomiskās darbības konvencionāli apstrādātā vasaras kviešu laukā

Vasaras kvieši, 2022	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšsargs	V.mieži (2020), z.kvieši (2019), s.āboliņš (šķ. Dižstende sēklai) (2021)
Augsne	PV ₁ /K-sM/mS
Augsnes apstrāde	Šļūksana 18.04.22, kultivācija 23.04.22
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15-530 kg ha ⁻¹ , 22.04.22
Sēkla	Selekcijas materiāls
Izsējas norma	Selekcijas materiāls sēts lauciņos, izsējas norma dažāda
Sējas laiks	28.04.22
Papildmēslojums	-

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Smidzinājumi	Estet 0.5 l ha ⁻¹ , Sekator 0.15 l ha ⁻¹ 06.06.22
--------------	---

Tab. 7 Agronomiskās darbības bioloģiski apstrādātā auzu laukā

Auzas, 2022	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugšs	S.āboliņš (2020), z.kvieši (šķ. Edvins) (2021)
Augsne	Vg/mS
Augsnes apstrāde	Šļūkšana 20.04.22
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2/ šķ. St.Darta
Izsējas norma	200 kg ha ⁻¹
Sējas laiks	26.04.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 8 Agronomiskās darbības konvencionāli apstrādātā vasaras miežu laukā

Vasaras mieži, 2022	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugšs	Griķi zaļmēslojums (2020), z.kvieši (šķ. Edvins) (2021)
Augsne	Pv/K-S/mS
Augsnes apstrāde	Šļūkšana 18-19.04.22
Pamatmēslojums	-
Sēkla	PB2 /šķ. Austris
Izsējas norma	246 kg ha ⁻¹
Sējas laiks	3.05.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	Bazagrans480-2 l ha ⁻¹ , MCPA 750 -0.7 l ha ⁻¹ ,15.06.2022

Tab. 9 Agronomiskās darbības bioloģiski apstrādātā vasaras kviešu ar āboliņa pasēju laukā

Pupas, 2022	
Lauksaimniecības veids	Bioloģiska
Priekšaugšs	Rudzi (2020), vasaras kvieši ar āboliņa pasēju (2021)
Augsne	-
Augsnes apstrāde	Aršana, šļūkšana, sēšana, ecēšana
Pamatmēslojums	-
Sēkla	Pupas
Izsējas norma	320kg
Sējas laiks	21.04.2022

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

Tab. 10 Agronomiskās darbības konvencionāli apstrādātā laukā ar griķu zaļmēslojumu

Griķi zaļmēslojums, 2022	
Lauksaimniecības veids	Konvencionāla
Priekšaugi	Auzas (2020), pupas (2021)
Augsne	PV ₁ -sM
Augsnes apstrāde	Dziļirdināšana 24.05.22
Pamatmēslojums	-
Sēkla	C
Izsējas norma	60 kg ha ⁻¹
Sējas laiks	5.06.22
Papildmēslojums	-
Smidzinājumi	-

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 N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, un H₂O ar vienas sekundes vidējo intervālu. Katrā pētījuma objektā tika veikti mērījumi trīs kamerās. 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 (Att. 3). 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 augsnes gāzu emisiju mērījumiem tika veikti augsnes mitruma mērījumi, izmantojot Lutron augsnes mitruma mērītāju PMS-714, kas veic augsnes mitruma mērījumus augsnes virsējā slānī (Att. 4). Augsnes mitruma dati tiek saglabāti datu nolasīšanas iekārtā un ierakstīti datu lapās.

Gaisa temperatūras mērījumus kamerā un gaisa spiediena mērījumus veica, izmantojot barometriskā spiediena mērītājus Diver DI 500, Eijkelkamp (Att. 5). Kameras gaisa temperatūras un gaisa spiediena mērītājs tika novietots kamerā tieši pirms kupola nostiprināšanas.



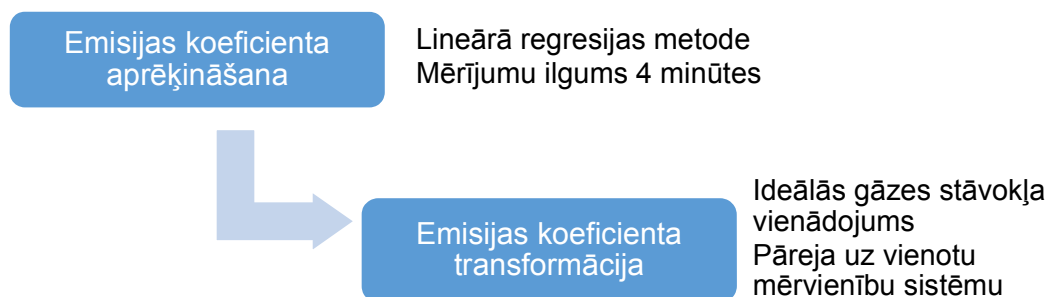
Att. 4. Augsnes mitruma mērītājs (autors: J. Pilecka).



Att. 5. Diver barometriskā spiediena mērītāji (autors: J. Pilecka).

Datu analīzes metodes

Lai iekārtas Picarro G2508 koncentrācijas mērījumus transformētu siltumnīcas efekta gāzu emisijās no hektāra, aprēķinam tika izmantots vairāku pakāpju algoritms (Att. 6).



Att. 6. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematiskais attēlojums.

Emisiju koeficienta aprēķins

Siltumnīcas efekta gāzu emisiju raksturo koncentrācijas izmaiņas ātrums un virziens izolētā kamerā. Emisiju koeficienta aprēķina pamatā ir lineārā regresija (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.

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

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

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

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

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

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

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

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

R²- determinācijas koeficients
y – koncentrācija
x – laiks sekundēs
n – mērījumu skaits

Emisijas koeficienta transformācijas

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

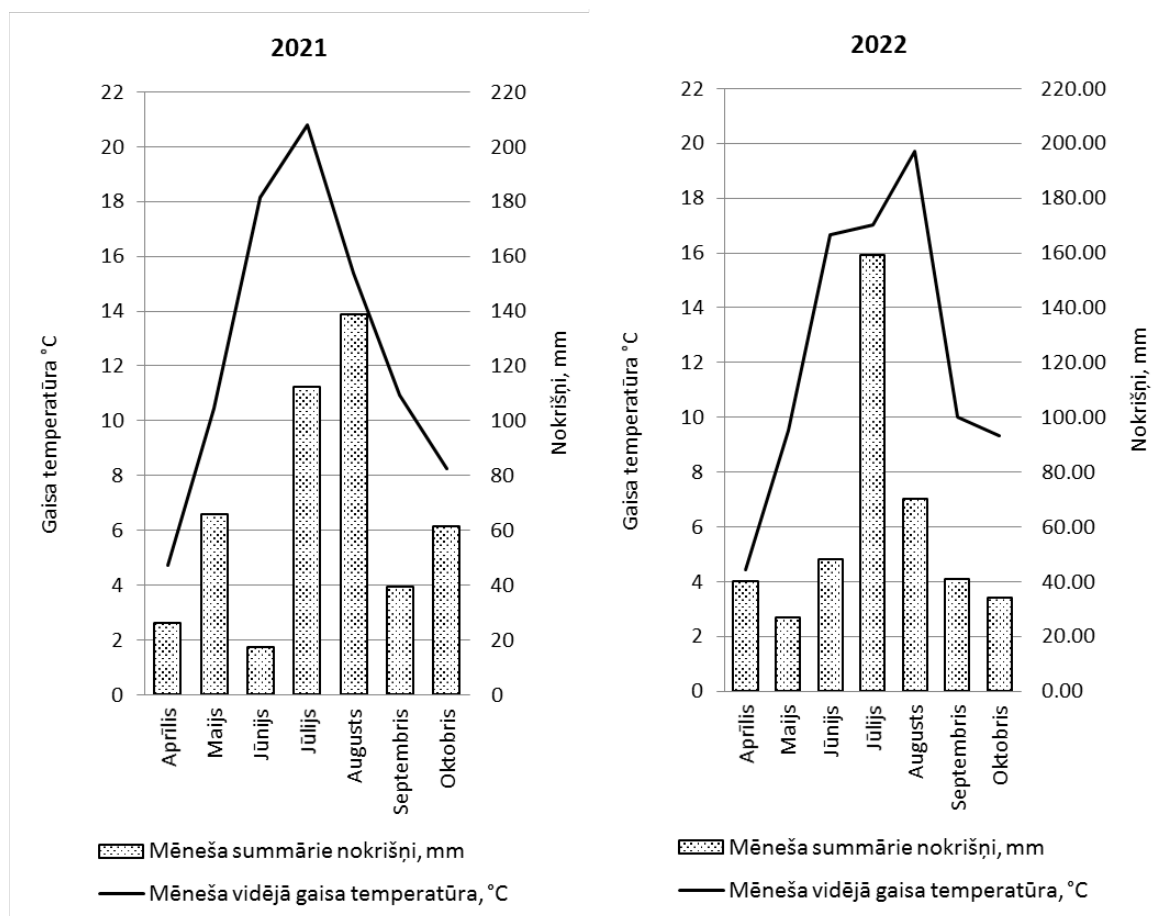
$$F = p \cdot \frac{V}{A} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta T} \cdot \frac{273}{T + 273}, \text{ kur} \quad (5)$$

F – emisijas apjoms no augsnes (g/ha/dnm);
p – gāzes blīvums mg/m³;
V – kameras tilpums m³;
A – kameras laukums m²;
Δc/ΔT – vidējā koncentrācijas izmaiņa laikā ppm/s;
T – kameras temperatūra °C.

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

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Stendes LVĢMC meteoroloģiskajā novērojumu stacijā 2022. gada veģetācijas periodā nokrišņu summa bija 419,9 mm, bet vidējā gaisa temperatūra šajā periodā bija 12,4 °C. Vismazāk nokrišņu ir novērots maijā (26,9 mm), bet visvairāk jūlijā (159 mm).



Att. 7. Mēneša vidējās gaisa temperatūras un mēneša nokrišņu summa LVĢMC Stendes novērojumu stacijā veģetācijas periodā 2021. un 2022. gadā.

Aprīlī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija 1,25 °C zem 1981.-2010. gada mēneša normas (5,7°C) un nokrišņu daudzums par 6,1 mm lielāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (34 mm). Maija vidējā gaisa temperatūra Stendē bija par 1,5 °C zem 1981.-2010. gada mēneša normas (11,4°C) un nokrišņu daudzums par 22,1 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (49 mm). Jūnijā vidējā gaisa temperatūra Stendē bija par 1,85 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (14,8°C) un nokrišņu daudzums par 25 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (73 mm). Jūlijs bija siltākais Latvijas novērojumu vēsturē kopš 1924. gada. Jūlija vidējā gaisa temperatūra Stendē bija par 0,7 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (17,8°C) un nokrišņu daudzums par 83,2 mm pārsniedza 1981.-2010. gada mēneša normu (76 mm). Jūlijs vienlīdzīgi ar 2010. gada jūniju bija vissiltākie Latvijas novērojumu vēsturē (kopš 1924. gada). Augusta vidējā gaisa temperatūra Stendē bija par 3,2 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (16,5°C) un nokrišņu daudzums par 6,7 mm mazāks 1981.-2010. gada mēneša normas (77 mm). Septembrī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija par 1,7 °C zem 1981.-2010. gada mēneša normas (11,7°C) un nokrišņu daudzums par 25 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (66 mm). Oktobrī vidējā gaisa temperatūra Stendē bija

par 2,4 °C virs 1981.-2010. gada mēneša normas (6,9°C) un nokrišņu daudzums par 39 mm mazāks nekā 1981.-2010. gada mēneša norma (73 mm, LVĢMC, 2022).

Rezultāti

Rezultātu nodaļas pirmajā apakšnodaļā ir apkopoti SEG mērījumu rezultāti, kur sniegts ieskats N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju apjomu aprakstošajos statistiskajos rādītājos, un otrajā apakšnodaļā ir analizēta audzēto kultūru ietekme uz N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju apjomu. Trešajā apakšnodaļā izvērtēta augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme uz gāzu emisijām un N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ savstarpējās sakarības. Ceturtajā apakšnodaļā analizēta lauksaimniecības veidu (bioloģiskā un konvencionālā) ietekme uz N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju apjomu, bet piektajā apakšnodaļā ir analizēta audzējamās kultūras (vasaras mieži un sarkanais āboliņš) un augsnes (minerālaugsne un organiskā augsne) ietekme uz N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju apjomu.

SEG mērījumu rezultāti

Līdz 2022. gada 30. novembrim Stendē mērījumi ir veikti 12 mērījumu kampaņās vasaras miežu, sarkanā āboliņa, zirņu, ziemas kviešu 3. gadā pēc pasējas, vasaras kviešu, auzu, pupu un griķu zaļmēslojuma izmēģinājuma laukos, kuros izmantotas bioloģiskās un konvencionālās saimniekošanas metodes, kā arī atsevišķos laukos ir sastopama organiskā augsne. Katrā objektā tika veikti N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ mērījumi 3 kamerās, augsnes mitruma un augsnes temperatūras mērījumi. Kopā Stendē ir veikti 1188 mērījumi. 2022. gada mērījumu rezultātos ir vērojama mediānas un aritmētiskās vidējās vērtības nesakritība, kas liecina par emisiju mainīgo dabu. Iegūto datu aprakstošās statistiskās analīzes rezultāti attēloti Tab. 11.

Tab. 11 N₂O, CO₂, NH₃ un CH₄ emisiju statistiskie rādītāji 2022. gadā.

Variables		CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
N	Valid	1188	1188	1188	1188
	Missing	0	0	0	0
Mean		-6,54	3,41	112,13	-0,001
Std. Error of Mean		0,14	0,21	2,07	0,051
Median		-5,40	1,90	106,72	-0,09
Std. Deviation		4,98	7,39	71,34	1,77
Variance		24,76	54,57	5089,99	3,15
Minimum		-23,04	-12,17	0,68	-4,87

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Variables		CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
Maximum		6,27	60,84	416,78	20,61
Percentiles	25	-9,76	-0,38	60,97	-0,32
	50	-5,40	1,90	106,72	-0,09
	75	-2,82	4,56	146,28	0,12

Lai veicinātu izpratni par gāzu emisiju dabu un izprastu katras gāzes emisiju atšķirības audzējamo kultūru, lauksaimniecības veida un augsnes kontekstā, SEG emisijas tiek analizētas audzējamās kultūras kontekstā (vasaras mieži, sarkanais āboliņš, zirņu, ziemas kvieši 3. gadā pēc pasējas, vasaras kvieši, auzas, pupas un griķi zaļmēslojumam), lauksaimnieciskās darbības veida (bioloģiski: vasaras mieži, sarkanais āboliņš, ziemas kvieši 3. gadā pēc pasējas, auzas, pupas 2. gadā pēc pasējas; konvencionāli: vasaras mieži, zirņi, vasaras kvieši, griķi zaļmēslojumam) un augsnes veida un audzējamās kultūras lauka griezumā (vasaras mieži un sarkanais āboliņš uz minerālaugsnī un organisko augsni).

Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām

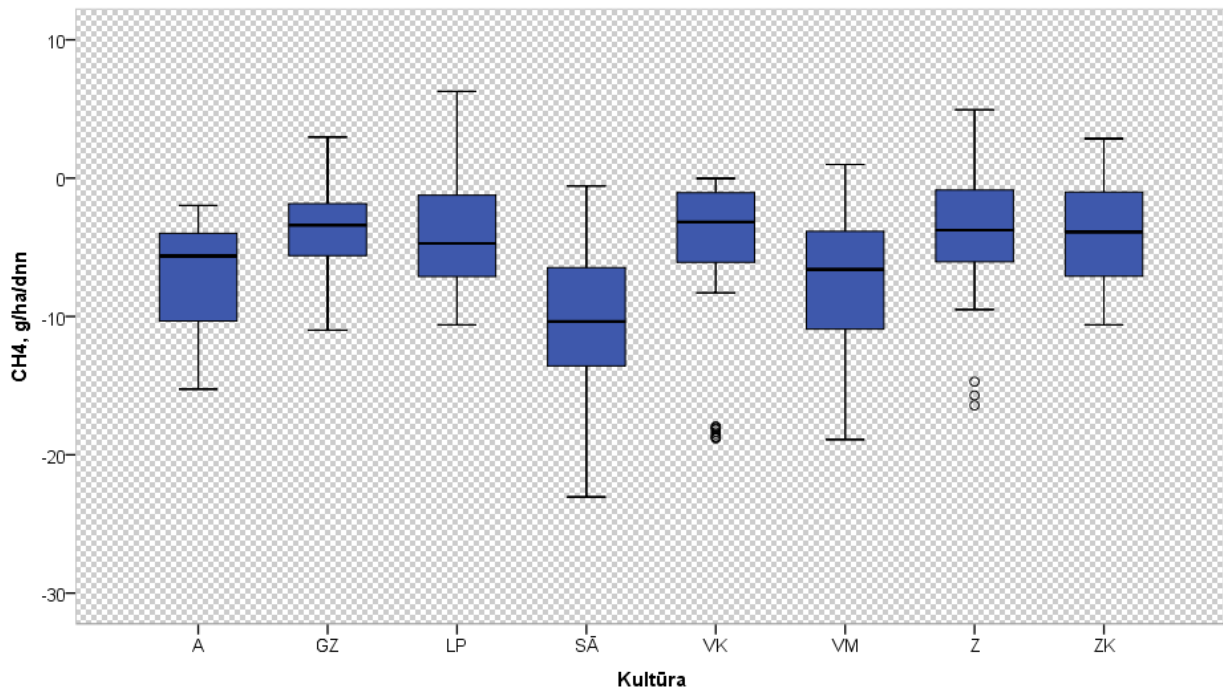
Analizējot metāna (CH₄) emisijas no augsnēm, ir vērojama piesaiste un tikai atsevišķos gadījumos veidojas CH₄ emisijas (Att. 8). Vislielāko CH₄ piesaisti vidēji veido auzas, sarkanais āboliņš un vasaras miežu lauki, bet vismazāko zirņi un ziemas kvieši (Tab. 12). Lauku pupu un zirņu laukos ir novērotas arī CH₄ emisijas, kas vairākkārtīgi pārsniedz citu lauku maksimālās vērtības. Statistiski nozīmīgas atšķirības 2022. gadā ir novērotas starp sarkano āboliņu un pārējām kultūrām, starp vasaras miežiem un pārējām kultūrām, izņemot auzas, un starp auzām un pārējām kultūrām (p<0.005).

Tab. 12 CH₄ emisijas statistiskie rādītāji 2022. gadā

CH ₄ , g/ha/dnn		Auzas	Griķi	Lauka pupas	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Zirņi	Ziemas kvieši
N	Valid	108	108	108	216	108	324	108	108
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		-7,16	-4,26	-4,69	-10,29	-4,60	-7,62	-3,69	-4,09
Std, Error of Mean		0,38	0,30	0,31	0,37	0,46	0,27	0,35	0,34
Median		-5,63	-3,40	-4,72	-10,36	-3,18	-6,60	-3,77	-3,90
Std, Deviation		3,95	3,13	3,26	5,51	4,74	4,82	3,65	3,56
Variance		15,57	9,82	10,61	30,36	22,48	23,27	13,31	12,66
Minimum		-15,25	-10,99	-10,61	-23,04	-18,82	-18,90	-16,43	-10,61
Maximum		-1,98	2,97	6,27	-0,57	-0,02	0,99	4,94	2,85
	25	-10,33	-5,62	-7,11	-13,58	-6,08	-10,91	-6,05	-7,10

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

CH ₄ , g/ha/dnn		Auzas	Griķi	Lauka pupas	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Zirņi	Ziemas kvieši
Percent	50	-5,63	-3,40	-4,72	-10,36	-3,18	-6,60	-3,77	-3,90
iles	75	-3,92	-1,84	-1,23	-6,47	-1,04	-3,84	-0,85	-1,00



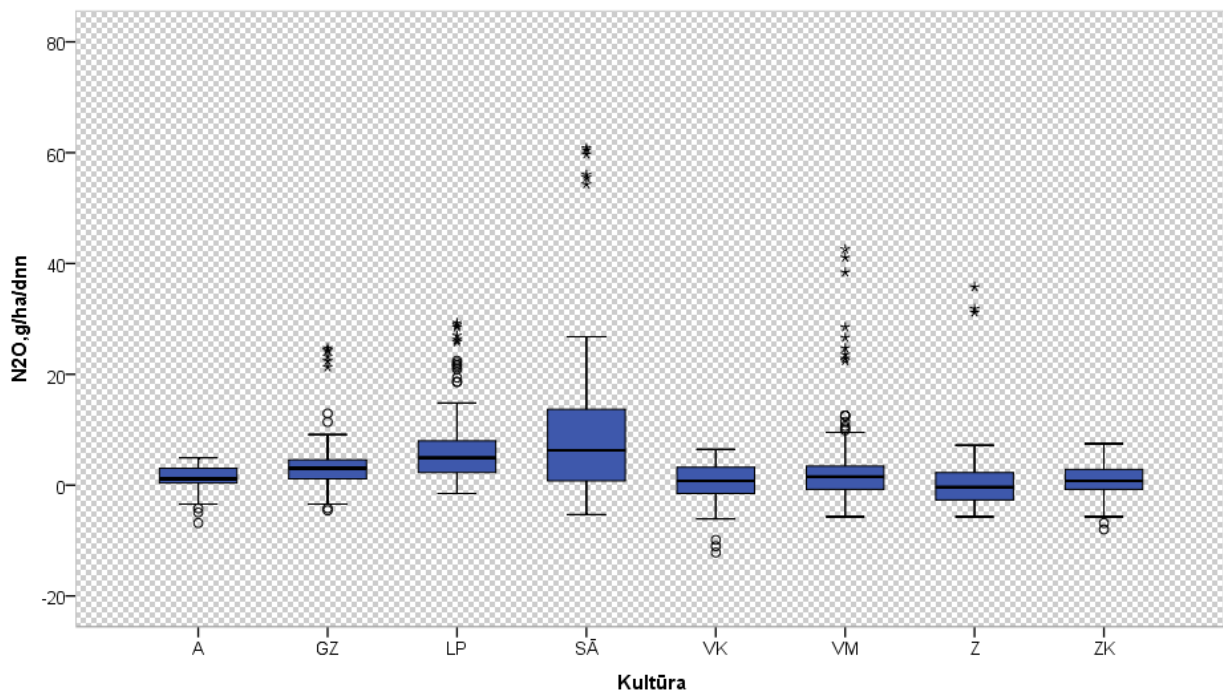
Att. 8 CH₄ emisija 2022. gadā¹.

Vismazākā vidējā vērtība N₂O emisijai ir novērota zirņu un vasaras kviešu laukos, bet maksimālās N₂O emisijas ir novērotas sarkanā āboliņa un vasaras miežu laukos (Tab. 13 un Att. 9). Vasaras kviešu lauks ir vienīgais, kur ir veikta mēslošana, izmantojot minerālmēslus, tomēr no šī lauka nav novērota augstāka emisija, kas ļauj secināt, ka 2022. gada veģetācijas periodā minerālmēslu izmantošana nav galvenais noteicošais faktors, kas ietekmē N₂O emisiju no augsnes Stendes klimatiskajos un augsnes apstākļos. Pēc Kruskal-Wallis testa, 2022. gadā statistiski nozīmīgas atšķirības N₂O emisijai ir starp griķiem un zirņiem, ziemas kviešiem, vasaras kviešiem, auzām, vasaras miežiem, lauku pupām, kā arī starp sarkano āboliņu un zirņiem, ziemas kviešiem, vasaras kviešiem, auzām, vasaras miežiem, un starp lauku pupām un zirņiem, ziemas kviešiem, vasaras kviešiem, auzām, vasaras miežiem un griķiem, kā arī starp zirņiem un vasaras miežiem (p>0,05).

¹ A – auzas; GZ – griķi zaļmēslojumam; LP – lauka pupas 2. gads pēc pasējas; SĀ – sarkanais āboliņš, VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši 3. gads pēc pasējas.

Tab. 13 N₂O emisijas statistiskie rādītāji 2022. gadā

N ₂ O, g/ha/dnn		Auzas	Griķi	Lauka pupas	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Zirņi	Ziemas kvieši
N	Valid	108	108	108	216	108	324	108	108
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		1,19	3,70	7,03	8,37	0,72	2,26	0,60	0,81
Std, Error of Mean		0,21	0,56	0,72	0,76	0,34	0,33	0,60	0,31
Median		1,14	3,04	4,94	6,27	0,76	1,52	-0,38	0,76
Std, Deviation		2,19	5,78	7,47	11,10	3,51	5,97	6,29	3,20
Variance		4,82	33,46	55,76	123,30	12,32	35,59	39,59	10,22
Minimum		-6,84	-4,56	-1,52	-5,32	-12,17	-5,70	-5,70	-7,98
Maximum		4,94	24,72	29,28	60,84	6,47	42,59	35,75	7,49
Percentiles	25	0,38	1,14	2,28	0,76	-1,52	-0,76	-2,66	-0,76
	50	1,14	3,04	4,94	6,27	0,76	1,52	-0,38	0,76
	75	3,04	4,56	7,98	13,69	3,33	3,42	2,28	2,95



Att. 9. N₂O emisija pēc audzētās kultūras 2022. gadā².

Vasaras kviešu laukos vidējā CO₂ emisija ir mazāka, salīdzinot ar pārējiem laukiem, bet visaugstākā vidējā vērtība ir sarkanā āboliņa un vasaras miežu laukos (Tab. 14 un Att. 10).

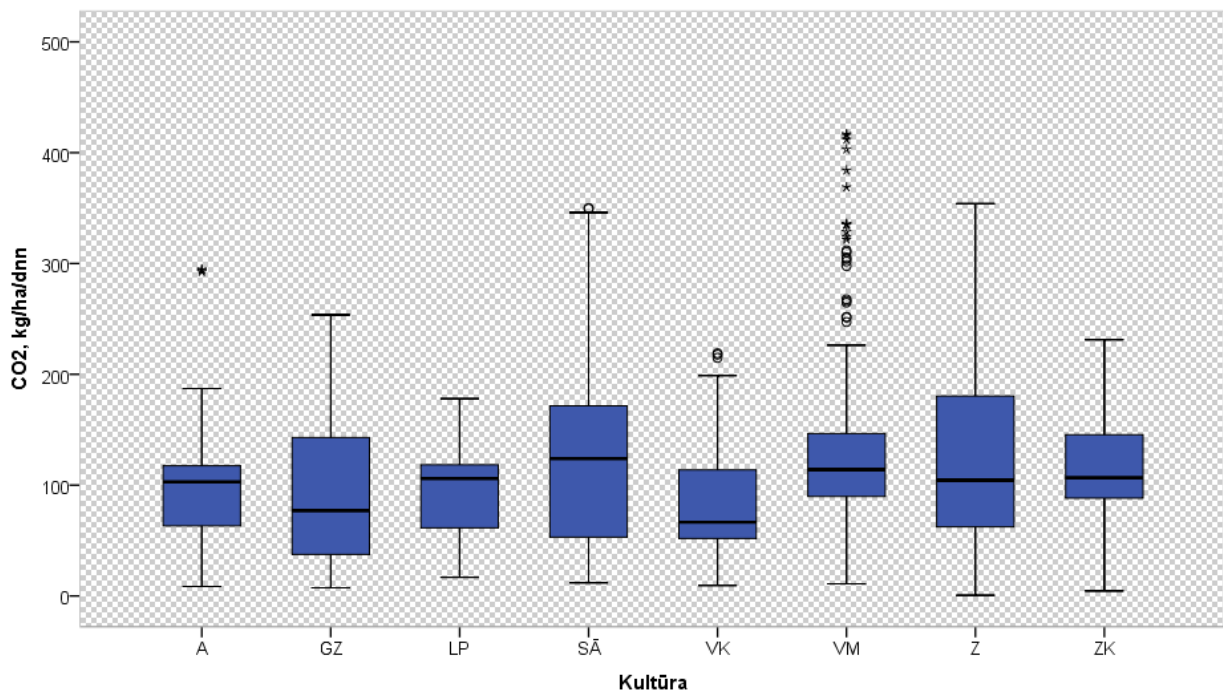
² A – auzas; GZ – griķi zaļmēslojumam; LP – lauka pupas 2. gads pēc pasējas; SĀ – sarkanais āboliņš, VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši 3. gads pēc pasējas.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Vasaras miežiem un sarkanajam āboliņam 2022. gadā CO₂ emisijai ir statistiski nozīmīgas atšķirības ar vasaras kviešiem, griķiem, lauku pupām un auzām, un vasaras kviešiem ir arī statistiski nozīmīgas atšķirības ar zirņiem un ziemas kviešiem (p<0.05).

Tab. 14 CO₂ emisijas statistiskie rādītāji 2022. gadā.

CO ₂ , kg/ha/dnn		Auzas	Griķi	Lauka pupas	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Zirņi	Ziemas kvieši
N	Valid	108	108	108	216	108	324	108	108
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		98,41	92,91	93,63	127,19	81,67	124,41	125,40	113,77
Std, Error of Mean		5,21	6,35	4,24	5,42	4,79	4,16	8,85	5,84
Median		102,94	77,06	105,94	123,97	66,53	114,00	104,44	106,76
Std, Deviation		54,20	66,04	44,05	79,68	49,75	74,88	91,93	60,64
Variance		2937,2	4361,2	1940,4	6348,4	2474,6	5607,5	8452,0	3677,5
Minimum		8,63	7,38	16,77	11,86	9,51	10,99	0,68	4,49
Maximum		294,71	253,64	178,00	349,85	219,04	416,78	354,03	231,20
Percentiles ^s	25	60,65	36,91	61,32	52,49	51,24	89,72	62,41	88,03
	50	102,94	77,06	105,94	123,97	66,53	114,00	104,44	106,76
	75	117,50	145,26	118,55	171,50	115,03	146,69	180,72	146,31



Att. 10. CO₂ emisija pēc audzētās kultūras 2022. gadā³.

³ A – auzas; GZ – griķi zaļmēslojumam; LP – lauka pupas 2. gads pēc pasējas; SĀ – sarkanais āboliņš, VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši 3. gads pēc pasējas.

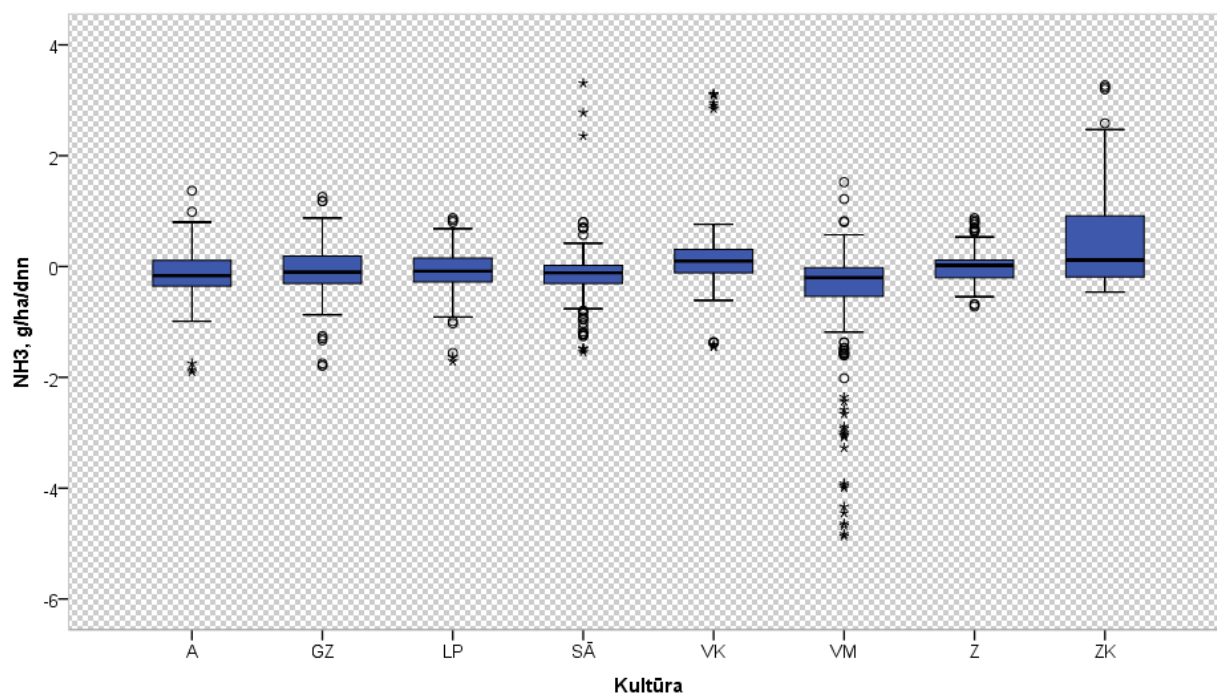
Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Visām kultūrām ir novērotas ne tikai ļoti zemas NH₃ emisiju vērtības, bet arī NH₃ piesaistes vērtības. Vislielāko piesaisti, kas vairākas reizes pārsniedz citu kultūru piesaisti, var novērot vasaras miežu laukos, bet šajos laukos var arī novērot ekstrēmās vērtības (Tab. 15 un Att. 11).

Vasaras miežiem ir statistiski nozīmīgas NH₃ emisijas atšķirības ar visām kultūrām, izņemot auzas, sarkanajam āboliņam ir statistiski nozīmīgas atšķirības ar zirņiem, vasaras kviešiem, ziemas kviešiem, auzām un griķiem ar vasaras kviešiem un ziemas kviešiem, un lauku pupām ar ziemas kviešiem (p<0,005).

Tab. 15 NH₃ emisijas statistiskie rādītāji 2022. gadā.

NH ₃ , g/ha/dnn		Auzas	Griķi	Lauka pupas	Sarkanais āboliņš	Vasaras kvieši	Vasaras mieži	Zirņi	Ziemas kvieši
N	Valid	108	108	108	216	108	324	108	108
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		0,22	-0,09	-0,09	-0,15	0,17	-0,12	0,03	0,40
Std. Error of Mean		0,22	0,05	0,04	0,04	0,08	0,17	0,03	0,08
Median		-0,17	-0,10	-0,09	-0,12	0,10	-0,20	0,02	0,12
Std. Deviation		2,33	0,53	0,43	0,53	0,82	2,97	0,34	0,80
Variance		5,44	0,28	0,18	0,281	0,68	8,84	0,12	0,64
Minimum		-1,90	-1,79	-1,71	-1,54	-1,44	-4,87	-0,72	-0,46
Maximum		14,30	1,26	0,87	3,31	3,12	20,61	0,87	3,27
Percent iles	25	-0,36	-0,30	-0,28	-0,30	-0,12	-0,55	-0,21	-0,19
	50	-0,17	-0,10	-0,09	-0,12	0,10	-0,20	0,02	0,12
	75	0,11	0,19	0,15	0,02	0,31	-0,02	0,12	0,93



Att. 11. NH₃ emisija pēc audzētās kultūras 2022. gadā⁴.

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, Peter Y.; Popovich, Paula M.'s Correlation, 2002; Coffman u.c., 2008) (Chen, Popovich, 2002; Coffman et al., 2008) visiem mērījumu rezultātiem 2022. gadā (Tab. 16 un 17).

Starp CH₄ un CO₂ ir statistiski nozīmīga negatīva korelācija, kas nozīmē, ka, palielinoties vienas gāzes emisijai, otras gāzes emisija samazinās, kas skaidrojams ar aerobo vai anaerobo mikroorganismu dominanci pie vieniem vai otriem apstākļiem. Stendes pētniecības centrā dominē mālsmits un smilšmāla augsnes un ir novērojamas ciešas sakarības starp augsnes temperatūru un augsnes mitrumu un SEG gāzēm, izņemot starp NH₃ un N₂O ar augsnes mitrumu un N₂O un CO₂.

Tab. 16 Kendala korelācijas koeficienti 2022. gadā⁵

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, °C	1	-0,208**	-0,109**	-0,046*	0,270**	0,135**
Augsnes mitrums, %	-0,208**	1	0,058**	0,006	0,083**	-0,029

⁴ A – auzas; GZ – griķi zaļmēslojumam; LP – lauka pupas 2. gads pēc pasējas; SĀ – sarkanais āboliņš, VK – vasaras kvieši; VM – vasaras mieži; Z – zirņi; ZK – ziemas kvieši 3. gads pēc pasējas.

⁵ ** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
CH ₄ , g/ha/dnn	-0,109**	0,058**	1	-0,163**	-0,357**	0,0065**
N ₂ O, g/ha/dnn	-0,046*	0,006	-0,163**	1	0,037	-0,048*
CO ₂ , kg/ha/dnn	0,270**	0,083**	-0,357**	0,037	1	-0,054**
NH ₃ , g/ha/dnn	0,135**	-0,029	0,065**	-0,048*	-0,054**	1

Bioloģiski apstrādātos laukos palielinoties augsnes temperatūrai, palielinās CO₂, un NH₃, bet samazinās augsnes mitrums un CH₄, bet, palielinoties augsnes mitrumam, palielināsies CO₂ un NH₃ emisijas. Ir novērojamas arī statistiski nozīmīgas sakarības starp CO₂ un CH₄, N₂O (Tab. 17 Error: Reference source not found). Visciešākā negatīvā korelācija bioloģisko apstrādātos laukos ir starp CO₂ un CH₄.

Tab. 17 Kendala korelācijas koeficienti bioloģiski apstrādātos laukos 2022. gadā⁶

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, °C	1	-0,148**	-0,0182**	0,017	0,308**	0,158**
Augsnes mitrums, %	-0,148**	1	0,049	-0,021	0,124**	-0,059*
CH ₄ , g/ha/dnn	-0,182**	0,049	1	-0,180**	-0,330**	0,023
N ₂ O, g/ha/dnn	0,017	-0,021	-0,180**	1	0,057*	-0,027
CO ₂ , kg/ha/dnn	0,308**	0,124**	-0,330**	0,057*	1	-0,027
NH ₃ , g/ha/dnn	0,158**	-0,059*	0,023	-0,027	-0,027	1

Bioloģiski un konvencionāli apstrādātu lauku veiktā gāzu savstarpējo sakarību analīze apstiprina zinātniskās literatūras izvirzīto hipotēzi, ka CO₂ un CH₄ emisijām ir negatīva statistiski nozīmīga korelācija. Konvencionāli apstrādātos laukos šī sakarība ir ciešāka (-0.437), salīdzinot ar bioloģisko apstrādātiem laukiem (-0.330). Konvencionāli apstrādātos laukos augsnes temperatūra statistiski nozīmīgi ietekmē gan augsnes mitrumu, gan visu SEG gāzu izdalīšanos. Konvencionāli apstrādātos laukos 2022. gadā ir arī novērojamas korelācijas starp CH₄ un pārējām gāzēm (Tab. 18).

Tab. 18 Kendala korelācijas koeficienti konvencionāli apstrādātos laukos 2022. gadā⁷

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
Augsnes temperatūra, °C	1	-0.281**	-0.122**	-0.068*	0.243**	0.092**
Augsnes mitrums, %	-0.281**	1	0.224**	-0.013	-0.009	0.047
CH ₄ , g/ha/dnn	-0.122**	0.224**	1	-0.067*	-0.437**	0.154**
N ₂ O, g/ha/dnn	-0.068*	-0.013	-0.067*	1	-0.034	-0.029

⁶ ** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05.

⁷ ** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g/ha/dnn	N ₂ O, g/ha/dnn	CO ₂ , kg/ha/dnn	NH ₃ , g/ha/dnn
CO ₂ , kg/ha/dnn	0.243**	-0.009	-0.437**	-0.031	1	-0.079*
NH ₃ , g/ha/dnn	0.092**	0.047	0.154**	-0.029	-0.079*	1

Lauksaimnieciskās darbības veida ietekme uz SEG emisijām

Lai sniegtu priekšstatu par lauksaimnieciskās darbības veida ietekmi uz SEG emisijām no augsnes, ir analizēti konvencionāli un bioloģiski apstrādātos laukos veiktie mērījumi (Att. 12). Pēc Mann-Whitney U testa SEG emisijas statistiski būtiski atšķiras starp bioloģisko un konvencionālo lauksaimniecības veidu ($p < 0.05$).

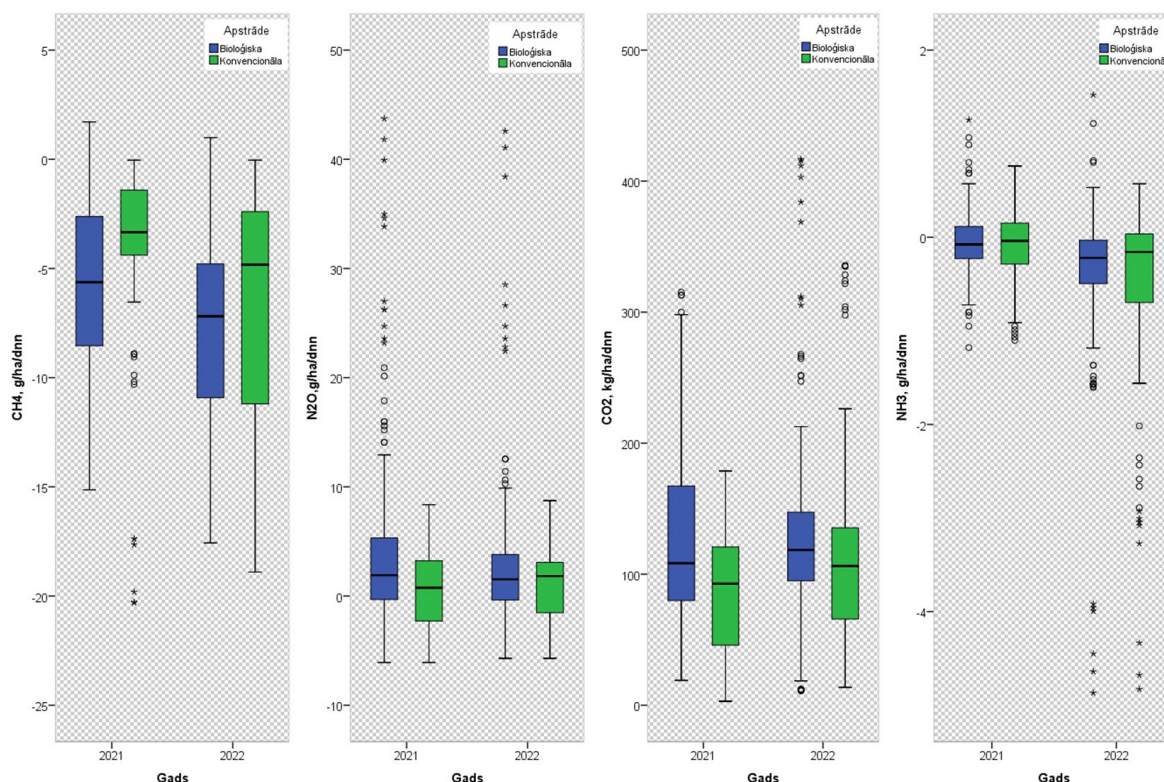
CH₄ emisiju salīdzinājums pēc lauksaimnieciskās darbības veida parāda, ka bioloģiski apsaimniekotos laukos ir lielāka CH₄ piesaiste. Salīdzinot abus gadus, 2022. gadā gan konvencionāli, gan bioloģiski apstrādātos laukos ir lielāka piesaiste un zemākas mediānas vērtības, kas nozīmē, ka 2022. gada veģetācijas periodā ir bijuši labvēlīgāki apstākļi CH₄ piesaistei.

N₂O emisijas mediānas vērtība 2022. gadā ir lielāka konvencionālajos laukos, bet bioloģiski apstrādātos laukos N₂O emisijai ir liela izkliede abos gados, kas varētu būt skaidrojama ar lielāku mikroorganismu daudzveidību un aktīvāku to darbību.

CO₂ emisiju 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. CO₂ emisijas izkliede vislielākā ir konvencionāli apstrādātajos laukos.

NH₃ emisiju salīdzinājums pēc lauksaimnieciskās darbības veida parāda, ka konvencionāli apstrādātos laukos mediānas vērtības ir augstākas, kā arī 2022. gadā ir vērojamas daudz ekstrēmas vērtības, kas norāda uz NH₃ piesaisti.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 12. Emisiju salīdzinājums 2021. un 2022. gadā pēc lauksaimnieciskās darbības veida.

Augsnes un audzējamās kultūras ietekme uz SEG emisijām

Bioloģisko apstrādātos vasaras miežu un sarkanā āboliņa laukos lauka vienā pusē ir sastopama organiskā augsne, tāpēc veicām 2022. gada SEG emisiju salīdzinājumu šiem laukiem (Att. 13). Mann-Whitney U tests parāda, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība starp minerālaugsni un organisko augsni CO₂ emisijai šajos laukos ($p < 0.05$).

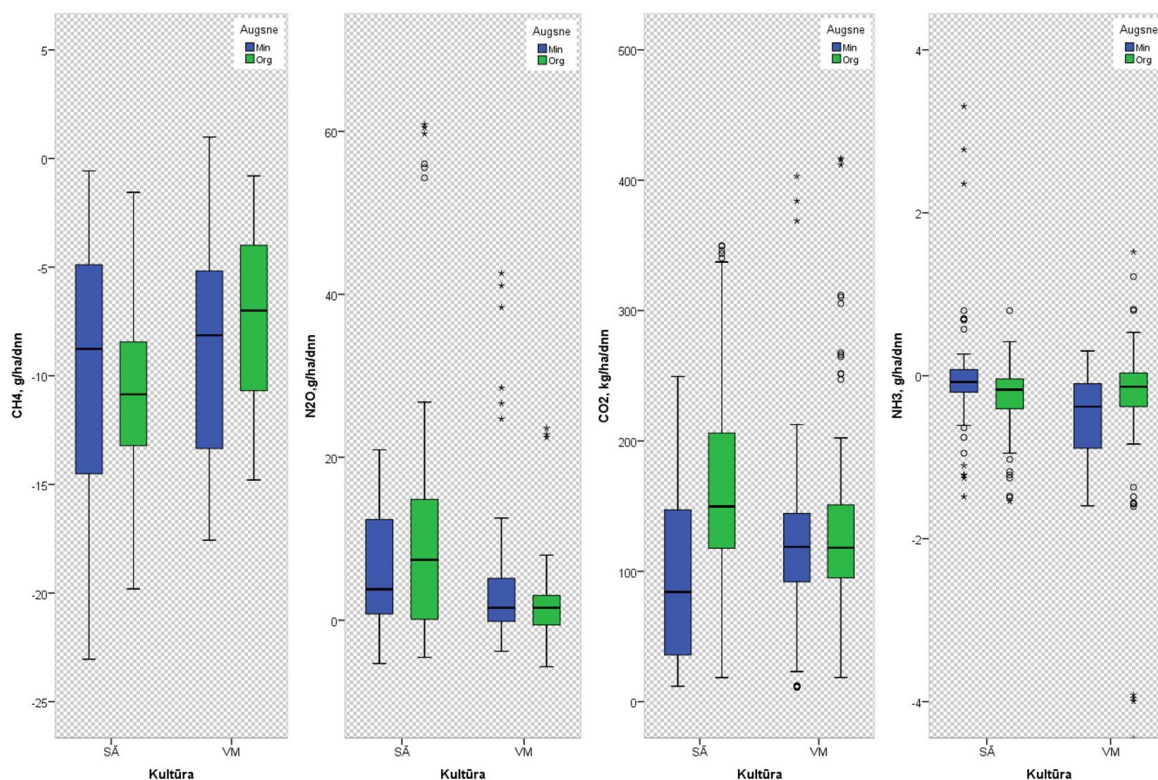
Sarkanā āboliņa organiskās augsnes lauka pusē ir vērojama lielāka CH₄ asimilācija, salīdzinot ar minerālaugsnes lauka daļu un vasaras miežu lauku.

Vasaras miežu laukā N₂O emisija ir ievērojami zemāka un emisijas izkliede mazāka, salīdzinot ar sarkanā āboliņa lauku. 2022. gadā ekstrēma vērtības ir novērotas minerālaugsnes daļā. N₂O emisijas svārstību atšķirība ir saistīta ar kultūras atšķirībām, jo sarkanais āboliņš piesaista slāpekli no atmosfēras, kā rezultātā ir arī lielāka N₂O emisijas izkliede. N₂O emisijai, salīdzinot starp kultūrām, ir statistiski nozīmīga atšķirība ($p < 0.05$).

CO₂ emisijai nav statistiski būtiska atšķirība starp kultūrām. Vasaras miežiem nav novērojamas CO₂ emisijas atšķirības, tā ir stabila ar ekstrēmām vērtībām gan lauka minerālaugsnes, gan organiskās augsnes daļās. Sarkanā āboliņa organiskās augsnes

lauka daļā CO₂ emisija ir daudz augstāka nekā minerālaugsnes daļā, kas skaidrojams ar organiskās vielas straujāku sadalīšanos, ko varētu būt izraisījusi slāpekļa pieejamība.

Abos laukos ir novērota ne tikai NH₃ emisija, bet arī asimilācija. NH₃ emisijai starp kultūrām ir statistiski būtiska atšķirība ($p < 0.05$). Augstāka NH₃ emisija ir novērota vasaras miežu organiskās augsnes lauka daļā, kas varētu būt skaidrojama ar organiskās vielas palielinātu noārdīšanās ātrumu.



Att. 13. CH₄ salīdzinājums 2021. un 2022. gadā vasaras miežu laukos.

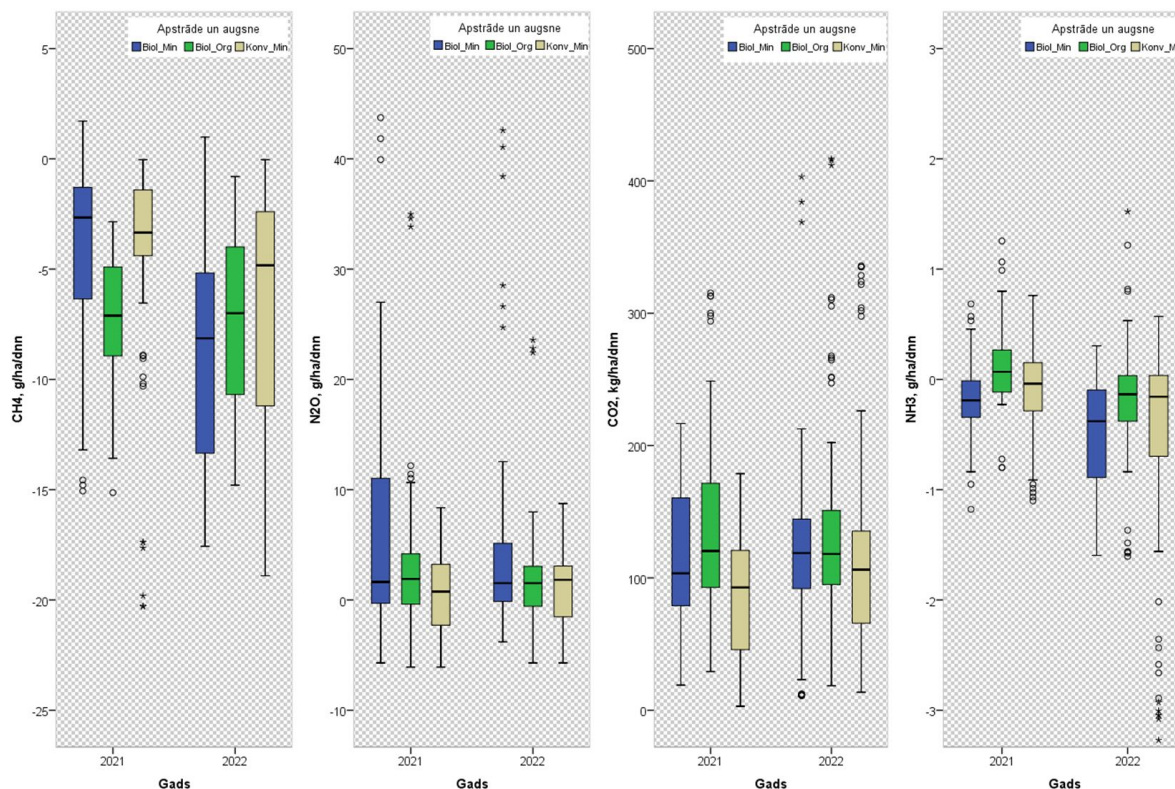
Lauksaimnieciskās darbības veida, augsnes un vasaras miežu ietekme uz SEG emisijām

Ņemot vērā veiktos mērījumus un Stendes izmēģinājuma lauku kultūru rotāciju, ir iespējams novērtēt vasaras miežu ietekmi uz SEG emisijām no augsnes 2021. un 2022. gadā (Att. 14). Mann-Whitney U tests parāda, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība starp lauksaimnieciskās darbības veidiem un CH₄, N₂O un CO₂ emisijām, un starp minerālaugšni un organisko augsni un CH₄, CO₂ un NH₃ emisijām vasaras miežu laukos ($p < 0.05$).

N₂O emisijas mediānas vērtības abos gados visiem lauksaimnieciskās darbības veidiem un augsnēm ir tuvu viena otrai, kas nozīmē, ka, ja arī emisijas izkliede ir atšķirīga, tomēr mediānas vērtības ir ļoti tuvu un varam uzskatīt, ka bioloģiski apsaimniekotiem

vasaras miežiem N₂O emisija ir salīdzinoši stabila, vērtējot visu veģetācijas periodu kopā.

CO₂ un NH₃ emisijām ir vērojama līdzīga tendence, kur bioloģiski apsaimniekotās organiskās augsnes emisiju mediānas vērtības ir augstākas.



Att. 14. Emisiju salīdzinājums 2021. un 2022. gadā vasaras miežu laukos.

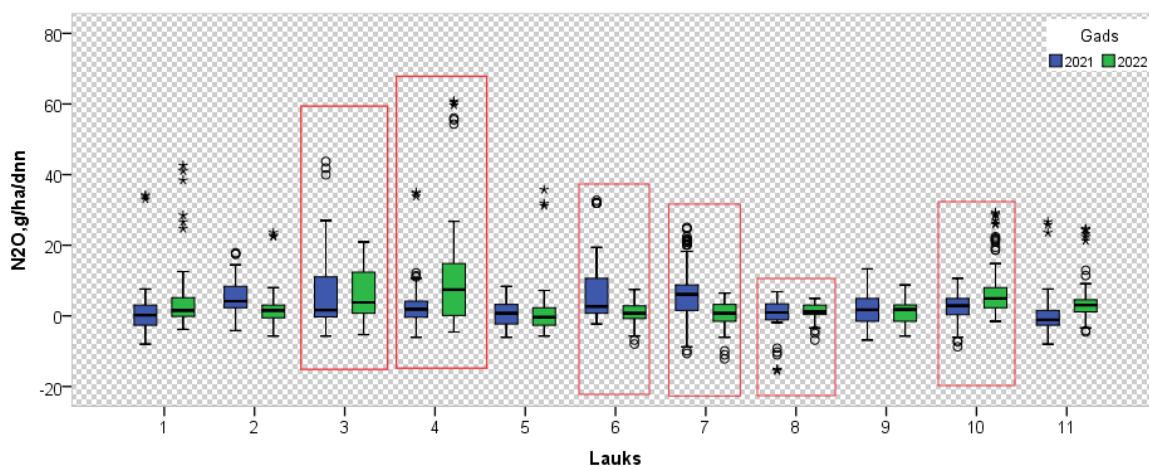
Sarkanā āboliņa ietekme uz SEG emisijām

Sarkanais āboliņš ir viena no visbiežāk izmantotajām tauriņziežu kultūrām Latvijā, kas tiek audzēta, lai uzlabotu slāpekļa pieejamību augsnē un samazinātu minerālmēsli izmantošanu, tāpēc veicām 2021. gada un 2022. 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.

Sarkanam āboliņam gan 2021., gan 2022. gadā N₂O emisijas vidējā vērtība vairākas reizes pārsniedz citu kultūraugu N₂O emisijas vidējās vērtības. 2021. gadā tā ir 6.46 g N₂O no hektāra diennakti, bet 2022. gadā N₂O emisijas vērtība ir 8.37 g N₂O no hektāra diennakti, kas ir 2.36 un 3.06 kg no hektāra gadā. Kruskal-Wallis tests parāda, ka statistiski būtiska atšķirība N₂O emisijai ir starp 8. lauku un 3., 4., 7., un 10. ($p < 0.05$).

N₂O emisijai ir tendence būt augstākai gadā, kad rotācijā ir sarkanais āboliņš, kā to varam redzēt Att. 15, kur 3. un 4. laukā 2022. gadā augs sarkanais āboliņš. Savukārt 6.

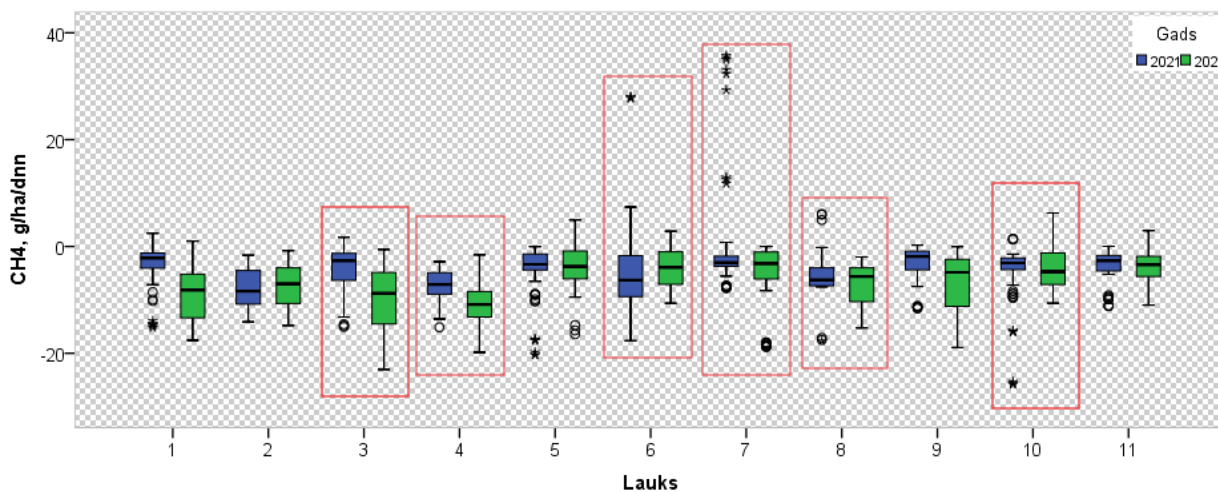
un 7. laukā, kur sarkanais āboliņš auga 2021. gadā, varam novērot N₂O emisijas samazinājumu, kas nozīmē, ka nākamās kultūras, kas šajā gadījumā ir ziemas kvieši un vasaras kvieši, izmanto augsnē uzkrāto slāpekli. 8.laukā sarkanais āboliņš bija sēts 2020. gadā un šeit varam novērot, ka pēc divām rotācijām N₂O emisija ir stabilizējusies. Savukārt 10. laukā ir vērojama pretēja tendence, un 2022. gadā N₂O emisija palielinās, kas ir skaidrojams ar to, ka 2021. gadā vasaras kvieši tika sēti ar āboliņa pasēju, bet 2022. gadā ir audzētas pupas. Šādā gadījumā visticamāk, ka augsnē veidojas slāpekļa pārpalikums, kā arī pupas vēl papildus piesaista slāpekli no atmosfēras.



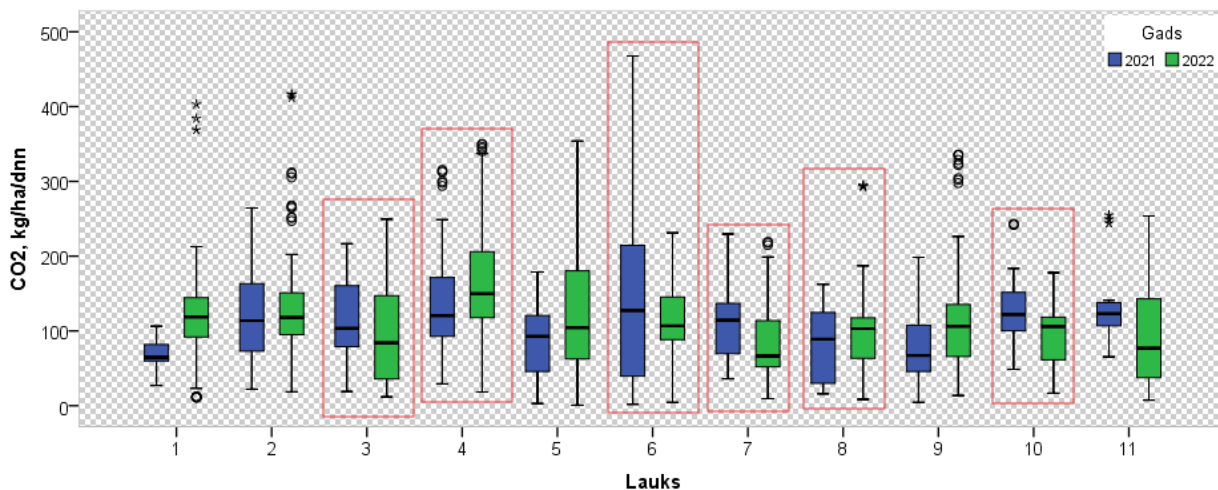
Att. 15. N₂O emisijas salīdzinājums 2021. un 2022. gadā lauku griezumā.

Sarkanajam āboliņam 2021. gadā, salīdzinot ar citām kultūrām, vidēji bija mazāka CH₄ piesaiste, savukārt 2022. gadā vidēji vislielākā piesaiste, kas ir 3.76 kg CH₄ uz hektāru gadā. Apskatot CH₄ emisijas salīdzinājumu 2021. un 2022. gadā lauku griezumā Att. 16 var secināt, ka gadā, kad sarkanais āboliņš ir iesēts, ir lielāka metāna piesaiste no gaisa, savukārt 2. gadā pēc sarkanā āboliņa, CH₄ emisija palielinās, kas varētu būt skaidrojams ar skābekļa saturu augsnē, jo pirms sēšanas ir veikta augsnes apstrāde kas veicina mikrobioloģiskos procesus un organiskās vielas noārdīšanos, tomēr Att. 17 šo teoriju pilnībā neapstiprina, jo ir novērojams gan CO₂ emisijas samazinājums, gan palielinājums pirmajā gadā, kad sarkanais āboliņš ir iesēts, kas nozīmē, ka ir vēl kāds faktors, kas ietekmē CO₂ un CH₄ emisiju veidošanos. Statistiski nozīmīgas CH₄ emisijas atšķirības pēc Kruskal-Wallis testa nav 3. laukam ar 8. un 6., kā arī 10. laukam ar 6. un 7. lauku (p<0.05). Savukārt CO₂ emisijai statistiski būtiska atšķirība ir starp 4. lauku un 8., 7., 3., 10., 6., kā arī starp 6. lauku un 8., 7.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

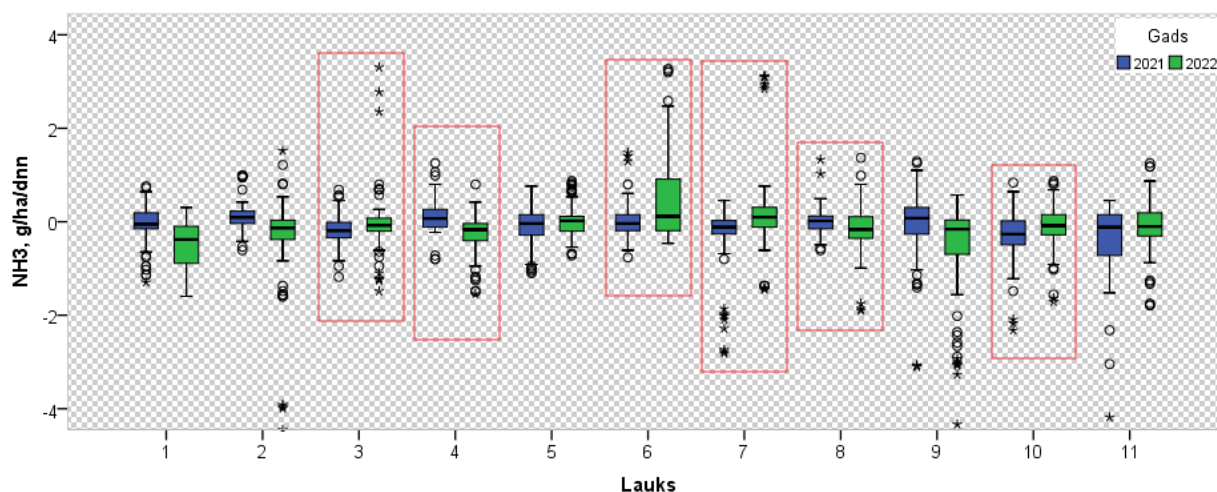


Att. 16. CH₄ emisijas salīdzinājums 2021. un 2022. gadā lauku griezumā.



Att. 17. CO₂ emisijas salīdzinājums 2021. un 2022. gadā lauku griezumā.

NH₃ emisijas sarkanajam āboliņam neatšķiras no citu kultūru NH₃ emisijām. Ir novērojams 6., 7. un 10. laukos, ka 2. gadā pēc sarkanā āboliņa ir NH₃ emisijas pieaugums, kas skaidrojams ar uzkrātās organiskās vielas noārdīšanos augsnē Att. 18 Statistiski nozīmīga NH₃ emisijas atšķirība ir starp 6. lauku un 10., 3., 8., 4., un 7. laukam ar 10. un 3. lauku (p<0.05).



Att. 18. NH₃ emisijas salīdzinājums 2021. un 2022. gadā lauku griezumā.

Secinājumi par pasējas augu ietekmi

1. Pētījuma divu 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 2.64 g/ha/dnn lielāka, N₂O emisija ir par 2.03 g/ha/dnn lielāka, un CO₂ emisija ir par 14.73 kg/ha/dnn lielāka, salīdzinot ar konvencionāli apstrādātiem laukiem.
2. Pētījuma divu gadu rezultāti parāda arī, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība starp CH₄, N₂O un CO₂ emisijām minerālaugsnē un organiskajā augsnē ierīkotajos vasaras miežu laukos. CH₄ piesaiste organiskajā augsnē ir vidēji par 1,30 g/ha/dnn lielāka, CO₂ emisija ir par 21,91 kg/ha/dnn lielāka, bet N₂O emisija ir par 0,45 g/ha/dnn mazāka, salīdzinot ar minerālaugsnes lauku.
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. Šī fenomena izpētei ir nepieciešami SEG emisiju mērījumi vismaz diviem pilniem augu sekas rotāciju cikliem, lai apstiprinātu pētījumā izvirzīto hipotēzi, ka trešajā gadā pēc sarkanā āboliņa, N₂O emisija stabilizējas.
5. Mērījuma rezultāti rāda, ka, iekļaujot rotācijā tauriņziežus vairākus gadus pēc kārtas, ir risks, ka augsnē tiek uzkrāts pārāk liels slāpekļa apjoms, kas var veicināt

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

paaugstinātas N₂O emisijas nākamajos gados. Ir nepieciešams turpināt ilglaicīgus mērījumus, lai pārliecinātos, ka šim novērojumam nav gadījuma raksturs, ko ir ietekmējuši konkrētā gada specifiskie laikapstākļi.

Oglekļa vienību sertifikācijas un verifikācijas sistēmu analīze

Priekšlikumi Eiropas Savienības oglekļa saistīgās lauksaimniecības iniciatīvas ieviešanai Latvijā

Turpinot uzsākto darbu pie Latvijā potenciāli izmantojamu oglekļa saistīgās lauksaimniecības darbību izvērtējuma, 2022. gadā sagatavota analīze par divu darbību (apmežošana un zālāju pārveide par aramzemi) ietekmes novērtējumu, izmantojot simulāciju atbilstoši Verra standarta nosacījumu sistēmai, kā arī sagatavots oglekļa saistīgās lauksaimniecības potenciālās attīstības situācijas patreizējs novērtējums, ņemot vērā pētījuma izpildes periodā pieejamos EK priekšlikumus.

Pētījuma izpildes periodā pieejamās aktuālās EK informācijas daudzums ir bijis ierobežots gan apjomā, gan arī tālākās ietekmes novērtēšanai nepieciešamajā tehniskajā izklājumā. 2021. gada 15. decembrī EK publiskojusi komunikācijas dokumentu "Ilgspējīgi oglekļa cikli" (COM(2021) 800 final), kas ietver vispārēju situācijas novērtējumu ES un uzsvērumu par nepieciešamību virzīties uz ilgtspējīgu klimatnoturīgu oglekļa aprites ciklu izveidi t.sk. samazinot atkarību no fosilā oglekļa, oglekļa zudumiem atkritumu sektorā un attīstot oglekļa piesaisti no atmosfēras cita starpā, izmantojot oglekļa saistīgās lauksaimniecības risinājumus. Komunikācija atkārtoti uzsver oglekļa saistīgās lauksaimniecības, kā jaunas zaļā biznesa iespējas, attīstīšanas nozīmi un lomu atmosfēras oglekļa piesaistē, kā arī min un apraksta līdzšinējā koncepta attīstību ES 2021. gada 27. aprīlī publiskotā pasūtījuma pētījuma rezultātu ziņojumā "Tehnisko vadlīniju rokasgrāmata – rezultātos bāzēta oglekļa saistīgās lauksaimniecības mehānisma izveide un ieviešana ES" izklāstīto. Komunikācijas dokuments neiezīmē jaunus, konkrētus risinājumus attiecībā uz zemes sektoru, ja neskaita atziņu par to, ka nepieciešams izveidot efektīvus oglekļa piesaistes tirgus risinājumus un ES oglekļa piesaistes vienību uzskaites un sertifikācijas sistēmu un tai atbilstošu normatīvo ietvaru.

2022. gada 30. novembrī EK ir publiskojusi priekšlikumu par oglekļa piesaistes vienību sertifikācijas ietvaru Savienībā (COM(2022) 672 final). Priekšlikums sniedz informāciju par to, ka EK sadarbībā ar dalībvalstīm, iesaistītajām pusēm un dalībvalstu ekspertu grupu, gatavojas izstrādāt specifiskus nosacījumus jeb vienotu metodoloģiju piesaistīto oglekļa vienību uzskaitē dažādām oglekļa saistīgās lauksaimniecības darbībām. Izstrādātā sertifikācijas ietvara ieviešanu EK nodrošinās atbilstoši noteiktiem kvalitātes kritērijiem (QUantification, Additionality and baselines, Long-

term storage and sustainability - QU.A.L.I.TY) un caur atzītām sertifikācijas shēmām, paredzot, ka sertifikācijas shēmas par derīgām atzīst jeb sertificē darbībai EK nevis dalībvalstis. Vienlaikus dalībvalstīm dota iespēja izstrādāt savas nacionālās shēmas un oglekļa piesaistes vienību reģistrus. Šim darbam (gan esošo sertifikācijas shēmu atzīšanai (5 gadu periods), gan jaunu nacionālu sistēmu izveidei) no EK puses tiek plānots finansējums. Dalībvalstīm veidojot jaunas, nacionālas shēmas jāparedz ne tikai shēmas izveide un tās izmaksas, bet arī neatkarīgas uzraudzības un atbilstoša nacionālā reģistra izveide un darbības nodrošināšana, kā arī jāņem vērā ikgadējas ziņošanas prasība EK. Jaunveidojamās sistēmas ietvaru plānots formalizēt normatīvā regulējuma veidā, izstrādājot atbilstošu regulu un pavadošo dokumentāciju, bet konkrētu tehnisku un attiecīgi ietekmes ziņā analizējamu informāciju šobrīd pieejamais priekšlikums nesatur. Noprotams, ka tehniskos noteikumus (t.sk. darbību SEG emisiju un CO₂ piesaistes MRV (monitoring, reporting, verification)) un detalizētu sistēmas ietvaru EK vadībā izstrādās dalībvalstu ekspertu grupa aptuveni 70 cilvēku sastāvā.

Kopsavelkot šobrīd pieejamo informāciju, secinām, ka:

1. nepieciešams nodrošināt adekvātu Latvijas ekspertu (valsts pārvaldes un zinātnes) dalību ES oglekļa piesaistes vienību sertifikācijas ietvara izstrādē;
2. nepieciešams nacionāli apspriest iespējas un veidot Latvijas nacionālo oglekļa piesaistes vienību shēmu/sistēmu un atbilstoša nacionāla reģistra izveidi, lai nodrošinātu veikto darbību caurskatāmu izsekojamību, skaidrus un vienotus noteikumus visiem tirgus dalībniekiem un iespējas radīto piesaistes vienību izmantošanai virzībā uz nacionālo klimata mērķu sasniegšanu;
3. nepieciešams nodrošināt valsts līmeņa operatīvu informācijas apriti un uzraudzību attiecībā uz nacionālu oglekļa saistīgās lauksaimniecības attīstību, lai novērstu dažāda veida spekulācijas un manipulāciju iespējas.

Organisko augšņu apmežošanas un aramzemes ar organisko augsni transformācija par zālāju ietekmes novērtējums

Pētījumā vērtēti 2 organisko augšņu apsaimniekošanas scenāriji – aramzemju ar organiskajām augsnēm transformēšana par zālājiem, kā arī visu organisko augšņu aramzemes un zālajos transformēšana par meža zemēm, veicot mērķtiecīgu meža ieaudzēšanu. Aprēķinos pieņemts, ka vienādās daļās visas platības apstāda ar priedi, egli, bērzu un melnalksni.

Aprēķinā izmantoti LIFE REstore, LIFE OrgBalt un citos pētījumos iegūtie dati par siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijām un oglekļa apriti organiskajās augsnēs (Bārdule, Petaja, u.c., 2021; Butlers, Lazdiņš, u.c., 2022; Butlers u.c., 2021; Priede & Gancone, 2019). Aprēķinā izmantoti SEG emisiju un oglekļa apriti rakturojošie faktori, kas pagaidām nav integrēti nacionālajā SEG inventarizācijā. Organisko augšņu platība pieņemta atbilstoši nacionālās SEG inventarizācijas datiem – 82 tūkst. ha aramzemēs un 81 tūkst. ha zālajos (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2021). Organisko augšņu platības novērtējums balstīts uz Meža resursu monitoringa ietvaros veiktu apsekojumu, kurā konstatēts, ka aptuveni 50% organisko augšņu (hidromorfās un daļa pushidromorfo augšņu saskaņā ar Latvijas augšņu klasifikāciju) aramzemēs un ap 25% organisko augšņu zālajos ir jau mineralizējušās un neatbilst organisko augšņu kritērijiem (Petaja u.c., 2018).

Oglekļa aprite apmežotajās platībās raksturota, izmantojot AGM modeli, atbilstoši augšanas gaitas prognozēm I bonitātes audzēs platlapju kūdrenī (Lazdiņš, Šņepsts, u.c., 2019; Šņepsts u.c., 2018). Visos scenārijos pieņemts, ka esošās meliorācijas sistēmas turpina funkcionēt. Gruntsūdens līmeņa paaugstināšana, slēdzot meliorācijas sistēmas, nav vērtēta, jo šajā scenārijā nav prognozējami dabiskie traucējumi un to ietekme uz oglekļa apriti un SEG emisijām.

Augšanas gaitas rādītāju atšifrējumi doti Tab. 19, bet augšanas gaitas prognoze eglei, priedei, melnalksnim un bērzam, attiecīgi, Tab. 20, 21, 22 un 23. Augšanas gaitas rādītāji pārrēķināti CO₂ piesaistē, izmantojot Meža references līmeņa aprēķiniem izmantoto modeli (Lazdiņš, Lupiķis, u.c., 2019) un pieņēmumus oglekļa uzkrājuma raksturošanai kriticalās un koksnes produktos. Augšanas gaitas ievades dati sagatavoti piecgadēm, Tab. 20, 21, 22 un 23 parādīti ievades dati līdz 50 gadus vecām audzēm, bet aprēķins veikts līdz 120 gadus ilgam periodam.

Tab. 19. Meža augšanas gaitu raksturojošo rādītāju skaidrojums

Apzīmējums	Mērvienība	Paskaidrojums
Bon	-	Bonitāte
A	Gadi	Audzės vecums gados
H	m	Valdaudzės vidējā koka augstums
D	cm	Valdaudzės vidējā koka caurmērs 1,3 m augstumā
G	m ² ha ⁻¹	Kopējais šķērslaukums
N	gab. ha ⁻¹	Koku skaits
M	m ³ ha ⁻¹	Augošo koku krāja
Incr.	m ³ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	Augošo koku potenciālais krājas pieaugums
Gnoc	m ² ha ⁻¹	Nozāgēto koku kopējais šķērslaukums

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Apzīmējums	Mērvienība	Paskaidrojums
Nnoc	gab. ha ⁻¹	Kopējais nozāģēto koku skaits
Mnoc	m ³ ha ⁻¹	Kopējā nozāģēto koku krāja
Hatm	m	Vidējais gada laikā atmirušo koku augstums
Datm	cm	Vidējais gada laikā atmirušo koku augstums
Gatm	m ² ha ⁻¹ gadā ⁻¹	Gada laikā atmirušo koku šķērslaukums
Natm	gab. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	Gada laikā atmirušo koku skaits
Matm	m ³ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	Gada laikā atmirušo koku krāja

Tab. 20. Augšanas gaitas prognoze (piecgažu griezumā) egles audzēs

Rādītājs	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Bon	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
A	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
H	0,3	1,5	3,0	5,5	8,1	10,9	13,3	15,7	17,7	19,4	21,4
D	0,4	2,0	4,1	7,7	10,9	14,3	17,0	20,2	22,4	24,4	27,3
G	0,0	0,5	1,9	8,6	15,1	15,8	20,7	19,2	23,1	27,0	23,3
N	1500	1486	1465	1841	1606	978	914	601	585	578	397
M	0	1	5	31	69	89	137	145	194	247	231
Incr.	0,0	0,4	1,1	6,6	10,3	9,9	11,6	10,1	10,9	11,2	9,4
Gnoc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	11,0	11,0	11,0	18,2
Nnoc	0	0	0	0	0	484	484	763	763	763	940
Mnoc	0	0	0	0	0	25	25	68	68	68	134
Hatm	0,0	1,2	2,7	5,0	7,6	10,4	12,8	15,3	17,3	19,1	21,1
Datm	0,0	1,6	3,7	7,0	10,3	13,8	16,5	19,7	22,0	24,0	27,0
Gatm	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Natm	0,0	3,6	4,8	30,4	44,0	16,5	10,5	4,3	2,5	0,9	0,5
Matm	0,0	0,0	0,0	0,4	1,6	1,3	1,4	1,0	0,8	0,4	0,3

Tab. 21. Augšanas gaitas prognoze (piecgažu griezumā) priedes audzēs

Rādītājs	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Bon	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
A	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
H	0,3	1,6	3,3	5,8	8,2	10,5	12,6	14,8	16,6	18,2	20,0
D	0,4	2,1	4,3	7,6	10,4	12,9	15,0	17,7	19,5	21,2	23,8
G	0,0	0,7	2,7	9,7	15,3	20,1	24,5	21,4	24,5	27,5	23,1
N	2000	1951	1864	2156	1794	1549	1388	872	819	779	522
M	0	1	8	37	72	113	158	155	196	237	215

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Rādītājs	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Incr.	0,0	0,6	1,7	7,3	9,7	11,2	12,1	10,0	10,3	10,5	8,6
Gnoc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	6,1
Nnoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	390	390
Mnoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	35
Hatm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
Datm	0,0	7,2	9,1	0,0	83,1	58,9	40,6	28,8	21,1	10,7	8,5
Gatm	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,4	1,7	1,8	1,9	1,4	1,4
Natm	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Matm	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0

Tab. 22. Augšanas gaitas prognoze (piecgažu griezumā) melnalkšņa audzēs

Rādītājs	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Bon	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
A	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
H	0,4	2,6	5,7	9,3	12,5	15,3	17,6	19,6	21,2	22,6	24,0
D	0,5	3,0	6,5	10,2	13,4	16,2	18,6	20,7	22,6	24,2	26,6
G	0,0	1,0	3,6	6,7	10,5	14,1	17,4	20,7	23,7	26,7	22,4
N	1500	1422	1084	823	745	683	640	611	593	581	404
M	0	2	12	33	66	106	150	196	243	289	257
Incr.	0,0	0,8	3,7	6,2	8,5	9,9	10,5	10,7	10,6	10,2	9,9
Gnoc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
Nnoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171
Mnoc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79
Hatm	0,0	2,0	4,9	8,6	11,9	14,8	17,2	19,2	20,9	22,3	23,6
Datm	0,0	2,4	5,7	9,5	12,8	15,7	18,2	20,3	22,2	23,9	25,3
Gatm	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
Natm	0,0	20,4	121,3	12,7	15,1	10,7	7,2	4,8	3,1	1,8	1,0
Matm	0,0	0,0	0,9	0,4	1,2	1,5	1,6	1,4	1,2	0,9	0,5

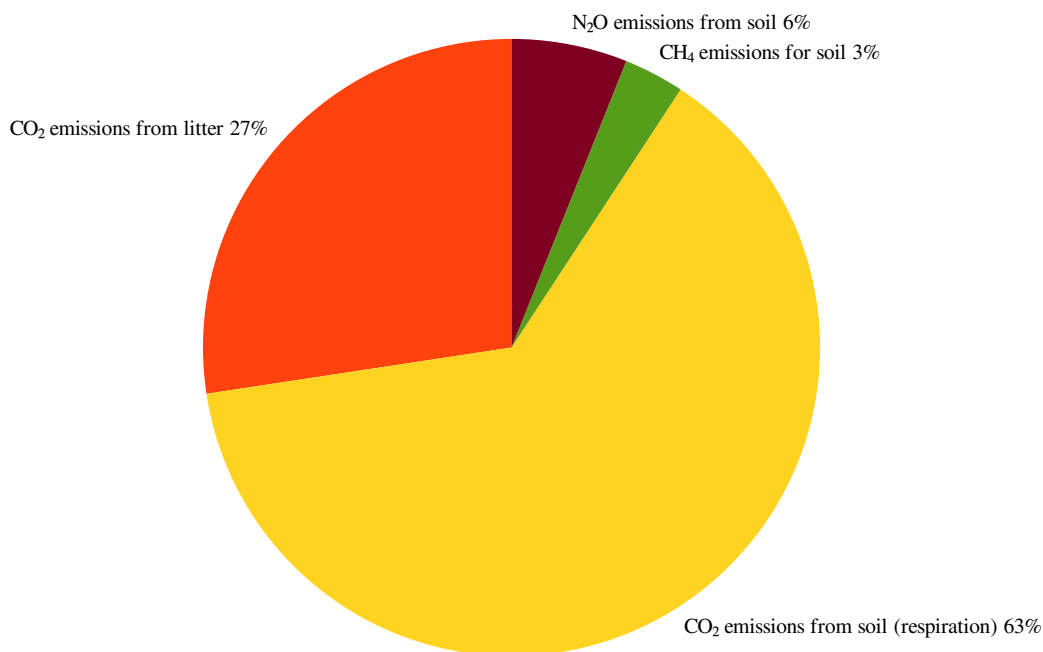
Tab. 23. Augšanas gaitas prognoze (piecgažu griezumā) bērza audzēs

Rādītājs	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Bon	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
H	0,5	2,3	5,1	8,9	12,3	15,6	18,3	20,5	22,4	24,4	25,8
D	0,6	2,9	6,4	10,5	14,0	17,6	20,4	22,7	24,6	27,4	29,0
G	0,0	0,9	4,4	9,7	14,3	13,8	17,3	20,4	23,4	20,2	22,5
N	1500	1430	1390	1126	931	568	530	507	494	344	341

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Rādītājs	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
M	0	2	13	44	85	101	146	192	238	223	261
Incr.	0,0	0,7	4,4	8,8	11,4	12,7	10,6	10,5	10,1	8,2	7,7
Gnoc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	4,6	4,6	4,6	10,2	10,2
Nnoc	0	0	0	0	0	253	253	253	253	396	396
Mnoc	0	0	0	0	0	32	32	32	32	88	88
Hatm	0,0	1,9	4,4	8,1	11,7	14,8	17,8	20,1	22,1	24,1	25,5
Datm	0,0	2,3	5,5	9,7	13,3	16,4	19,8	22,2	24,2	27,0	28,7
Gatm	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Natm	0,0	18,5	9,9	53,5	30,7	17,2	6,3	3,8	2,0	0,9	0,4
Matm	0,0	0,0	0,1	1,7	2,4	2,5	1,6	1,3	0,9	0,5	0,3

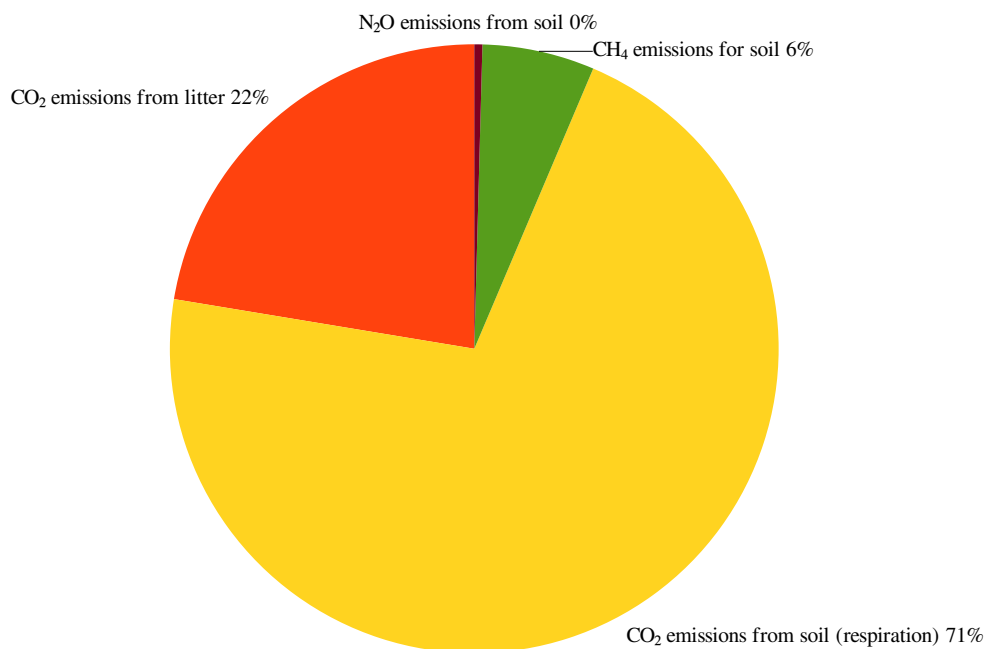
Aramzemēs ar organiskām augsnēm vidējās ikgadējās SEG emisijas sasniedz 21,5 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹, bet 50 gadu laikā emisijas no šādām platībām sasniedz 1073 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹. Emisiju pieaugums ir lineārs, t.i. ikgadējās SEG emisijas visā aprēķinu periodā būtiski neatšķiras. Lielākā daļa emisiju ir augsnes heterotrofā elpošana (Att. 19).



Att. 19. Emisiju struktūra aramzemēs.

Ilggadīgajos zālajos ar organiskām augsnēm vidējās ikgadējās SEG emisijas sasniedz 19,3 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹, bet 50 gadu laikā emisijas no šādām platībām sasniedz 966 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹. Emisiju pieaugums ir lineārs, t.i. ikgadējās SEG emisijas visā aprēķinu periodā būtiski neatšķiras. Lielākā daļa emisiju, tāpat kā aramzemēs ir augsnes heterotrofā elpošana (Att. 20).

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 20. Emisiju struktūra ilggadīgajos zālājos.

SEG emisiju un CO₂ piesaistes salīdzināšanai, atkarībā no apsaimniekošanas veida, izmantota Meža nozares kompetences centra pētniecības projekta Nr. 1.2.1.1/18/A/004 „Modelēšanas instrumentu un rekomendāciju izstrādāšana siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanai mežaudzēs uz auglīgām organiskām augsnēm” ietvaros izveidotais modelis.

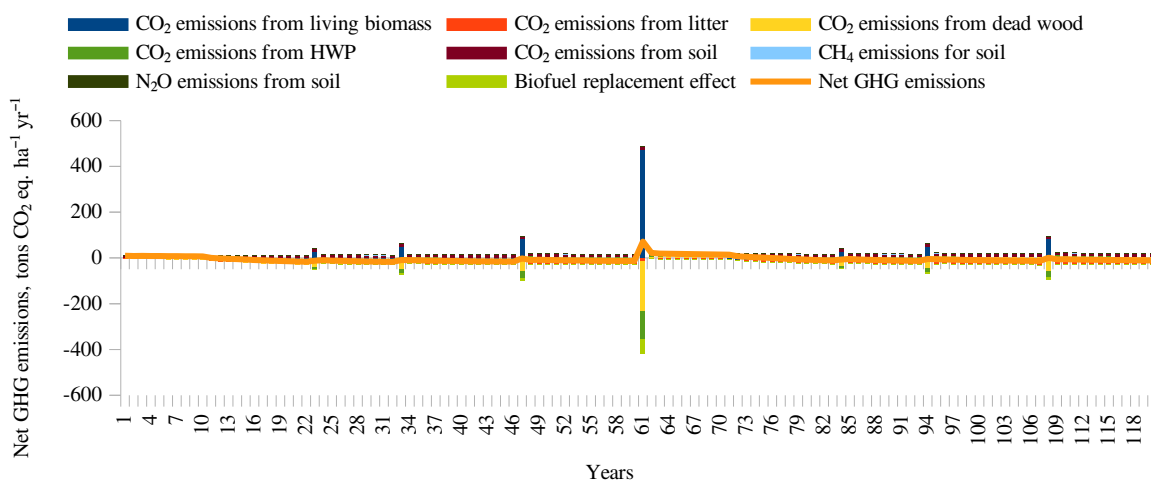
Ieaudzējot organiskā augsnē egli (sākotnējais biežums 1500 gab. ha⁻¹), 50 gadu laikā apmežotā platība ir neto CO₂ piesaistes avots, nodrošinot vidēji 7,7 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā piesaisti (385 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹) 50 gadu laikā (Tab. 24). SEG emisiju un CO₂ piesaistes un SEG emisiju dinamika parādīta Att. 21, atsevišķi piķi saistīti ar kopšanas un atjaunošanas cirtēm. Aprēķinā ņemts vērā biokurināmā aizstāšanas efekts, pieņemot, ka mežizstrādes atliekas izmanto siltuma ražošanai un aizstāšanas efekts aprēķināts, salīdzinot ar dabasgāzi, izmantojot IPCC vadlīnijās iekļautos emisiju faktorus un citus parametrus, kas raksturo kurināmā izmantošanas efektivitāti (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanade, 2006). Kumulatīvās SEG emisijas parādītas Att. 22.

Tab. 24. Kopējās un vidējās ikgadējās SEG emisijas no platībām, kas apmežotas ar egli

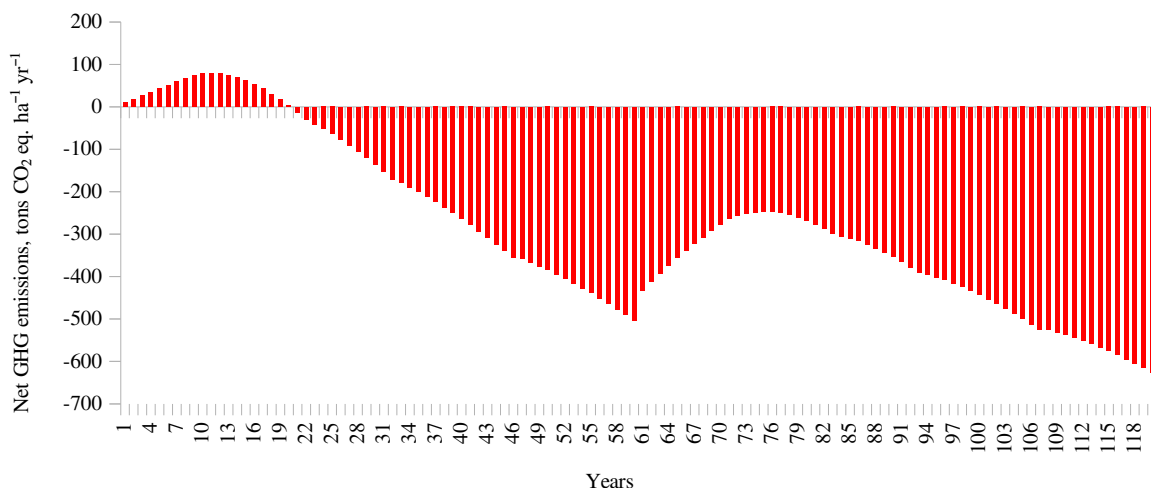
Rādītājs	Vienības	1-50 gadu summa	Vidēji gadā
CO ₂ emisijas no dzīvās biomasas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-430,1	-8,6
CO ₂ emisijas no zemsegas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-426,7	-8,5
CO ₂ emisijas no nedzīvās koksnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-123,6	-2,5

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Rādītājs	Vienības	1-50 gadu summa	Vidēji gadā
CO ₂ emisijas no koksnes produktiem	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-23,1	-0,5
CO ₂ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	616,0	12,3
CH ₄ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	10,0	0,2
N ₂ O emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	23,4	0,5
Biokurināmā aizstāšanas efekts	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-30,5	-0,6
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-384,6	-7,7
Kumulatīvās SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹	-385	-7,7



Att. 21. Neto SEG emisijas platībā, kas apmežota ar egli.



Att. 22. Kumulatīvās SEG emisijas platībā, kas apmežota ar egli.

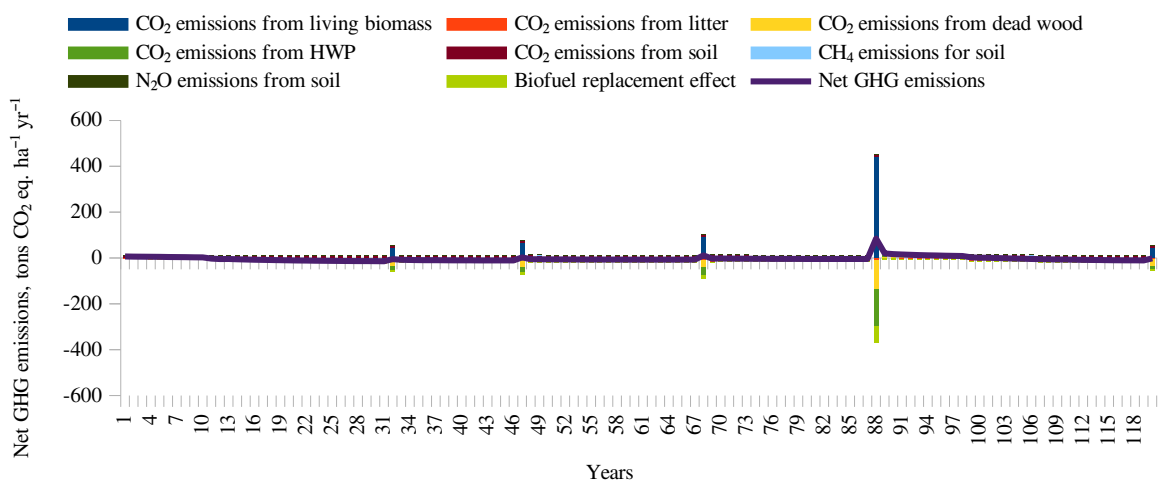
Ieaudzējot organiskā augsnē priedi (sākotnējais biežums 2000 gab. ha⁻¹), 50 gadu laikā apmežotā platība ir neto CO₂ piesaistes avots, nodrošinot vidēji 6,4 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

¹ gadā piesaisti (320 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹) 50 gadu laikā (Tab. 25). SEG emisiju un CO₂ piesaistes un SEG emisiju dinamika parādīta Att. 23. Kumulatīvās SEG emisijas parādītas Att. 24.

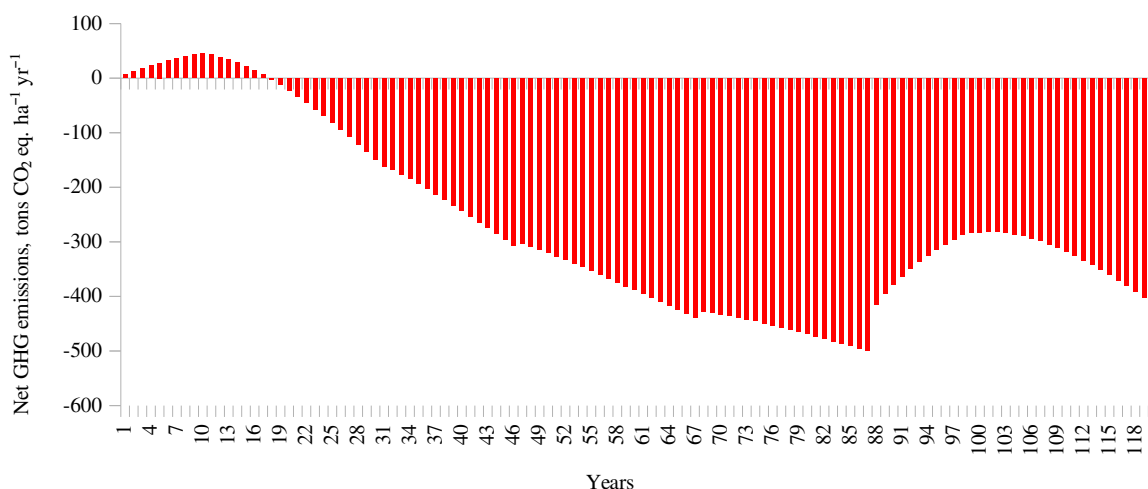
Tab. 25. Kopējās un vidējās ikgadējās SEG emisijas no platībām, kas apmežotas ar priedi

Rādītājs	Vienības	1-50 gadu summa	Vidēji gadā
CO ₂ emisijas no dzīvās biomasas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-302,6	-6,1
CO ₂ emisijas no zemsegas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-354,4	-7,1
CO ₂ emisijas no nedzīvās koksnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-113,0	-2,3
CO ₂ emisijas no koksnes produktiem	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-25,3	-0,5
CO ₂ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	476,7	9,5
CH ₄ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	9,3	0,2
N ₂ O emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	14,5	0,3
Biokurināmā aizstāšanas efekts	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-25,6	-0,5
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-320,3	-6,4
Kumulatīvās SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹	-320	-6,4



Att. 23. Neto SEG emisijas platībā, kas apmežota ar priedi.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



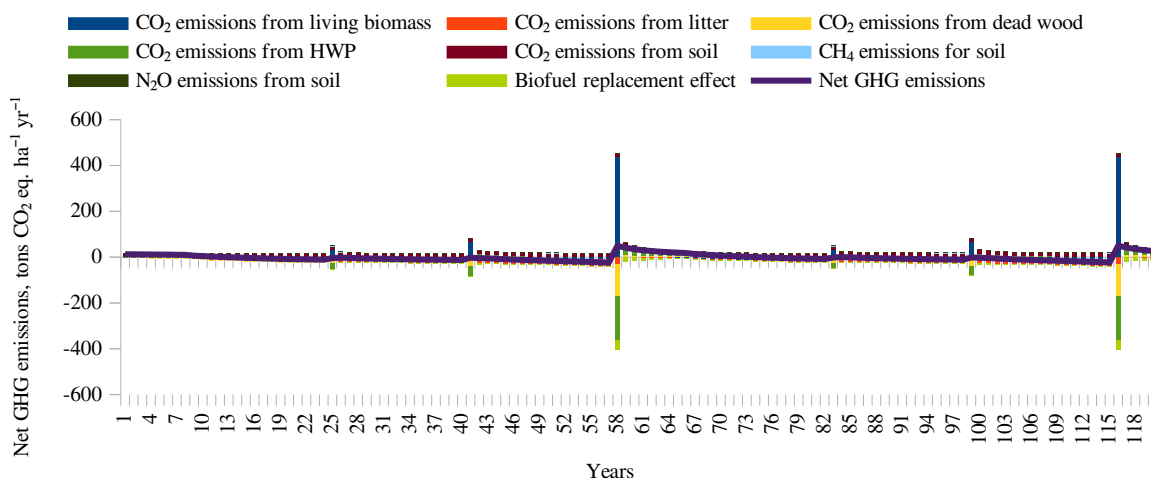
Att. 24. Kumulatīvās SEG emisijas platībā, kas apmežota ar priedi.

Ieaudzējot organiskā augsnē bērzu (sākotnējais biežums 1500 gab. ha⁻¹), 50 gadu laikā apmežotā platība ir neto CO₂ piesaistes avots, nodrošinot vidēji 0,7 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā piesaisti (35,7 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹) 50 gadu laikā (Tab. 26). SEG emisiju un CO₂ piesaistes un SEG emisiju dinamika parādīta Att. 25. Kumulatīvās SEG emisijas parādītas Att. 26. Bērzam nobiru ražošanai un zemsedzes veģetācijas raksturošanai izmantoti Somijā nabadzīgām augsnēm izstrādāti vienādojumi, kas, iespējams, uzrāda būtiski mazāku oglekļa ienesi augsnē; savukārt, oglekļa zudumu raksturošanai izmantoti Latvijā izstrādāti emisiju faktori, kas ir vairākas reizes lielāki nekā Somijā, tāpēc aprēķinu rezultāti bērza audzēs jāvērtē kritiski, pieņemot, ka, uzlabojoties aprēķinu metodei, vidējie piesaistes rādītāji palielināsies.

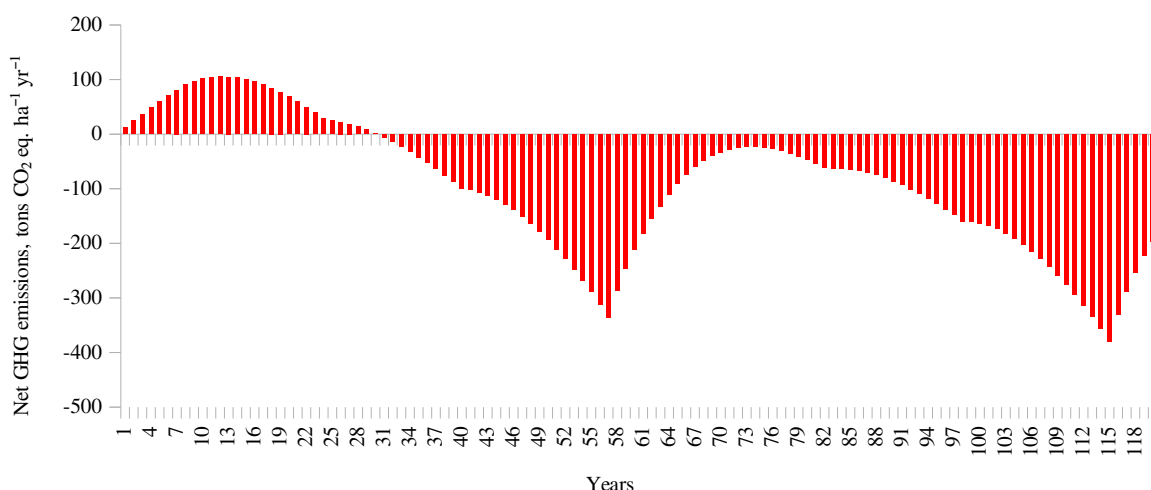
Tab. 26. Kopējās un vidējās ikgadējās SEG emisijas no platībām, kas apmežotas ar bērzu

Rādītājs	Vienības	1-50 gadu summa	Vidēji gadā
CO ₂ emisijas no dzīvās biomasas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-408,0	-8,2
CO ₂ emisijas no zemsegas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-482,4	-9,6
CO ₂ emisijas no nedzīvās koksnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-48,8	-1,0
CO ₂ emisijas no koksnes produktiem	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-3,5	-0,1
CO ₂ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	753,5	15,1
CH ₄ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	9,9	0,2
N ₂ O emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	21,1	0,4
Biokurināmā aizstāšanas efekts	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-35,7	-0,7
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-193,9	-3,9
Kumulatīvās SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹	-194	-3,9

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 25. Neto SEG emisijas platībā, kas apmežota ar bērzu.

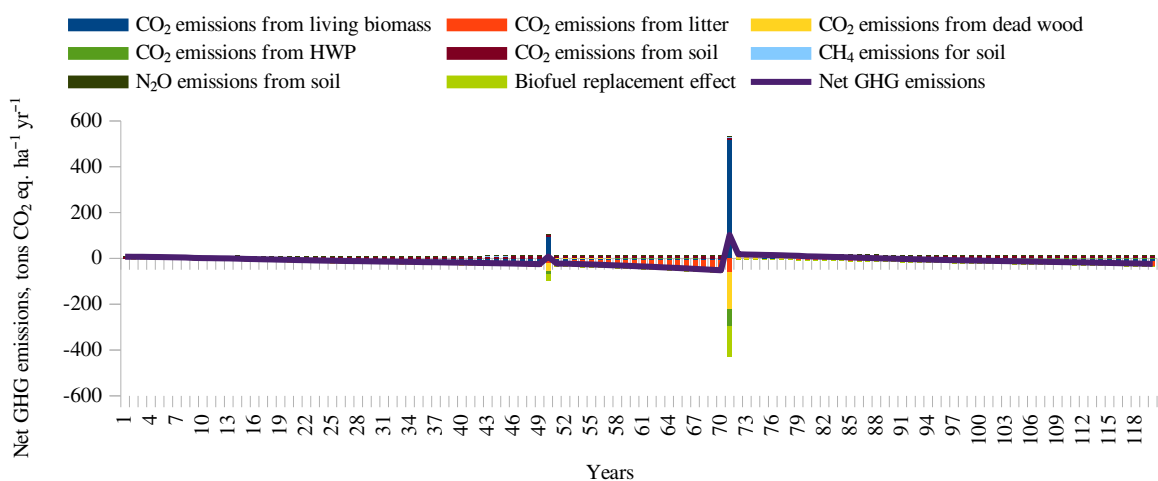


Att. 26. Kumulatīvās SEG emisijas platībā, kas apmežota ar bērzu.

Ieaudzējot organiskā augsnē melnalksni (sākotnējais biežums 1500 gab. ha⁻¹), 50 gadu laikā apmežotā platība ir neto CO₂ piesaistes avots, nodrošinot vidēji 8,6 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā piesaisti (430 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹) 50 gadu laikā (Att. 27). SEG emisiju un CO₂ piesaistes un SEG emisiju dinamika parādīta Att. 27. Kumulatīvās SEG emisijas parādītas Att. 28. Melnalkšņa audzēs meliorētās platībās iegūti būtiski mazāki neto SEG emisiju rādītāji nekā bērza audzēs, kas saistīts ar mazākām CO₂ emisijām no augsnes līdz šim veiktajos izmēģinājumos melnalkšņa audzēs nekā bērza audzēs (Butlers, Spalva, u.c., 2022). Visticamāk, ka faktiskais neto piesaistes rādītājs lapkoku audzēs atbilst vidējiem rādītājiem, kas raksturo bērzu un melnalksni, taču, lai novērstu aizdomas par iespējamām manipulācijām ar skaitļiem, pētījumā izmantoti publicēto pētījumu rezultāti.

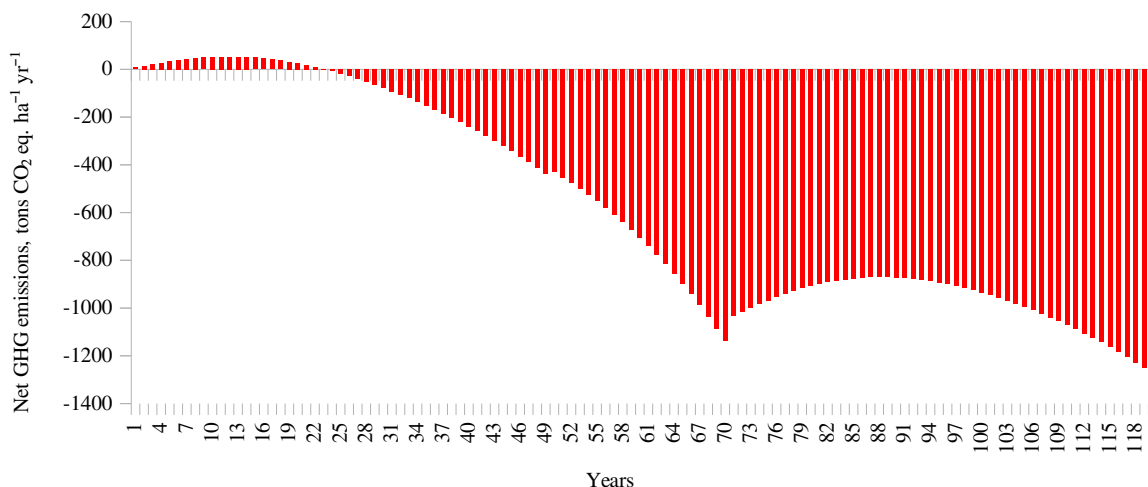
Tab. 27. Kopējās un vidējās ikgadējās SEG emisijas no platībām, kas apmežotas ar melnalksni

Rādītājs	Vienības	1-50 gadu summa	Vidēji gadā
CO ₂ emisijas no dzīvās biomasas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-379,7	-7,6
CO ₂ emisijas no zemsegas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-479,4	-9,6
CO ₂ emisijas no nedzīvās koksnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-59,0	-1,2
CO ₂ emisijas no koksnes produktiem	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-11,0	-0,2
CO ₂ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā ⁻¹	505,1	10,1
CH ₄ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	9,3	0,2
N ₂ O emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	14,0	0,3
Biokurināmā aizstāšanas efekts	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-29,1	-0,6
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹ gadā ⁻¹	-429,8	-8,6
Kumulatīvās SEG emisijas	tonnas CO ₂ eq. ha ⁻¹	-430	-8,6



Att. 27. Neto SEG emisijas platībā, kas apmežota ar melnalksni.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

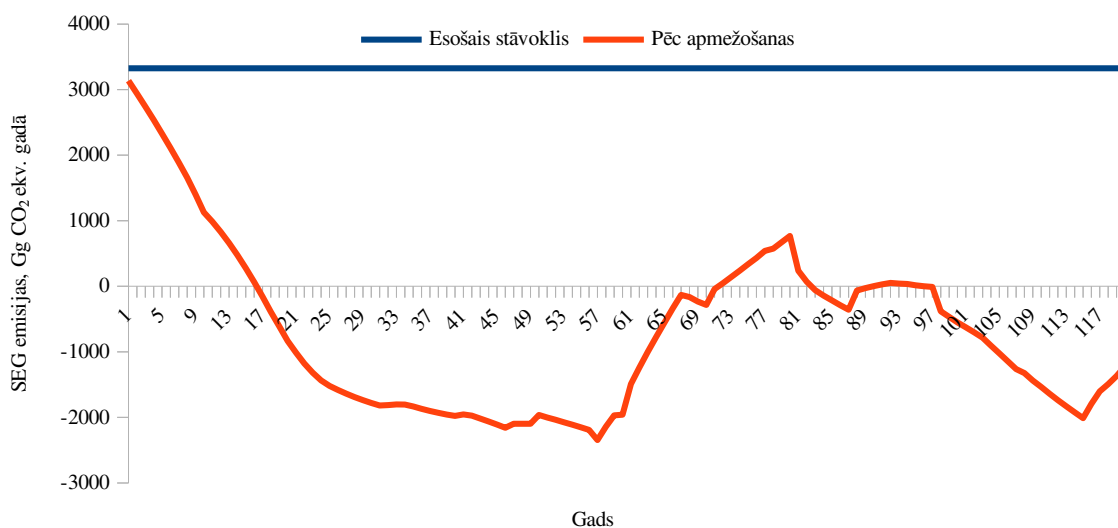


Att. 28. Kumulatīvās SEG emisijas platībā, kas apmežota ar melnalksni.

SEG emisiju samazināšanas efekta aprēķinā pieņemts, ka organisko augšņu apmežošana notiek pakāpeniski 10 gadu laikā, apstādot 25% no organiskajām augsnēm aramzēmēs un zālajos ar egli, 25% – ar priedi, 25% – ar bērzu un 25% – ar melnalksni.

SEG emisiju samazinājums apmežošanas rezultātā ir pakāpenisks, proporcionāli organisko augšņu platības samazinājumam aramzēmēs un zālajos un krājas pieauguma palielinājumam apmežotajās platībās. Uzsākot darbības ieviešanu, SEG emisijas no organiskajām augsnēm ir 3325 Gg CO₂ ekv. gadā, bet 20 gadu laikā pēc darbības uzsākšanas organiskās augsnes kļūst emisiju neitrālas, pateicoties CO₂ piesaistei dažādās oglekļa krātuvēs. un SEG emisiju samazinājumam no augsnes. Sasniedzot atjaunošanas cirtes vecumu, neto SEG emisijas apmežotajās platībās pieaug un šīs platības īslaicīgi kļūst par emisiju avotu (Att. 29). Atjaunošanas perioda vai aprites saīsināšana var nodrošināt to, ka apmežotās platības nekļūst par neto SEG emisiju avotu. Vidējās ikgadējās SEG emisijas no apmežotajām platībām 50 gadu laikā pēc apmežošanas ir –619 Gg CO₂ ekv.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

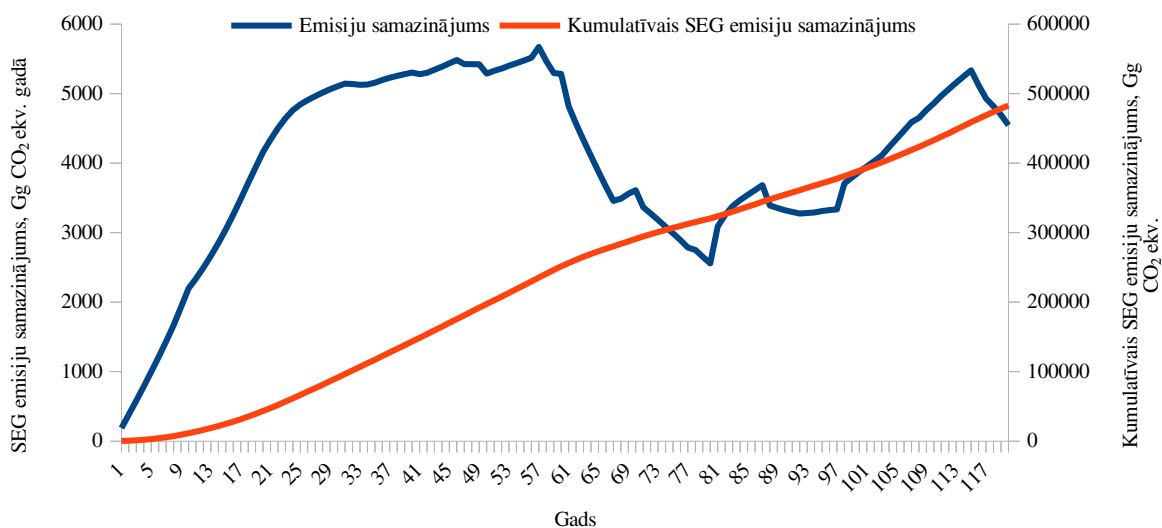


Att. 29. SEG emisijas, saglabājoties esošajai situācijai un apmežojot kūdras augsnes.

SEG emisiju samazinājums pēc apmežošanas sasniedz maksimumu 20 gadu laikā pēc darbības uzsākšanas un turpmāko gadu laikā pakāpeniski samazinās (Att. 30). Vidējais ikgadējais SEG emisiju samazinājums 50 gadu laikā apmežotajās platībās sasniedz 3944 Gg CO₂ ekv., bet kumulatīvais SEG emisiju samazinājums 50 gadu laikā sasniedz 197 milj. tonnas CO₂ ekv., tajā skaitā 31 milj. tonnas CO₂ ekv. ir neto piesaiste, kas pārsniedz SEG emisijas un 166 milj. tonnas CO₂ ekv. ir aizstātās SEG emisijas no augsnes, kas veidotos, saglabājoties esošajam stāvoklim.

Izmaksas meža ieaudzēšanai 163 tūkst. ha platībā, tajā skaitā augsnes sagatavošana ar ekskavatoru, stādmateriāla iegāde (2000 ietvarstādi uz ha priedei un 1500 ietvarstādi uz ha pārējām sugām), stādīšana un agrotehniskā kopšana 5 gadus pēc iestādīšanas, kā arī meliorācijas sistēmu remonts, ir 500 milj. eur šodienas cenās (3073 eur ha⁻¹). SEG emisiju samazinājuma izmaksas šodienas cenās, apmežojot organiskās augsnes, 50 gadu laikā sasniedz 2,54 eur tonna CO₂ ekv.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 30. SEG emisiju samazinājums, apmežojot organiskās augsnes.

Meža ieaudzēšanai 163 tūkst. ha platībā būtu nepieciešami ap 290 miljoni stādu (vidēji 29 milj. stādu gadā). Šobrīd Latvijas lielākais stādu ražotājs AS “Latvijas valsts meži” saražo 53 miljonus meža stādu, SIA “Rīgas meži” – 2,4 milj. stādus gadā AS “Latvijas finieris” – 1,5 milj. stādus gadā. Meža stādu ražo arī mazākas privātas kokaudzētavas. AS “Latvijas valsts meži” plānot palielināt stādu ražošanas apjomu līdz 68 miljoniem gadā. Vidēji gada laikā Latvijā mērķtiecīgi, stādot vai sējot atjauno 22-27 tūkst. ha izcirtumu, attiecīgi, gada laikā nepieciešami 45-50 milj. stādu. Meža ieaudzēšana 163 tūkst. ha platībā 10 gadu laikā palielinātu vidēji gada laikā apstādāmo platību par 65%, bet stādu skaita pieprasījums pieaugtu līdz aptuveni 75 milj. gab. gadā. Šāda stāda apjoma nodrošināšanai Latvijas kokaudzētavu kapacitāte ir jāpalielina, lai nekonkurētu ar eksporta tirgiem.

Papildus darba laika patēriņš augsnes sagatavošanai ar ekskavatoru būtu aptuveni 130 tūkst. stundas gadā. Tam būtu nepieciešamas 80 tehnikas vienības, strādājot 8 stundas vienā maiņā 200 dienas gadā vai arī aptuveni divreiz mazāk, strādājot 2 maiņās. Speciāls aprīkojums šādam darbam nav nepieciešams, taču ir jāuzlabo operatoru profesionālās iemaņas. Praksē augsnes sagatavošana var notikt pavasarī un siltās ziemās, kad tehnika nav nodarbināta ceļu būvē.

Papildus darba laika patēriņš kociņu stādīšanai ir aptuveni 180 tūkst. darba stundas gadā (Lazdiņš, 2012). Strādājot apmežojamā platībā, darba ražīgums var pieaugt, samazinot kopējo darba laika patēriņu. Stādīšanas sezonai turpinoties 3 mēnešus pavasarī, apmežojamo platību apstādīšanai būtu nepieciešami 350-400 sezonas strādnieki, kas pārējā laikā (vasaras un rudens mēneši) var tikt nodarbināti agrotehniskajā un jaunaudzū kopšanā.

Agrotehniskās kopšanas ražīgums platlapju kūdreņos ir 0,122 ha h⁻¹ (Zimelis u.c., 2012), attiecīgi, katru gadu agrotehniskajai kopšanai būtu jāpatērē aptuveni 130 tūkst.

darba stundas, 3 mēnešu laikā nodarbinot aptuveni 280 strādniekus. Otrajā līdz piektajā gadā pēc darbības uzsākšanas nepieciešamība pēc agrotehniskās kopšanas pieaugs un piektajā gadā var būt nepieciešami līdz 1400 strādnieki. Turpmākajos gados nepieciešamība pēc šī pakalpojuma samazināsies. Pēc tam, kad koki sasniegs 15-20 gadu vecumu, būs nepieciešama jaunaudžu kopšanas cirte, ko var veikt ar kompaktklases tehniku. Šīs darbības izmaksas nav vērtētas, jo iegūto koksni var savākt un pārdot kā biokurināmo, sedzot ražošanas izmaksas. Jaunaudžu kopšanas cirtei būtu nepieciešami 90 kompaktklases tehnikas komplekti (investīcijas šodienas cenās ap 45 milj. eur), kas paralēli var strādāt arī citās kopšanas cirtēs, būtiski samazinot meža tehnikas ietekmi uz vidi un ražošanas izmaksas (Kalēja, 2018).

Alternatīvs scenārijs, kas vērtēts pētījumā, ir visu aramzemju ar organiskām augsnēm transformēšana par ilggadīgajiem zālājiem. Arī šāda darbība nodrošinātu SEG emisiju samazinājumu – līdz 176 tūkst. tonnas CO₂ ekv. gadā vai 8,8 milj. tonnas CO₂ ekv. gadā – 22 reizes mazāk nekā apmežošanas scenārijā. SEG emisijas pēc pasākuma īstenošanas saglabāsies 3149 Gg CO₂ ekv. līmenī un būs jākompensē ar citiem pasākumiem. Gruntsūdens līmeņa paaugstināšana zālajos var ietekmēt SEG emisijas, samazinoties CO₂ emisijām un pieaugot CH₄ emisijām, kā arī samazinoties oglekļa ienesei augsnē ar augu atliekām.

Nākošajā nodaļā raksturotas prasības un aprēķinu principi, ko izmanto Verra oglekļa standartam. Verra standartā nav noteikts aizliegums apmežot organiskās augsnes, taču organiskajās augsnēs, tāpat kā visās citās augsnēs Latvijas klimatiskajā reģionā noteikts ierobežojums skarificētās augsnes vismaz laukumam, kas nedrīkst pārsniegt 10%. Praksē tas nozīmē, ka stādījuma biezums ir ne vairāk kā 1000-1200 koki uz ha, gatavojot augsni ar ekskavatoru. Šādu platību var reģistrēt kā plantāciju mežu. Verra standartā var rasties grūtības ar meliorētu platību un aramzemju apmežošanu, tāpēc tikai daļu no šīm platībām varēs apmežot Verra un taml. komerciālu sistēmu iertvaros.

Verra oglekļa standarts (Verified Carbon Standard)

Verra standarts tirgū darbojas kopš 2007. gada. Tā izveides mērķis ir augstas kvalitātes standartu nodrošināšana oglekļa piesaistes vienību tirdzniecībai brīvprātīgajā oglekļa tirgū. Standarta valdes mītne ir ASV (Vašingtona), bet darbības lauks – globāls. Standarts darbojas vairākās jomās, un viena no tām ir verificēta oglekļa vienību standartizācijas (VCS) programma, kuras ietvaros oglekļsaistīgās lauksaimniecības projektiem ir iespējams sertificēt savas sistēmas un radīto SEG samazinājumu un piesaistes palielinājumu globālai tirdzniecībai brīvprātīgajā oglekļa tirgū. VCS programma darbojas kopš 2006. gada, ietver daudzas jomas, tostarp arī meža, mitrāju, lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas darbību radīto oglekļa vienību sertifikāciju.

Pēc oglekļsaistīgās lauksaimniecības projekta sertifikācijas Verra sistēmā tā radīto klimata pārmaiņu samazinājumu ir iespējams tirgot starptautiskajā tirgū. Samazinājums ir izteikts verificētās oglekļa vienībās (VCUs). Lai oglekļsaistīgās lauksaimniecības projekts sertificētie Verra sistēmā tam jāizpilda sistēmas noteikumi un prasības: 1) jābūt izstrādātai detalizētai oglekļa uzskaites metodikai, atbilstoši Verra prasībām; 2) izstrādātā metodika jāpakļauj ārējam trešās puses auditam un Verra iekšējām kamerālajām un lauka pārbaudēm; 3) projektam jātiek reģistrētam Verra reģistrā, kas uztur informāciju par reģistrētajiem sertificētajiem projektiem, radītajām un dzēstajām oglekļa piesaistes vienībām.

Verra AFOLU standarts ietver uzlabotu meža apsaimniekošanas praksi, mitrāju aizsardzību un atjaunošanu, zālāja un krūmāja sistēmu saglabāšanu. Verra ir atvērts jaunu ideju piedāvājumiem sertifikācijas jomām - idejas var tikt iesniegtas Verra kvalitātes novērtēšanas un kontroles grupai. Kā galvenos riskus AFOLU jomā Verra uzsver dabisko traucējumu risku (ugunsgrēki, slimības, kaitēkļi) un oglekļa pārvirzes risku. Lai šos riskus mazinātu, Verra izstrādā īpašus novērtējuma un mazināšanas rīkus. Netīšā ilgnoturības riska mazināšanai projektiem ir jāizstrādā risku novērtējums (iekšējie, ārējie un dabiskie riski), novērtējumu verificē Verra auditori, un atbilstoši tam noteikts oglekļa vienību skaits ieskaitāms riska fondā, to aizturot no laišanas tirgū. Visiem projektiem ir noteikts oglekļa vienību skaits jāieskaita tā sauktajā drošības bankā - ja oglekļa vienības kādu iemeslu dēļ tiek zaudētas (uguns, kaitēkļi utml.), drošības bankā ieskaitītās vienības var tikt anulētas. Savukārt, ja kādam projektam riski neiestājas, oglekļa vienības var tikt atbrīvotas šim projektam izmantošanai brīvprātīgajā tirgū. Attiecībā uz oglekļa pārvirzes risku Verra pieprasa jebkuru potenciāli pārvirzītu vienību definēšanu, ziņošanu un uzskaiti, kā arī šīs pārvirzes mazināšanas stratēģiju izstrādi. Sertificētās oglekļa vienības oglekļsaistīgās lauksaimniecības projektiem Verra piešķir atbilstoši sertificētajai metodikai aprēķinātajam SEG emisiju samazinājumam vai CO₂ piesaistes palielinājumam. Paralēli sertificētām oglekļa vienībām Verra dod iespēju projektiem piedalīties arī sertificēto blakus labumu (bioloģiskās daudzveidības uzlabošana, vietējo kopienu atbalsts, lauku reģionu atpalcības mazināšana u.c.) programmā.

Verra sistēmā šobrīd ir iespējams sertificēt šādu darbību jomu projektus: 1) apmežošana, atkal apmežošana un reveģētācija; 2) lauksaimniecības zemes apsaimniekošana; 3) uzlabota meža apsaimniekošana; 4) atmežošana un meža degradācijas emisiju samazinājums (REDD); 5) zālāja un krūmāja pārveides novēršana; 6) mitrāju aizsardzība un atjaunošana.

Verra projektiem izvirzītas arī sociālās un vides ietekmes novērtējuma prasības. Projektu pieteicējiem jāidentificē potenciāli negatīvās vides un socio-ekonomiskās ietekmes un jāpiedāvā to mazināšanas pasākumi.

SVID analīze

Verra sertifikācijas process Latvijā notiek lēni, un tā iegūšanai jāaskaras ar dažādiem šķēršļiem, piemēram ilgo sertifikācijas procesu, augstām sertifikācijas izmaksām un konkurenci no citiem reģioniem, kuros sertifikāta iegūšanas pieteikuma izstrādē ir lielāka pieredze un pats projekta izstrādes process ir atvieglotāks, jo pieejami jau gatavi paraugi no apstiprinātiem projektiem, kuri sniedz ieskatu kā sekmīgi novest pieteikumu līdz apstiprināta projekta statusam. Detalizētāka SVID analīze par Verra sertifikācijas iegūšanu, tā plusiem un mīnusiem aprakstīta Tab. 28.

Tab. 28. SVID analīze Verra Carbon Standart oglekļa saistīgā projekta sertifikācijas ieviešanai Latvijā

Iekšējie faktori	
Stiprās puses	Vājās puses
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pieredze pieteikuma izstrādē 2. Plaši pieejami brīvpieejas ģeotelpiskie dati, pieteikuma izstrādei 3. Iepriekš veidotu projektu esamība 4. Zemākas izmaksas sertifikāta ieguvei, salīdzinot ar alternatīviem sertificētājiem 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iespējams, tikai zālajos (apmežošanas) 2. Iespējams, tikai nemeliorētās platībās 3. Potenciālajās teritorijās vismaz 10 gadus pirms projekta sākuma nedrīkst būt norisinājusies saimnieciskā darbība 4. Apmežošanas procesā nedrīkst veikt augsnes sagatavošanas darbus (vagu, pacilu veidošanu) 5. Apmežošanas procesā nedrīkst izmantot introducētās sugas 6. Augstas kopējās izmaksas sertifikāta iegūšanai 7. Ilgs sertificēšanas periods (1+ gads)
Ārējie faktori	
Iespējas	Draudi
<ol style="list-style-type: none"> 1. Iespēja tirgoties ar piesaistes vienībām starptautiskā mērogā 2. CO₂ piesaistes vienību vērtības kāpums Eiropas Savienības tirgū 3. Plaši augoša interese par piesaistes vienību tirdzniecību politiskajā vidē un privātajā sektorā 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Citi konkurējošie reģioni, ar esošu pieredzi un lielāku potenciālu piesaistes vienību ražošanā (Āfrika, Dienvidamerika, Āzija u.c.) 2. Iespēja, ka netiks attiecinātas saražotās piesaistes vienības

Stiprās puses

Latvijā pakāpeniski uzkrājas pieredze Verra oglekļa standarta pieteikuma izstrādē un audita procedūrās. Tas ir bijis partneris projekta “NotHot” izstrādē, kas ir pirmais pretendents valstī, kas pieteicies uz Verra oglekļa standarta apstiprinājumu. Pieteikšanās process “NotHot” joprojām turpinās, bet pieteikums izrāda lielu potenciālu tikt pieņemtam un izpildītam.

Pieteikšanās procesu Latvijā atvieglo plašā brīvpieejas ģeotelpisko datu pieejamība, kas sniedz informāciju par zemes kadastra datiem, augstas detalizācijas ortofoto un digitālo augsnes karti, ko nodrošina valsts pārvaldes struktūras. Šāda attālās izpētes informācija ļauj ticami novērtēt potenciālās teritorijas atlasī pieteikšanās procesam,

lauku darbu speciālistiem, neapmeklējot objektus dzīvē, kas samazina iespējamās pieteikšanās izmaksas. Tiek atjaunināta arī sniegtā attālās izpētes informācija, kas palielina iespēju to izmantot arī turpmāk nākotnē. Kadastra dati tiek atjaunoti katru mēnesi, ortofotogrāfiju dati tiek atjaunoti vismaz reizi trijos gados ar iespēju izmantot alternatīvus satelītattēlus pārbaudei, ja rodas šaubas par pašreizējo situāciju izvēlētajās teritorijās. Izstrādes stadijā ir arī augsnes karšu datu atjaunošana, kas sniegs precīzāku un aktualizētāku versiju par augsnes tipu sadalījumu Latvijā.

Ja "NotHot" projekta pieteikums tiks pieņemts no Verra auditoru puses, tas atvieglos jaunu projektu pieteikšanās procesu, sniedzot piemērus nākamajiem pretendentiem. Tiktu atrisināta liela daļa no pirmreizējo projektu izstrādes problēmām, piemēram – atbilstošo teritoriju atlases metodikas izstrāde, faktiskās un nākotnes oglekļa piesaistes modeļu un metodoloģijas izstrāde. Reģionālie piemēri samazina pieteikšanās procesa ilgumu un potenciāli samazina pieteikuma izstrādei patērēto cilvēkstundu izmaksas, jo metodoloģija un modeļi projektos drīkst tikt izmantoti atkārtoti.

Verra Carbon Standard lietošanas izmaksas ir zemākas nekā citiem līdzvērtīgiem pakalpojumiem. Salīdzinot ar Golden Standard, kas arī piedāvā oglekļa piesaistes kredītu izsniegšanu, atšķirības ir būtiskas (Tab. 29 un Error: Reference source not found). Vidējās vienas oglekļa vienības izmaksas Verrā maksā 0,05 USD, kas atbilst 0,05 EUR, bet Golden Standard cena ir 0,30 EUR par vienu kredītu. Reģistrācijas maksa Verrā ir 500 USD, savukārt Golden Standard reģistrā ir 1000 EUR. Jaunās metodikas apstiprināšana Verrā maksā 15 000 USD, savukārt Golden Standard šāds pakalpojums izmaksā 50 000 EUR. Šī ievērojamā cenu atšķirība ir viens no galvenajiem faktoriem, kāpēc Verra ir daudz pieprasītāks verificētais oglekļa piesaistes projektiem, kur nepieciešama oglekļa kredīta izsniegšana.

Vājās puses

Latvijā vienīgās iespējamās teritorijas, kuras var izmantot Verra standarta projektiem, ir zālāji. Tas sakrīt ar LVMI Silava veiktā pētījuma secinājumu, kas liecina, ka viena no labākajām oglekļa piesaistēm iespējama, zālajos izmantojot 1800 bērzu stādus uz hektāru, kas ļauj stādiem nodrošināt vislabākos pašreizējos un nākotnes augšanas apstākļus.

Projektā izvēlētajām teritorijām ir jāatbilst prasībai, ka tās netiek meliorētas. Latvijā tas ir viens no lielākajiem izaicinājumiem vēsturisko un dabisko apstākļu dēļ. Latvijas dabas dabiskais stāvoklis būtu applūstošas un purvainas teritorijas, kas ir cēlonis lielajam gada nokrišņu daudzumam. Šī iemesla dēļ vēsturiski gruntsūdeņu līmeņa pazemināšanai ir izmantotas meliorācijas sistēmas, kas ļāvušas un turpina ļaut izmantot zemi lauksaimniecībai un citiem zemes apsaimniekošanas mērķiem. Šis punkts nākotnē ir potenciāli jāpārskata un jāapspriež ar VERRA auditoriem, lai

panāktu savstarpēju vienošanos un atbilstību zemes izmantošanas specifiskajiem nosacījumiem Latvijā un to atbilstībai Verra sertifikācijas iegūšanai.

Potenciālajās teritorijās vismaz 10 gadus pirms projekta uzsākšanas nedrīkst būt veikta nekāda zemes izmantošanas maiņa, lai nodrošinātu, ka izvēlētajām teritorijām nav būtiska nozīme lauksaimniecībā, vai jebkādiem citiem zemes apsaimniekošanas mērķiem un apmežošanas projekta rezultātā tā netiktu likvidēta vai pārvietot uz citām platībām.

Apmežošanas procesā nav pieļaujami augsnes sagatavošanas darbi. Šis ierobežojums ir ieviests, lai samazinātu jebkādu iejaukšanos stādīšanas vietas dabiskajā stāvoklī. Likvidējot vagu un pacilu veidošanu, lai nodrošinātu labākus koku augšanas apstākļus, tiek samazināts potenciālais oglekļa piesaistes apjoms. Ir pierādīts, ka vagu un uzkalniņu izmantošana augsnes sagatavošanai rada labākus augšanas apstākļus un uzlabo stādu izdzīvošanas rādītājus, kas savukārt potenciāli nodrošinātu lielāku oglekļa piesaisti.

Apmežošanas procesā nav atļauta svešzemju sugu pielietošana, lai novērstu iespējamus scenārijus, kad svešzemju sugas izplatās un konkurē ar dabiskajām sugām, tādējādi padarot iespējamus scenārijus, kad svešzemju sugas kļūst par invazīvām sugām un traucē dabisko bioloģisko daudzveidību. Nekas nav minēts par vietējo sugu hibrīdu stādu izmantošanu, ko varētu izmantot, lai nodrošinātu labāku kopējo mežaudzes attīstību, koku labāku izturību pret dabiskām koku slimībām vai kukaiņiem.

Lai iegūtu Verra Carbon sertifikātu un iespēju tirgoties ar iegūtajām oglekļa piesaistes vienībām, ir nepieciešamas lielas investīcijas. Sertifikāta iegūšanas kopējās izmaksas dažādos projektos atšķiras, jo katram projektam iespējams plašs raksturlielumu klāsts. Dažādu projekta komponentu izmaksas ir minētas Tab. 28. Tabulā sniegta informācija par maksājumiem pašai Verrai, taču jāņem vērā arī projekta sagatavošanas izmaksas, piemēram – projekta iesnieguma izveide, apmežošana (stādi, darbaspēks) un monitoringa uzturēšana visā projekta laikā, lai nodrošinātu reāllaika datus par oglekļa piesaisti projekta teritorijās.

Sertifikācijas periods ir ilgs un aizņem apmēram vienu līdz divus gadus. Garais sertifikācijas periods ir saistīts ar daudziem pārskatīšanas posmiem un nepieciešamajiem pieteikuma uzlabojumiem, lai atbilstu Verra standarta prasībām, kurus pārskata Verra auditori. Galvenās revīzijas tiek veiktas projekta iesnieguma stāvoklī un, ja iespējams, auditori potenciālās teritorijas apsekos klātienē un var liegt jebkādu turpmāku rīcību, ja Verra noteiktās prasības netiks izpildītas un mainītas līdz nākamajām pārbaudēm.

Iespējas

Verra nodrošina iespēju standartizēt un tirgot piesaistīto oglekli starptautiskajā tirgū. Piesaistītais ogleklis tiek pārveidots kā Verra oglekļa vienība (VCU). Katrs VCU ir vienas tonnas oglekļa dioksīda ekvivalenta (CO₂e) samazinājums vai piesaiste, kas panākts ar projektā pielietotajām darbībām. VCU izveidē tiek veikti kvalitātes nodrošināšanas principi, kas tiek apstiprināti projekta apstiprināšanas un verifikācijas procesā. VCU galarezultātā tiek pārdoti galapatērētājiem, kuri tos izmanto savu oglekļa emisiju izlīdzināšanai.

Kopš 2020. gada sākuma ES oglekļa vienību cenas vērtība ir palielinājusies par aptuveni 3 reizēm, no 23,5 EUR līdz 67 EUR. Šīs cenas izmaiņas ir padarījušas oglekļa piesaistes vienību tirdzniecību par pievilcīgu rīku investoriem visā pasaulē. Lai gan cenu izmaiņas katru gadu var ievērojami svārstīties, ko pārsvarā ietekmē politisku lēmumu veikšana Eiropas mērogā, cenu izmaiņu tendence uzrāda izaugsmi un turpmāks oglekļa piesaistes kredītu cenas pieaugums var potenciāli padarīt oglekļa piesaistes projektu izstrādi pievilcīgāku privātā sektora investoriem.

Šis ir viens no instrumentiem, ko var izmantot, lai sasniegtu Eiropas Savienības noteikto siltumnīcefekta gāzu emisiju neto nulles mērķi 2050. gadam. Pateicoties investīciju tirgus interesēm un politiskajiem mērķiem, oglekļa piesaistes projektu attīstība var būt augošs tirgus Eiropas valstīs, kas uzrāda potenciālu nākotnē. Šāds scenārijs padarītu oglekļa piesaistes kredītu projektu izstrādi daudz rentablāku un pievilcīgāku.

Draudi

Citi konkurējošie reģioni Verra Carbon Standard projektiem piemēram, Āfrika, Dienvidamerika un Āzija var būt pievilcīgākas projektu attīstības vietas. Šajos reģionos ir plašāks jau īstenoto projektu klāsts, jo ir zemāki politiskie ierobežojumi zemes apsaimniekošanā un daudz lielākas platības, kas netiek pienācīgi apsaimniekotas vai atstātas atmatā. Viens no lielākajiem faktoriem ir zemākas darbaspēka izmaksas, ko var izmantot tādu projektu īstenošanas uzdevumiem kā apmežošana.

Jāņem vērā, ka saražotās oglekļa piesaistes vienības var netikt pieteiktas tirdzniecībai vienību tirgū. Iemesls, kāpēc šādus pasākumus var īstenot, ir, ja projekta teritorijas tiek ietekmētas dabisko apstākļu rezultātā. Piemēram, ja iestādītie koki iet bojā dēļ meža ugunsgrēkiem, kukaiņiem, koku slimībām vai vētrām un piesaistīto oglekli izdala atpakaļ atmosfērā.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Tab. 29. Oglekļasaistīgās projekta sertifikācijas izmaksas, to sertificējot Verra Carbon Standart

Rādītājs	Komentāri un cena USD	
Konta atvēršanas cena	USD 500 par katru Verra reģistrāto atvērto kontu	
Reģistrācijas cena	Par katru projekta reģistrācijas pieprasījumu: <ul style="list-style-type: none"> Ja reģistrācija tiek pieprasīta, neiesniedzot verifikācijas ziņojumu, vai reģistrācija tiek pieprasīta, iesniedzot verifikācijas ziņojumu un verifikācijas periods ir vismaz viens gads (Paredzamais emisiju samazinājuma apjoms gadā) x (0,10 USD), nepārsniedzot USD 10 000 Ja reģistrācija tiek pieprasīta, iesniedzot verifikācijas ziņojumu un verifikācijas periods ir mazāks par vienu gadu (Pārbaudes perioda daudzums) x (0,10 USD), nepārsniedzot USD 10 000. Reģistrācijas maksa tiek ieskaitīta turpmākajās VCU emisijas nodevās.	
VCU emisijas nodeva	Par kumulatīvām VCU emisijām no projekta, kas notiek kalendārā gada laikā.	
	Izdoto VCU #	USD / VCU
	1 – 10'000	USD 0,05
	10'001 - 1'000'000	USD 0,14
	1'000'001 - 2'000'000	USD 0,12
	2'000'001 - 4'000'000	USD 0,105
	4'000'001 - 6'000'000	USD 0,085
	6'000'001 - 8'000'000	USD 0,06
	8'000'001 - 10'000'000	USD 0,04
>10'000'000	USD 0,025	
VCU emisijas nodeva, SEG konversija kredīti no apstiprinātajām SEG programmām	USD 0,05 par VCU	
Maksa par darbībām ar atpakaļejošu spēku	USD 1500 fiksēta maksa par katru atpakaļejošu darbību notikumu	
Metodikas apstiprināšanas procesa administrācijas maksas	Jaunām metodoloģijām un būtiskiem metodoloģijas pārskatījumiem: <ul style="list-style-type: none"> USD 2000 metodoloģijas koncepcijas piezīmes pieteikuma maksa (neatmaksājama); plus USD 13 000 apstrādes maksa, ja Verra pieņem metodoloģijas elementu apstiprināšanas procesā Moduļiem, rīkiem un nelieliem metodoloģijas labojumiem: <ul style="list-style-type: none"> USD 1500 metodoloģijas koncepcijas piezīmes pieteikuma maksa (neatmaksājama); plus USD 6000 apstrādes maksa, ja Verra pieņem metodoloģijas elementu apstiprināšanas procesā 	
Metodikas kompensācijas atlaide	Par kumulatīvām VCU emisijām no katra projekta, piemērojot piemērojamo metodiku kalendārā gada laikā:	
	Izdoto VCU #	USD / VCU
	1 - 1'000'000	USD 0,02
	1'000'001 - 2'000'000	USD 0,018

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

	2'000'001 - 4'000'000	USD 0,016
	4'000'001 - 6'000'000	USD 0,012
	6'000'001 - 8'000'000	USD 0,008
	8'000'001 - 10'000'000	USD 0,004
	>10'000'000	USD 0,002
Ekspertu pieteikšanās maksa	Auditoru pieteikuma izmaksas projekta izskatīšanai, lai tos nodotu turpmākai apstiprināšanai no VERRA puses AFOLU projektiem izmaksā USD 375 par vienu projekta kategoriju. Standarta metožu auditoru pieteikuma izmaksas ir USD 375.	
Institūcijas validācijas/verifikācijas gada maksa	USD 2500 par gadu	
Maksa par izstrūkumu analīzi	Nosaka katrā gadījumā atsevišķi, sazinoties ar Verra	

Tab. 30. Vidējās oglekļa saistīgās lauksaimniecības projekta sertifikācijas izmaksas un laika patēriņš, to sertificējot Gold Standart⁸

Vienība	Izmaksas, EUR	Skaidrojums
Metodikas apstiprināšana (jauna metode)	50 000	Patērētais laiks – 5 mēneši
Metodikas apstiprināšana (esoša metodika, iepriekš apstiprināta citur)	7500	Patērētais laiks – 2 mēneši
Sertifikācija (kamerāla pārbaude)	5000	-
Sertifikācija (audits)	30-40 000	-
Verifikācija	30-40 000	Verifikāciju veic 2 gadu laikā pēc projekta uzsākšanas un turpmāk ik pēc 5 gadiem
Verifikācijas ziņojums	1500	
Reģistra atvēršana	1000	-
Reģistra izmaksas 1 kredīta vienībai	0,30	-

Saskaņā ar Verra standarta prasībām izstrādāta apmežošanas projekta ietekmes novērtēšanas metodika

Pētījumā izmantoti Verra izstrādātie norādījumi A/R CDM “AR-ACM0003 “AR Large scale - Afforestation and reforestation of lands except wetlands” un Latvijas Valsts mežzinātnes institūts Silava (LVMI Silava) izveidotais AGM modelis un EPM rīkā izmantotie vienādojumi oglekļa pārneses un SEG emisiju aprēķināšanai, kas, savstarpēji mijiedarbojas, sniedz Verra vadlīniju prasībām atbilstošu rezultātu pilna mēroga oglekļa uzkrājuma noteikšanai. AR/CDM modeli izmanto reāllaika oglekļa uzkrājuma līmeņa uzraudzībai, lai izdarītu pieņēmumus par faktisko piesaistītā oglekļa daudzumu. LVMI Silava modelis tiek izmantots pieņēmumiem par kopējo piesaistītā oglekļa daudzumu visā projekta īstenošanas periodā, kas ļauj prognozēt projektā radīto oglekļa kredītu skaitu. Modeļi ietverts piemērs aprēķinam bērza apmežojumos.

⁸ Avots: Ziņojums “Tehnisko vadlīniju rokasgrāmata – rezultātos bāzēta oglekļa saistīgās lauksaimniecības mehānisma izveide un ieviešana ES”.

Emisijas aprēķina, izmantojot CDM metodoloģiju: AR-ACM0003 “AR Large scale - Afforestation and reforestation of lands except wetlands”, 2. versiju (1., 2., 3., 4., 5. vienādojums). Ex-ante aplēsēm izmantots LVMI Silava izstrādātais AGM modelis un EPIM rīkā izmantotie vienādojumi (6., 7., 8. vienādojums). LVMI Silava modeļa izmantošanu atbalsta AR-TOOL 14 “Methodological tool: Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities” 8. nodaļa “Oglekļa krājumu noteikšana kokos noteiktā laika posmā”. 8. nodaļā minēts, ka koku biomasas oglekļa krājas ex-ante novērtēšanai (modelēšanai) ir atļauts izmantot koku augšanas un audzes attīstības modelēšanu. Izmantojot šo metodi, esošie dati tiek izmantoti kombinācijā ar koku augšanas modeļiem, lai prognozētu koku augšanu un koku audzes attīstību laika gaitā. Tiek ņemti vērā tādi audzes parametri, kā – ieaudzēšana (stādu skaits uz hektāru vai šķērslaukums uz hektāru), vecuma klases struktūra. Sugu sastāvs dažādos laika punktos tiek modelēts no pieņemtajām un plānotajām koku stādīšanas un apsaimniekošanas praksēm (stādīšanas biežuma, izdzīvojušo stādu skaita, retināšanas un atzarošanas pasākumiem dažādos audzes attīstības etapos). Koku augšana (caurmēra vai augstuma pieaugums) modelēts, ņemot vērā vietējo koku augšanas datus no iepriekš veiktu pētījumu rezultātiem (piemēram, vecuma un diametra liknes, ražas tabulas, ražas liknes), vienlaikus ņemot vērā arī attiecīgos vietas faktoros (augsnī, reljefu, slīpumu, nokrišņus) un audzes parametrus.

Šī metodika pieļauj apmezot jebkuru zemes izmantošanas veidu, kas neietilpst mitrāju kategorijā. Ja izvēlētās zemes izmantošanas kategorijas augsnes organiskā oglekļa (SOC) saturs ir sagaidāms augstākā līmenī nekā tas, kas tiek izmantots kā meža zemju SOC bāzes līmenis, metodoloģija ierobežo augsnes traucējumu apmēru projektā līdz 10 procentiem. Lielāks SOC saturs bāzes līnijā var rasties vai nu augsnes īpašību (piemēram, augsnes ir organiskas augsnes) vai antropogēno darbību rezultātā (piemēram, augsnes netiek apartas, un tajās nonāk papildus organiskais materiāls). Izņemot šo ierobežojumu attiecībā uz augsnes traucējumu apmēru noteikta veida augsnēs un zemes izmantošanas darbībās, metodikai ir plašs pielietojums. Projektos, kur izmantota šī metodoloģija, var iekļaut vai neiekļaut jebkuru no šīm oglekļa krātuvēm – atmirusī koksne, nobiras, augsnes organiskais ogleklis.

Šī metodika ir piemērojama ar šādiem nosacījumiem:

1. zeme, uz kuru attiecas projekta darbība, neietilpst mitrāju kategorijā;
2. augsnes traucējumi, kas attiecināmi uz projekta darbību, nedrīkst aptvert vairāk nekā 10% no projektā izvēlētās teritorijas, ja tie iekrīt kāda no zemāk minētajiem kritērijiem:
 1. zeme, kurā ir organiskas augsnes;
 2. zeme, kas sākotnēji ir pakļauta zemes izmantošanas un apsaimniekošanas praksei.

Emisiju bāzes līmenis

Saskaņā ar metodoloģijas nosacījumiem apmežojamās platības drīkst atrasties zālāju teritorijās, kuri ilgstoši nav mainījuši savu zemes izmantošanas veidu (vismaz 10 gadus). Apmežojot zālāju platības nebūtu nepieciešams izvākt atmirušo koksni, krūmus vai citu biomasu, kas neizmainītu oglekļa bāzes līmeņa rādītājus. Tādēļ var uzskatīt, ka emisiju bāzes līmenis visās potenciālajās teritorijās ir 0.

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{KOKI_{BSL,t}} + \Delta C_{KRŪMI_{BSL,t}} + \Delta C_{ATM_{KOKI_{BSL,t}}} + \Delta C_{NOBIRAS_{BSL,t}} \quad (6)$$

Where

$\Delta C_{BSL,t}$ – SEG bāzes līmeņa samazinājums gadā tonnās, *tons CO₂ eq*;

$\Delta C_{KOKI_{BSL,t}}$ – Izmaiņas koku biomasas oglekļa uzkrājuma bāzes līmenī izvēlētās teritorijas robežās, *tons CO₂ e*;

$\Delta C_{KRŪMI_{BSL,t}}$ – Izmaiņas krūmu biomasas bāzes līmenī izvēlētās teritorijas robežās, *tons CO₂ eq*;

$\Delta C_{ATM_{KOKI_{BSL,t}}}$ – Izmaiņas atmirušo koku oglekļa uzkrājuma bāzes līmenī teritorijas robežās, tonnas gadā. Vērtība iegūta izmantojot UNFCC izdoto aprēķinu metodi 'Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in the project activities', *tons CO₂ eq*;

$\Delta C_{NOBIRAS_{BSL,t}}$ – Izmaiņas nobiru oglekļa uzkrājuma bāzes līmenī izvēlētās teritorijas robežās, *tons CO₂ eq*.

Projekta emisijas

Faktisko SEG neto piesaisti oglekļa krātuvēs iespējams noteikt ar formulu:

$$\Delta C_{FAKT,t} \text{, tons} = \Delta C_p \text{, tons} - SEG_E \text{, tons} \quad (7)$$

Where

ΔC_{FAKT} – Faktiskais SEG samazinājums, tonnas gadā *CO₂ eq*;

ΔC_p – Kopējais SEG samazinājums, tonnas gadā *CO₂ eq*;

GHG_E – Pieaugums citu, ne *CO₂*, SEG emisijās kas rezultējies no izmantotajās zemes apsaimniekošanas metodes, *tons CO₂ eq*.

SEG emisiju pieaugumu, kuras radušās, īstenojot apsaimniekošanas aktivitātes projekta robežās, novērtē pēc šīs formulas:

$$SEG_E = \sum_{t_1}^{t^*} SEG_{E,t} \quad (8)$$

Where

SEG_E – Pieaugums SEG emisijās, kas rezultējies no izmantotās zemes apsaimniekošanas metodes, *tons CO₂ eq*;

$SEG_{E,t}$ – Pieaugums citu, ne CO₂, SEG emisijās, kas veidojies krūmu dedzināšanas rezultātā, veicot izvēlētajā teritorijas sagatavošanu, *tons CO₂ eq*;

tons – 1,2,3,...ton na s^* gadi kopš īstenotās zemes apsaimniekošanas metodes sākuma.

Oglekļa uzkrājuma izmaiņas (tonnas gadā), kas norisinās izvēlētajos oglekļa krātuvēs, aprēķina pēc šādas formulas:

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{KOKI_{PROJ},t} + \Delta C_{KRŪMI_{PROJ},t} + \Delta C_{ATM_{KOKI_{PROJ},t}} + \Delta C_{NOBIRAS_{PROJ},t} + \Delta AUGSN_ORG_OGL_{AL,t} \quad (9)$$

Where

$\Delta C_{P,t}$ – Izmaiņas oglekļa uzkrājumā izvēlētajās teritorijās tonnās gadā, *tons CO₂ eq*;

$\Delta C_{KOKI_{PROJ},t}$ – Izmaiņas koku biomasas oglekļa uzkrājumā, *tons CO₂ eq*;

$\Delta C_{KRŪMI_{PROJ},t}$ – Izmaiņas krūmu biomasas oglekļa uzkrājumā, *tons CO₂ eq*;

$\Delta C_{ATM_{KOKI_{PROJ},t}}$ – Izmaiņas atmirušo koku oglekļa uzkrājumā, *tons*;

$\Delta C_{NOBIRAS_{PROJ},t}$ – Izmaiņas nobiru oglekļa uzkrājumā, *tons CO₂ eq*;

$\Delta AUGSN_ORG_OGL_{AL,t}$ – Izmaiņas augsnes organiskā oglekļa uzkrājumā izvēlētajās teritorijās, tonnās gadā, izmantojot robežvērtībās no UNFCCC aprēķinu metodes 'Tool for estimation of change in soil organic carbon stocks due to the implementation of the project activities', *tons CO₂ eq*.

Kopējais SEG samazinājums un piesaiste

SEG neto emisiju samazinājumu un piesaisti aprēķina pēc formulas:

$$\Delta C_{AR_{CDM},t} = \Delta C_{FAKT,t} + \Delta C_{BSL,t} - P\bar{A}RN_t \quad (10)$$

Where

$\Delta C_{AR_{CDM},t}$ – Antropogēno darbību izraisīto SEG samazinājumu neto summa, *tons CO₂ eq yr⁻¹*;

$\Delta C_{FAKT,t}$ – Faktiskā SEG samazinājumu neto summa, *tons CO₂ eq yr⁻¹*;

$\Delta C_{BSL,t}$ – Bāzes līmeņa SEG samazinājumu neto summa, *tons CO₂ eq yr⁻¹*;

$P\bar{A}RN_t$ – Pārneses rezultātā izraisītās SEG emisijas, *tons CO₂ eq yr⁻¹*.

Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” izveidotais modelis

Modelis “Bērzu stādījumu ar minerālo un organisko augsni vidēja termiņa siltumnīcefekta gāzu mazināšanas potenciāla novērtējums” ir izstrādājis LVMI Silava. Pieņēmumi ir optimizēti, lai atbilstu, augstākajai meža ekonomiskajai vērtībai dotajos apstākļos. Tiek salīdzinātas trīs dažādas apsaimniekošanas pieejas augšanas apstākļos, kas pārstāv augstāko (labāko), mēreno (labo) un zemāko (apmierinošo) koku augstumu noteiktā vecumā atbilstoši augstākajai meža bonitātes klasei, kas raksturīga

apmežotām zemēm, ja tiek piemēroti atbilstoši apsaimniekošanas pasākumi. Koku augšanas tempa pieņēmumi un apsaimniekošanas scenāriju kopsavilkums sniegts Tab. 31.

Tab. 31. Apsaimniekošanas scenāriji un augšanas tempa pieņēmumi

Augšanas apstākļi	Scenārijs	Kopā iestādītie koki	Koku vecums kopšanas cirtes laikā	Kopšanas cirtes apjoms	Koku vecums kailcirtes laikā	Krāja kailcirtes laikā, m ³ ha ⁻¹
Labākie	1	2500	25	32%	50	597
	2	2000	25	32%	45	541
	3	1500	25	29%	40	483
Labi	4	1800	25	30%	40	216
	5	2000	25	30%	50	578
	6	1500	30	32%	45	476
Apmierinoši	7	2500	30	31%	60	646
	8	2000	30	32%	55	577
	9	1500	30	29%	45	510

Aprēķinos izmantoti vidējie augšanas apstākļi, kas nodrošina lielāko pieaugumu. Pieauguma temps aprēķināts, izmantojot AGM modeli, kura precizitāte apstiprināta nacionālā meža references līmeņa validācijas ietvaros, nodrošinot vairāk nekā 95% precizitāti meža pieauguma prognozēs 2000.-2009. gadā (Lazdiņš, Lupiķis, u.c., 2019; Lazdiņš, Šņepsts, u.c., 2019). Lazdiņš, Šņepsts u.c., 2019). Minerālajās un organiskajās augsnēs tiek izmantoti tie paši pieņēmumi par augšanas ātrumu saskaņā ar modelēšanas rezultātiem, kas neuzrāda būtisku atšķirību augšanas ātrumā starp organiskajām un minerālaugsnēm.

Zāģbaļķu, papīrmalkas un malkas daudzums no retināšanas un atjaunošanas cirtēm aprēķināta pēc akciju sabiedrības "Latvijas Valsts meži" pētījuma, kas sniedz vienādojumus sortimenta daudzuma aprēķināšanai pēc vidējā iegūto koku apjoma (AS "Latvijas valsts meži", 2010). Tāpat tiek uzskatīts, ka reciklētā koksne tiek izmantota kā biodeģviela pēc kalpošanas laika beigām, aizstājot fosilo kurināmo; tomēr aizvietošanas efekts aprēķinā netiek ņemts vērā, jo to nevērtē arī citos Verra projektos. Cirtes laikā iegūtās mežizstrādes atliekas pēc pieņēmumiem atstāj mežā.

Sākotnējo apstākļu scenāriji ir zālāji vai aramzeme, ar labi drenētu organisko vai minerālaugsnī. Sākotnējais oglekļa uzkrājums minerālaugsnē (60 tonnas C ha⁻¹) tiek lēsts kā vidējā līdzsvara stāvokļa vērtība (Bardule u.c., 2017). Saskaņā ar iepriekšējo pētījumu rezultātiem (Bardule u.c., 2017) nav noteikta atšķirība starp aramzemi un zālājiem. Pieņēmumi par oglekļa krājas izmaiņām minerālaugsnēs apmežošanas rezultātā tiek izvērtēti, izmantojot Yasso modeli saskaņā ar nacionālo meža references

līmeni (Lazdiņš, Lupiķis, u.c., 2019). SEG emisijas no organiskām augsnēm tiek aplēstas saskaņā ar Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes vadlīnijām (Blain u.c., 2013; Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Kiyoto, 2006). Aramzemēs metāna (CH₄) emisijas koeficients grāvjiem ir 1,165 kg CH₄ ha⁻¹ g.⁻¹, meliorācijas grāvju platība – 5%, slāpekļa oksīds (N₂O) – 13,00 kg N₂O ha⁻¹ g. CO₂) – 7,90 tonnas CO₂-C ha⁻¹ g.⁻¹. Zālajos CH₄ emisijas koeficients grāvjiem ir 1,165 kg CH₄ ha⁻¹ g.⁻¹, meliorācijas grāvju platība – 5%, CH₄ emisijas koeficients pārējai platībai – 16,00 kg CH₄ ha⁻¹ g.⁻¹ 20 -, kg N₂O ha⁻¹ g.⁻¹ un CO₂ – 6,10 tonnas CO₂-C ha⁻¹ g.⁻¹.

Pieņemtais oglekļa uzkrājums nobirās apmežotajā platībā līdzsvara stadijā ir 12,14 tonnas C ha⁻¹, pārejas periods 150 gadi saskaņā ar pieņēmumiem, kas izmantoti Nacionālajā SEG uzskaitē (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2020). Oglekļa uzkrājumi atmirušajā koksne tiek aprēķināti, izmantojot AGM modeli, kas sniedz informāciju par dabisko mirstību un nocirsto koku izmēriem, kas pārveidoti par oglekļa uzkrājumu, izmantojot valstij raksturīgos biomasas izplatības vienādojumus, kas izmantoti nacionālajā SEG uzskaitē (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2021). Aprēķinos pieņemtais atmirušās koksnes sadalīšanās laiks ir 20 gadi, tas ir 5% no gada sākumā palikušās atmirušās koksnes krājas, un gada laikā satrunējušie koki sadalās līdz gada beigām. Šī pieeja tiek izmantota arī valsts SEG uzskaitē.

Meža zemēs CH₄ emisiju koeficients grāvjiem ir 217,00, meliorācijas grāvju platība – 3%, CH₄ emisijas koeficients pārējai platībai – 2,50 kg CH₄ ha⁻¹ g.⁻¹ un CO₂ – 0,52 tonnas CO₂-C ha⁻¹ yr⁻¹ saskaņā ar Nacionālo SEG uzskaiti (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2020).

Metodika oglekļa apgrozījuma aprēķināšanai mežizstrādes zemēs iegūtajos koksnes produktos ir pārceļta no Nacionālās SEG uzskaites, pieņemot, ka zāgmateriālam ir 35 gadu garais pussabrukšanas periods, plātņu koksnei – 25 gadi, papīrmalkai – 2 gadi (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2020). Nav atšķirības starp vietēji patērēto un eksportēto apaļkoku. Aprēķinos izmantotais, CH₄ SEG ekvivalents ir 25 un SEG ekvivalents N₂O – 298 (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Kiyoto, 2006). Metodoloģiju sākotnēji izstrādāja un visā Eiropā saskaņoja Rüter (2011).

Biodegvielas aizstāšanas efekts tiek novērtēts, salīdzinot meža biodegvielu un dabasgāzi. Tomēr aizstāšanas efekts netiek izmantots apmežošanas ietekmes aprēķinā, lai izvairītos no iespējamās dubultās uzskaites ar citiem projektiem, kas veicina fosilā kurināmā aizstāšanu.

Koku biomasas noteikšana, izmantojot biomasas vienādojumu aprēķinu pēc Liepiņš et al. (2021, 2017). Šajā aprēķinā koku diametrs un augstums tiek izmantoti, lai pārveidotu koku izmērus virszemes un pazemes koku biomasā. To aprēķina šādi:

$$B = k * \exp \left(a + \frac{b * D_{1.3}}{D_{1.3} + m} + c * H + d * \ln(H) \right) * n \quad (11)$$

Where

B – Koka biomasa, kg ;

$D_{1.3}$ – koka diametrs 1,3m augstumā, cm ;

H – koka augstums, m ;

n – koku skaits parauglaukumā.

a, b, c, d, m, k – koeficienti.

Tab. 32. Koeficienti 11. formulai bērzu audzēm saskaņā ar Liepiņš et al. (2017)

Biomasa frakcija	a	b	c	d	m	k
Stumbra biomasa	-2,9281	8,2943	0,0184	0,7374	11	1,002
Vainaga biomasa	-1,0091	16,9249	0	-2,0462	12	1,075
Pazemes biomasa	-3,6432	2,5127	0	0	0	1,006

Koku biomasa tiek pārrēķināta oglekļa uzkrājumā, izmantojot 12. formulu, un pēc tam virszemes un pazemes biomasas vērtības saskaita kopā.

$$C_{TREE_{proj}} = B * C \quad (12)$$

Where

B – Koka biomasa, kg ;

C – oglekļa daudzums biomasā, $kg\ ton^{-1}$.

Tab. 33. Oglekļa saturs bērza biomasā 13. formulai saskaņā ar Bārdule et al. (2021a).

Nr.	Koka daļa	Bērzs
1.	Virszemes biomasa	520,6
2.	Pazemes biomasa	527,9
3.	Vidēji	521,4

Minerālaugšņu augsnes organiskā oglekļa izmaiņas tiek aprēķinātas, izmantojot šo formulu:

$$d_{SOC_{t,i}} = \frac{SOC_{BĀZ_{LM},i} - SOC_{SĀKOTNĒJI,i} - SOC_{ZUDUMS,i}}{\text{years}} \quad (13)$$

Where

$d_{SOC_{t,i}}$ – Līmeņa izmaiņas augsnes organiskā oglekļa uzkrājumā stratum *i*,
no parauglaukuma platības, $\text{tonsC ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$;

$SOC_{REF,i}$ – Augsnes organiskā oglekļa uzkrājuma atsauces vērtība,
kas izriet no parauglaukuma klimatiskās zonas un augsnes veida. Attiecināms uz
stratum *i* no parauglaukuma platības, tonsC ha^{-1} ;

$SOC_{INITAL,i}$ – Augsnes organiskā oglekļa uzkrājums pirms veiktajām zemes
apsaimniekošanas veida darbībām. Attiecināms uz stratum *I* no kopējās
parauglaukuma platības;

$SOC_{LOSS,i}$ – Augsnes organiskā oglekļa uzkrājuma zudums ko izraisījusi zemes
apsaimniekošanas veida izvēle. Attiecināms uz stratum *I* no kopējās

parauglaukuma platības, tonsC ha^{-1} ;
years – pārejas periods.

Oglekļa uzkrājuma izmaiņas modelētas, izmantojot Yasso saskaņā ar nacionālo meža
references limeni (Lazdiņš, Lupiķis, u.c., 2019).

Kopsavilkums

Klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu sasniegšanai ZIZIMM sektorā var izmantot starptautiskās oglekļa vienību tirdzniecības sistēmas, piemēram, Verra, kā arī Eiropas Komisijas veidoto brīvprātīgo piesaistes vienību tirdzniecības sistēmu, taču pastāv risks, ka lielākā daļa no pasākumiem, kas ļauj palielināt CO₂ piesaisti un samazināt SEG emisijas ZIZIMM sektorā, piemēram, Latvijā visnozīmīgākais pasākums – organisko augšņu apmežošana, var neatbilst Verra un Eiropas Komisijas noteiktajiem atbilstības kritērijiem sakarā ar meliorācijas sistēmu esamību, lai arī strikta aizlieguma apmežot organiskās augsnes, piemēram, Verra standartā nav. Pagaidām nav zināms, kādi ilgtspējas kritēriji būs iekļauti Eiropas Komisijas veidotajā standartā, taču Verra ir vērsta uz īstermiņa mērķu īstenošanu, nodrošinot maksimālu piesaisti pirmajās desmitgadēs pēc meža ieaudzēšanas, kas var novest pie nekvalitatīvu, sabiezinātu audžu veidošanās, kas ilgtermiņā var kļūt par dabisko traucējumu un slimību avotu. Ieviešot šādu sistēmu Latvijā, jānosaka papildus kritēriji mežaudžu ilgtspējas nodrošināšanai arī pēc 2050. gadā un maksimāla ieguldījuma nodrošināšanai Latvijas klimata mērķu sasniegšanā, tajā skaitā palielinot koksnes produktu oglekļa krātuvi un nodrošinot aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Maksimālo ieguldījumu klimata mērķu sasniegšanā nodrošinātu kompleksa sistēma ar unificētu SEG emisiju samazinājuma un CO₂ piesaistes palielināšanas novērtēšanas metodiku, kas apvieno Verra un tamlīdzīgās sistēmās, Eiropas Komisijas veidotajā instrumentā un īpašā nacionālā sistēmā īstenojamus pasākumus. Būtiski izveidot

instrumentus, kas ļauj īstenot valsts un reģionālas nozīmes pasākumus, piemēram, uguns aizsardzības sistēma pilnveidošana un risku mazināšana mežsaimniecībā, un instrumenti atsevišķas audzes līmenī īstenojamiem pasākumiem. Nacionālas un reģionālas nozīmes pasākumi īstenojami, izmantojot valsts un Eiropas Savienības finansējumu, bet lokāla mēroga pasākumu īstenošanai izmantojams gan valsts, gan privātais finansējums.

No emisiju radītāju skatpunkta būtiski, lai nepieciešamība mazināt emisijas nekropļotu konkurenci, t.i. visi ražotāji sniegtu vienādu ieguldījumu SEG emisiju mazināšanā. Viens no iespējamajiem scenārijiem vienlīdzīgas konkurences nodrošināšanai ir esošo emisiju aizstāšana, piesaistot valsts finansējumu, piemēram, dabas resursu nodokļa iemaksas, bet ražošanas apjoma palielināšanai piesaistot privātu finansējumu no konkrēta projekta īstenošanai. Īstenojot šādu pieeju, valstij ir jānodrošina finansējums organisko augšņu apmežošanai, jāfinansē meža mēslošana un pelnu izmantošana mežā, jāpilnveido likumdošanas prasības un praktiskas rekomendācijas ilgtspējīgas mežsaimniecības prakses īstenošanai, kā arī jāatbalsta papildus pasākumi SEG emisiju samazināšanai, piemēram, meliorācijas sistēmu paplašināšana, kokaugu joslu stādījumu veidošana un citu agromežsaimniecības pasākumu ieviešana.

Verra sistēmā ir noteikti projektu atlases ierobežojumi, kas, visticamāk, skars arī Eiropas Komisijas veidoto brīvprātīgo oglekļa vienību tirdzniecības sistēmu. Šie ierobežojumi apgrūtinās vai padarīs neiespējamu Latvijas klimata politikas mērķu īstenošanai nozīmīgāki mežsaimniecības un lauksaimniecības intensifikācijas pasākumu īstenošanu, piemēram organisko augšņu apmežošana, kokaugu stādījumu ierīkošana, meža meliorācija un mēslošana. Saglabājoties esošajai situācijai un īstenojot Verra un taml. sistēmās akceptētos pasākumus, Latvija nevarēs sasniegt Parīzes vienošanās noteikto klimatneitralitātes mērķi un nevarēs nodrošinot ar resursiem augošo bioekonomikas sektoru, tāpēc Latvijai ir nepieciešama nacionāla piesaistes vienību uzkrāšanas un tirdzniecības platforma, paralēli attīstot kapacitāti un radot labvēlīgus apstākļus starptautisku projektu īstenošanai, ja tie nodrošina ilglaicīgu SEG emisiju samazinājumu.

Latvijā ir jāuzlabo modelēšanai metodes ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai, īstenojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumus, tajā skaitā jāpilnveido augsnes oglekļa aprites modelēšanas darbību dati un vienādojumi, kā arī jāuzlabo mitruma režīma ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti novērtēšanas metodes un meža mēslošanas ietekmes uz CO₂ piesaisti vienādojumi. Izpētes vajadzības dažādu pasākumu ietekmes raksturošanai aprakstītas pētījuma "Latvijai piemērotākā mežsaimniecības attīstības scenārija izvērtēšana iespējamā Eiropas līmeņa zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora siltumnīcefekta gāzu emisiju un piesaistes uzskaites regulējuma pārskatīšanā" pārskatā (LVMI Silava, 2022).

Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas no aluviālajām augsnēm

Pārskatā apkopota informācija par SEG emisiju mērījumiem aluviālās augsnēs 2022. gadā. Izmēģinājumu objektus ierīkoja un mērījumus veica Agroresursu un ekonomikas institūta Stendes pētniecības centrs.

Pētījuma metodika

Pētījums veikts 3 platībās, kurās iekārtotas katrā 9 gāzu apmaiņas mērījumu vietas. Palienes lauks (Att. 31) 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 izmantots kā aramzeme. 2022. gadā – zālāju pļava, kur gatavoja skābsienu jūnija 2. pusē, bet septembrī/oktobrī platība izmantota kā ganības, noganīšanu veicot pa blokiem. Biomasas uzskaitē pirmā zālaugu raža novākta, zālaugiem sasniedzot attīstībā stiebrošanu/ziedēšanu (ap 15.06.2022) Otrā biomasas raža novākta augustā (22.08.2022), trešā – 30.10.2022, ievācot arī sakņu biomasas paraugus. 23. martā uz lauka iekārtoti 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 (Att. 32). Otrā un trešā uzskaites vieta pēc zālāja sastāva līdzvērtīga – pamatā stiebrzāles un platlapju apakšzāles – pienenes, skābenes, šaurlapu ceļtekas u.c. (Att. 33). Zālāja biomasu uzskaites platībās oktobrī novērtēt bija iespējams nosacīti precīzi, jo, uzsākot lauka apganīšanu septembrī – dzīvnieki nopostīja iežogojumu uzskaites platībai.



Att. 31. Skats no Pūres tilta uz palienes pļavām martā 2022. gada.



Att. 32. Mērījumu vieta laukā pie Pūres tilta (23.10.2022) – upes krastu dzīvnieki izmanto kā dzeršanas vietu.



Att. 33. Pirmajā mērījumu vieta Pūres laukā maijs 2022. gadā – upes krasts augsne bagāta ar trūdvielām un labvēlīga vide nātrēm u.c. platlapjiem un II mērījumu vieta Pūres laukā oktobrī pēc lopu ganišanas (redzamas augu atliekas)

Lauks pie Zvejnieku tilta Abavas upes labajā krastā (Riebiķi – $N 57 00'39.1 E 22 44'13.41$). 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. 2022. gadā pļauja – ļoti vēlu septembra vidū. Zālāja noaugums/biomasa novērtēta līdzīgos periodos nekā Pūres laukā – pirmā raža vākta 15.06.2022, otrā – 22.08.2022, trešā – 02.10.2022, vienlaikus ievācot arī sakņu masu 20 cm dziļumā. Zālāja struktūrā daudz platlapju un liela auguma stiebrzāles.

Lauks pie Zvejnieku tilta Abavas upes kreisajā krastā (Bugas – *N 57 00`35.66; E 22 44`14.6; Att. 34*). 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 ieplakas, kur mitrums uzkrājas lietus laikā. Zelmeņa noaugums analizēts līdzvērtīgi kā pārējos objektos, tomēr uzskaites precizitāte ir zemāka. Tā kā platība visu sezonu pieejama dzīvniekiem, dzīvnieki regulāri cenšas iekļūt norobežotajos uzskaites laukumos (Att. 35). Uzskaitē veikta trīs vietās, 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 applūstoša, uzkrātas trūdvielas, zālāja struktūrā savairojušās ložņājošās gundegas. Augstākās vietās vairāk stiebrzaļu, smilšaināks (izteiktas plūstošās smiltis, kas apgrūtināja pavasarī ievietot gruntsūdens mērījumu caurules divos punktos).

Parauglaukumu numerācijā 1 ir upei tuvākais parauglaukums ar augstāko gruntsūdens līmeni, 2 atrodas lauka vidū un 3 ir no upes vistālākais parauglaukums.



Att. 34. Iekārtota Zvejnieku tilta labā krasta plāvas I uzskaites vieta ar skatu uz upes un skats no palienes plāvas līdz upes veckrasta nogāzei – 23.03.2022.



Att. 35. Gaļas lopu ganības – gruntsūdens novērtēšanas aka ievietota līdz plūstošo smilšu līmenim 2022. gada maijs (dzīvnieki ganībās noposta iekārtotās uzskaites vietas, noēd zāli, traucējot biomasas korektu uzskaiti).

Darbs uz lauka: 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. (kamaras 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 ekstrahējama P, K, Ca un Mg, kā arī augsnes granulometriskais sastāvs (frakcijas 2000-63 μm, 63-2μm un < 2μm).

Rezultāti

Augsnes ķīmisko analīžu rezultāti objektu un parauglaukumu griezumā apkopoti Tab. 34, augsnes granulometriskā sastāva analīžu rezultāti apkopoti Tab. 35. Elementu uzkrājuma aprēķins līdz 80 cm dziļā augsnes slānī aprēķināts Tab. 36. Visos objektos

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

augšnes 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. 34. Augšnes 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
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

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

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
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. 35. 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

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

Objekts	Atkārtojums	Slānis, cm	Granulometriskais sastāvs, %			Augsnes blīvums, kg m ⁻³
			2000-63 μm	63-2μm	< 2μm	
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. 36. 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, paņemot zāles paraugus pēc 1., 2. un 3. ļaušanas (attiecīgi, 15.06.2022, 2.08.2022 un 30.09.2022). Pēc pēdējās ļaušanas ievākta pazemes biomasa. Vidēji pazemes biomasa ir $8,59 \pm 0,8$ tonnas ha⁻¹, tajā skaitā objektā Bugas $9,03 \pm 2,32$; objektā Pūre $8,2 \pm 1,08$ tonnas ha⁻¹ un objektā Riebiķi $8,53 \pm 0,97$ 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 mērījumu objektos, atbilst $11,92 \pm 0,95$ tonnām ha⁻¹, no $11,47 \pm 2,49$ tonnām ha⁻¹ līdz $12,73 \pm 1,09$ tonnām ha⁻¹. Atšķirība nav statistiski būtiska. Vidējie biomasas rādītāji apkopoti Tab. 37.

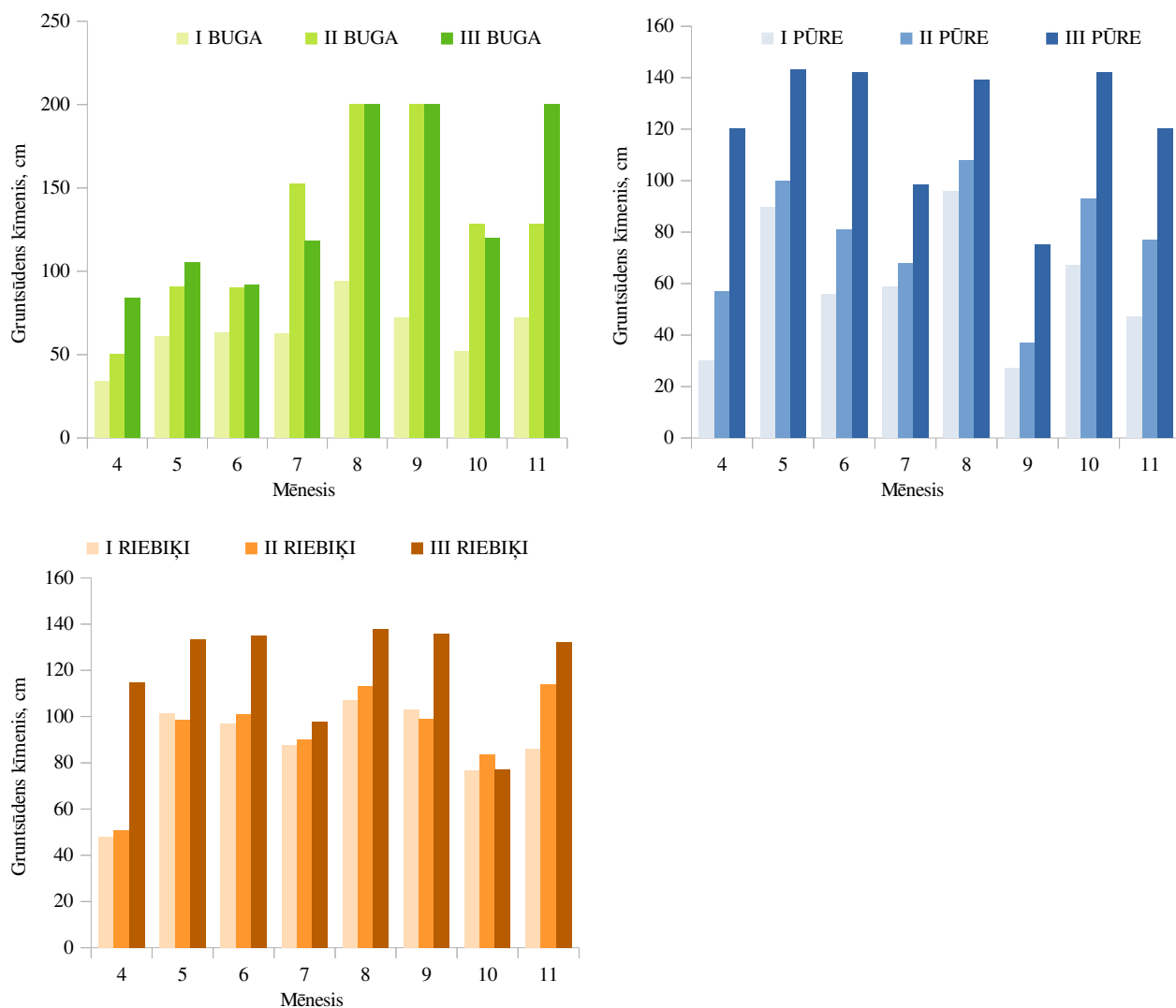
Tab. 37. Biomasa izmēģinājumu lauciņos

Objekts	Augstums virs upes	Pazemes biomasa, tonnas ha ⁻¹	Virszemes biomasa, tonnas ha ⁻¹	Virszemes biomasa no pazemes biomasas
Bugas	Augstākais	10,8	9,1	84%
	Vidējais	11,9	16,5	139%
	Zemākais	4,4	8,8	200%
	Vidēji	9,0	11,5	127%
Pūre	Augstākais	6,3	10,9	173%
	Vidējais	10,0	9,0	90%
	Zemākais	8,3	14,8	178%
	Vidēji	8,2	11,6	141%
Riebiķi	Augstākais	10,3	12,2	118%
	Vidējais	8,3	14,8	178%
	Zemākais	7,0	11,2	161%
	Vidēji	8,5	12,7	149%

Pētījumā iegūtie dati norāda uz to, ka augu biomasa ir būtisks oglekļa avots zālajos, tomēr neapstiprinās IPCC vadlīnijās izmantotais pieņēmums, ka attiecība starp pazemes un virszemes biomasu ir 4:1 (Tabula 6.1), jo vidējā attiecība izpētes objektos, ja ņem vērā visu izaugušo biomasu, ir 1:1,5; un 3:1, ja ņem vērā vidējo iegūto biomasu. Saskaņā ar IPCC 2006 vadlīniju pieņēmumiem virszemes biomasu raksturo ar maksimālo uzkrājumu (2,4 tonnas ha⁻¹ saskaņā ar Tabulu 6.4). Vidējā nopļautās zāles biomasa atbilst $5,9 \pm 0,9$ tonnām ha⁻¹ biomasas, kas ir vismaz 2 reizes vairāk nekā IPCC 2006 vadlīnijās Tabulā 6.4 dotie rādītāji. Tas var skaidrot, kāpēc, izmantojot noklusētos oglekļa ieneses rādītājus, līdz šim neizdevās iegūt korektus oglekļa aprites modelēšanas rezultātus (Lupiķis, 2017). Kopējā virszemes un pazemes biomasa IPCC 2006 vadlīnijās un pētījumā ietvertajās platībās būtiski neatšķiras.

Gruntsūdens līmeņa mērījumu rezultāti apkopoti Att. 36. Visos objektos vērojama izteikta tendence, ka tuvāk upei esošajā mērījumu vietā gruntsūdens līmenis atrodas augstāk visā mērījumu periodā, lai arī vidējā parauglaukumā Bugā gruntsūdens līmenis būtiski neatšķiras 2. un 3. parauglaukumā, bet Riebiķos – 1. un 2. parauglaukumā. Vasaras vidū Bugā 2. un 3. parauglaukumā gruntsūdens līmenis nokritās zemāk par 200 cm, neskatoties uz to, ka šo teritoriju neietekmē meliorācijas sistēmas. Pūrē un Riebiķos gruntsūdens līmeņa akas bija 150 cm dziļas un šajos objektos 3. parauglaukumā, kas atrodas vistālāk no upes, gruntsūdens līmenis gandrīz visu laiku bija dziļāks par 150 cm. Pirmajā parauglaukumā visos objektos gruntsūdens līmenis visu laiku bija 50-110 cm, tikai pavasara mēnešos paceļoties nedaudz virs 50 cm. Saskaņā ar iepriekš veiktu pētījumu rezultātiem meža zemēs, šādās platībās neveidojas nozīmīgas metāna emisijas (Butlers u.c., 2021).

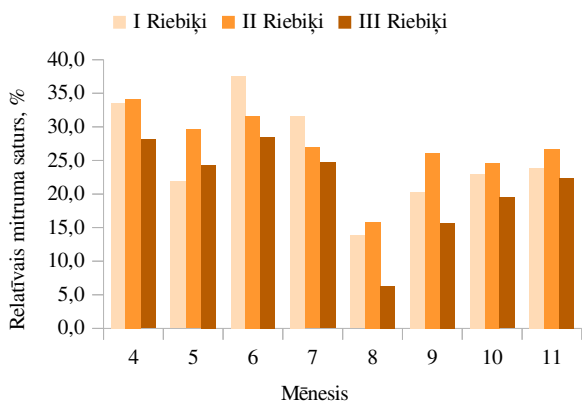
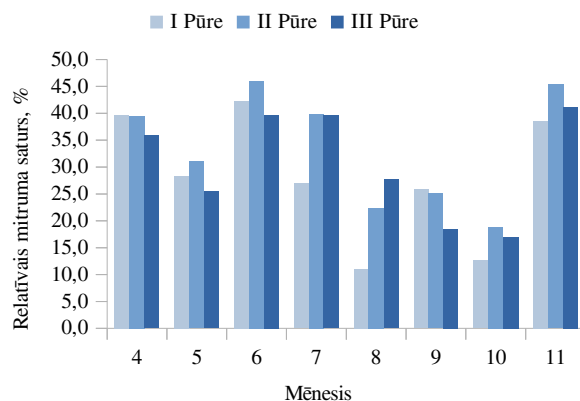
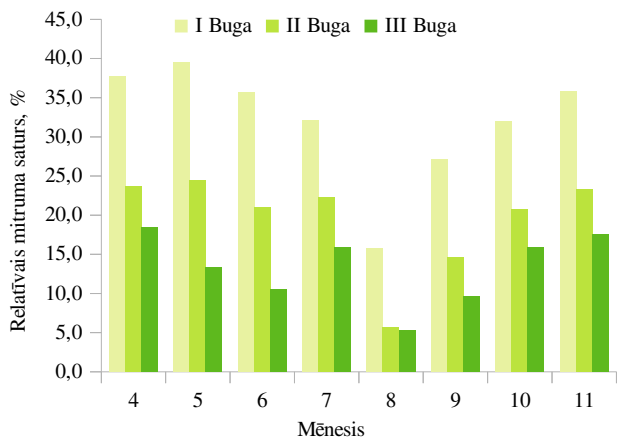
Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



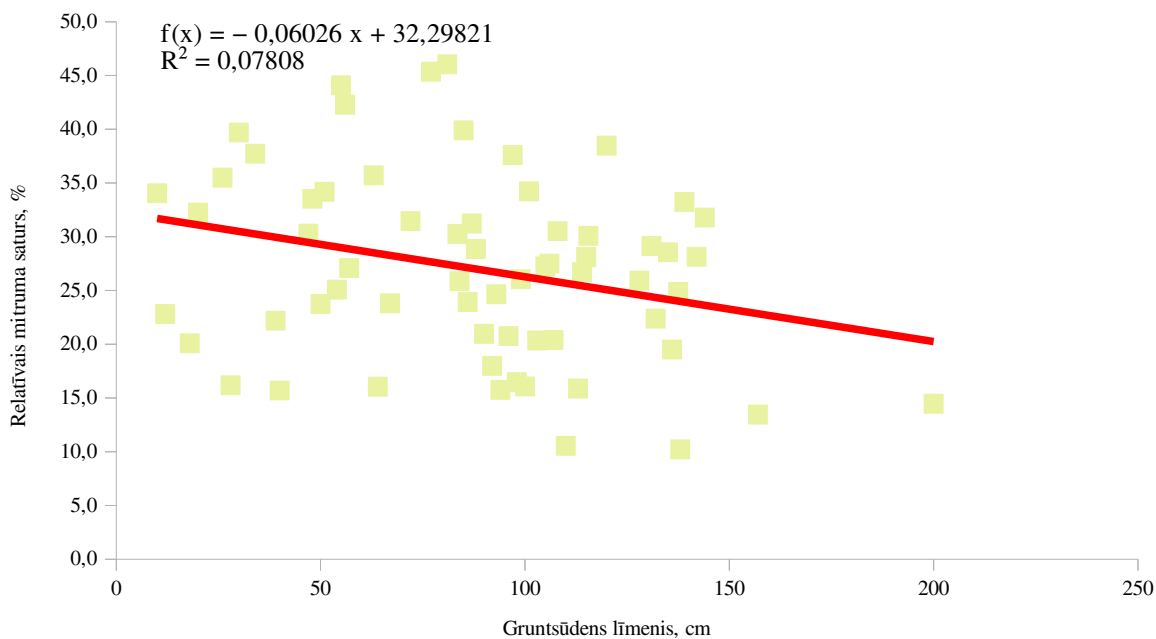
Att. 36. Gruntsūdens līmeņa izmaiņas mērījumu laikā.

Augsnes mitruma rādītāji gāzu apmaiņas mērījumu laikā apkopoti Att. 37. Mitruma saturs augsnē korelē ar gruntsūdens līmeni atsevišķos mērījumu ciklos, bet, apvienojot visu datu kopu, sakarība kļūst vāji izteikta (Att. 38). Vismazākais mitruma saturs augsnē ir vasaras mēnešos vistālāk no upes esošajos parauglaukumos. Izņēmums ir objekts Pūre, kur atšķirība starp parauglaukumiem ir nebūtiska.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

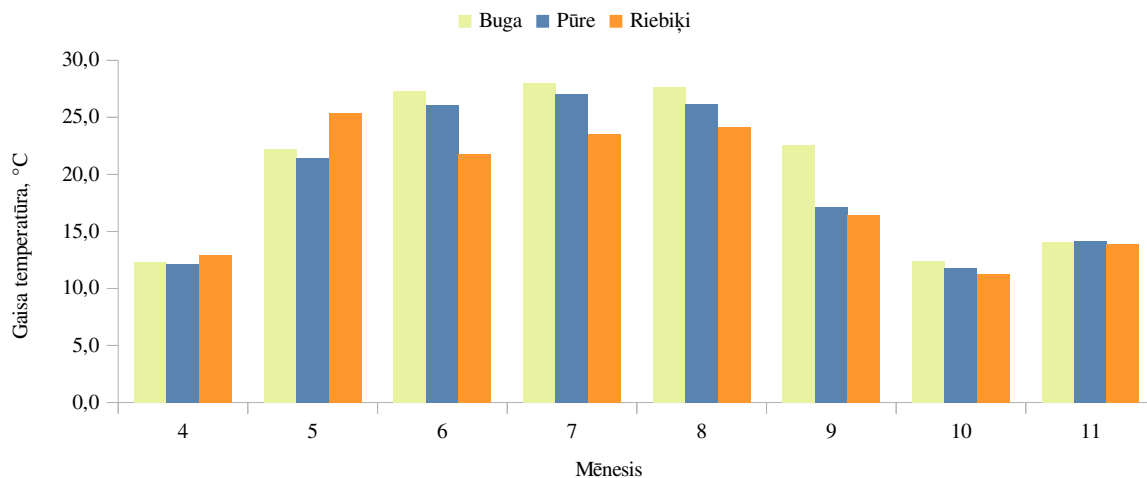


Att. 37. Mitruma saturs augsnes virskārtā mērījumu laikā.



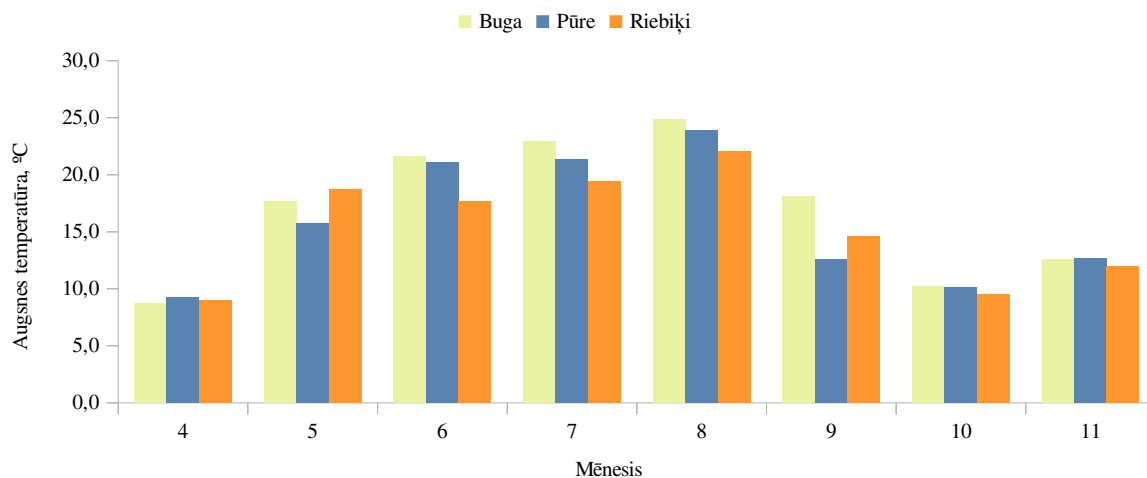
Att. 38. Gruntsūdens līmeņa un augsnes mitruma sakarība.

Gaisa temperatūra mērījumu laikā parādīta Att. 39.



Att. 39. Gaisa temperatūra mērījumu laikā.

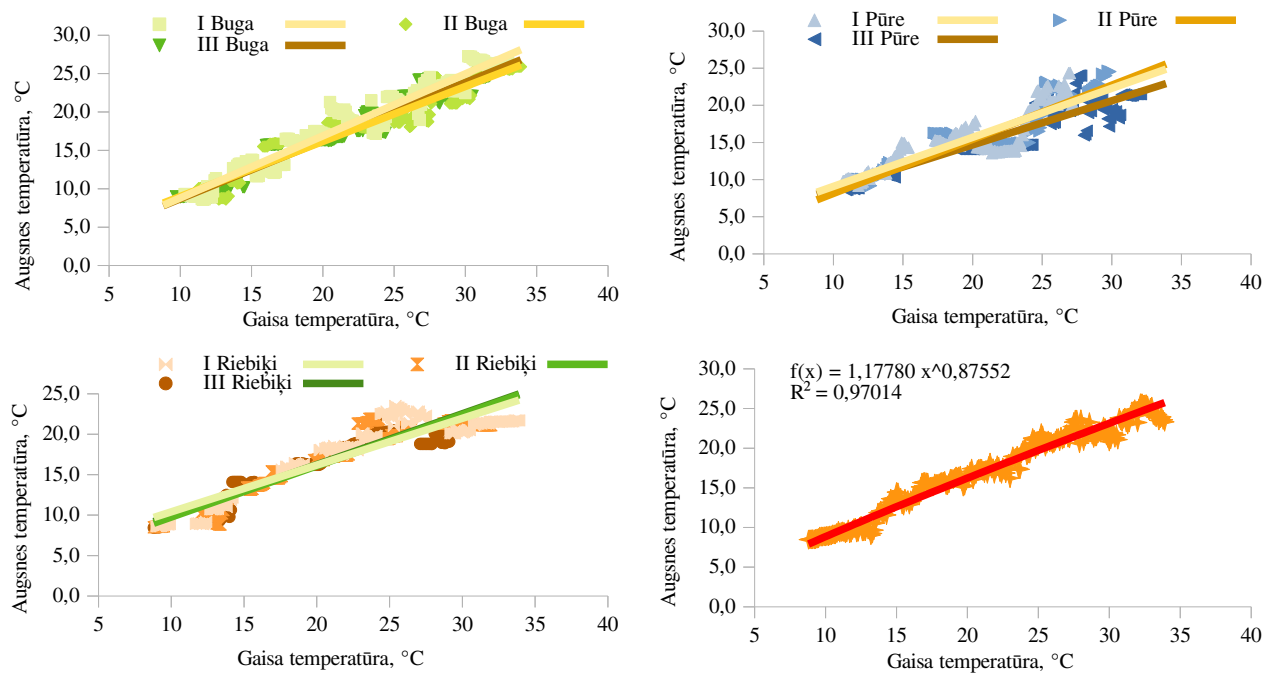
Augsnes temperatūra mērījumu laikā parādīta Att. 40.



Att. 40. Augsnes temperatūra mērījumu laikā.

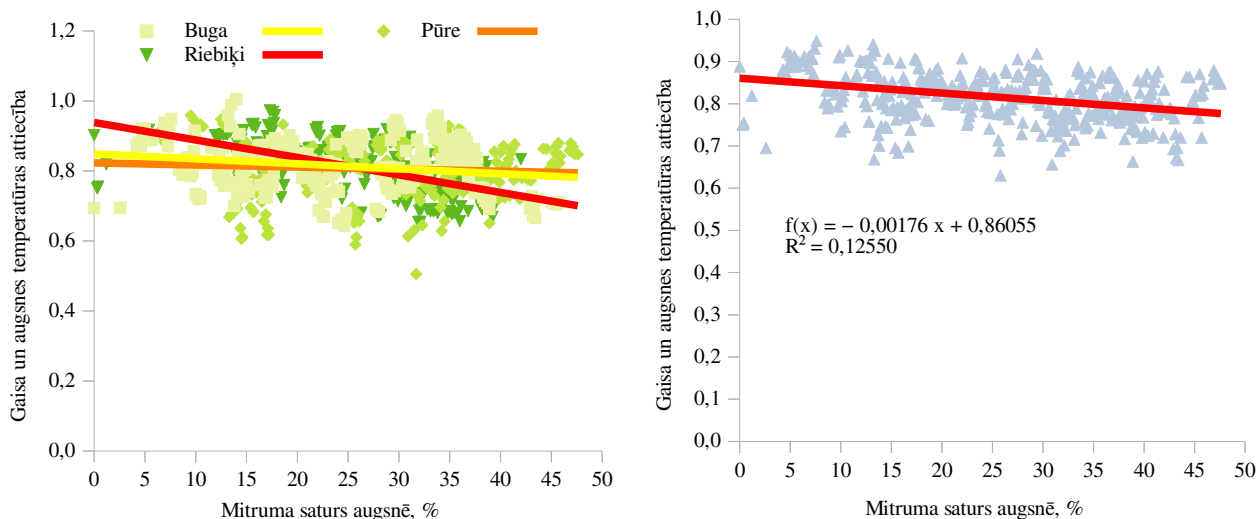
Gaisa un augsnes temperatūras sakarība mērījumu laikā parādīta Att. 41. Gaisa un augsnes temperatūras sakarība ir cieša, un to raksturo pakāpes vienādājums.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 41. Gaisa un augsnes temperatūras sakarība mērījumu laikā.

Gaisa un augsnes temperatūras attiecība, atkarībā no augsnes mitruma, parādīta Att. 42. Pieaugot mitruma saturam augsnē, šī attiecība samazinās, t.i. pie lielākas gaisa temperatūras augsnes temperatūra ir mazāka.



Att. 42. Gaisa un augsnes temperatūras attiecība, atkarībā no augsnes mitruma.

CO₂ emisiju kopsavilkums mēnešu griezumā dažādos objektos dots Tab. 38 un grafiski - Att. 43, bet, atkarībā no parauglaukumu atrašanās vietas - Att. 44. Objektā Buga nav konstatēta būtiska CO₂ emisiju atšķirība, atkarībā no atrašanās vietas, lai gan vasarā būtiski samazinās CO₂ emisijas no augsnes tālāk no upes esošajās mērījumu vietās. Objektā Pūre nav konstatētas sistemātiskas sakarības starp mērījumu vietu un CO₂

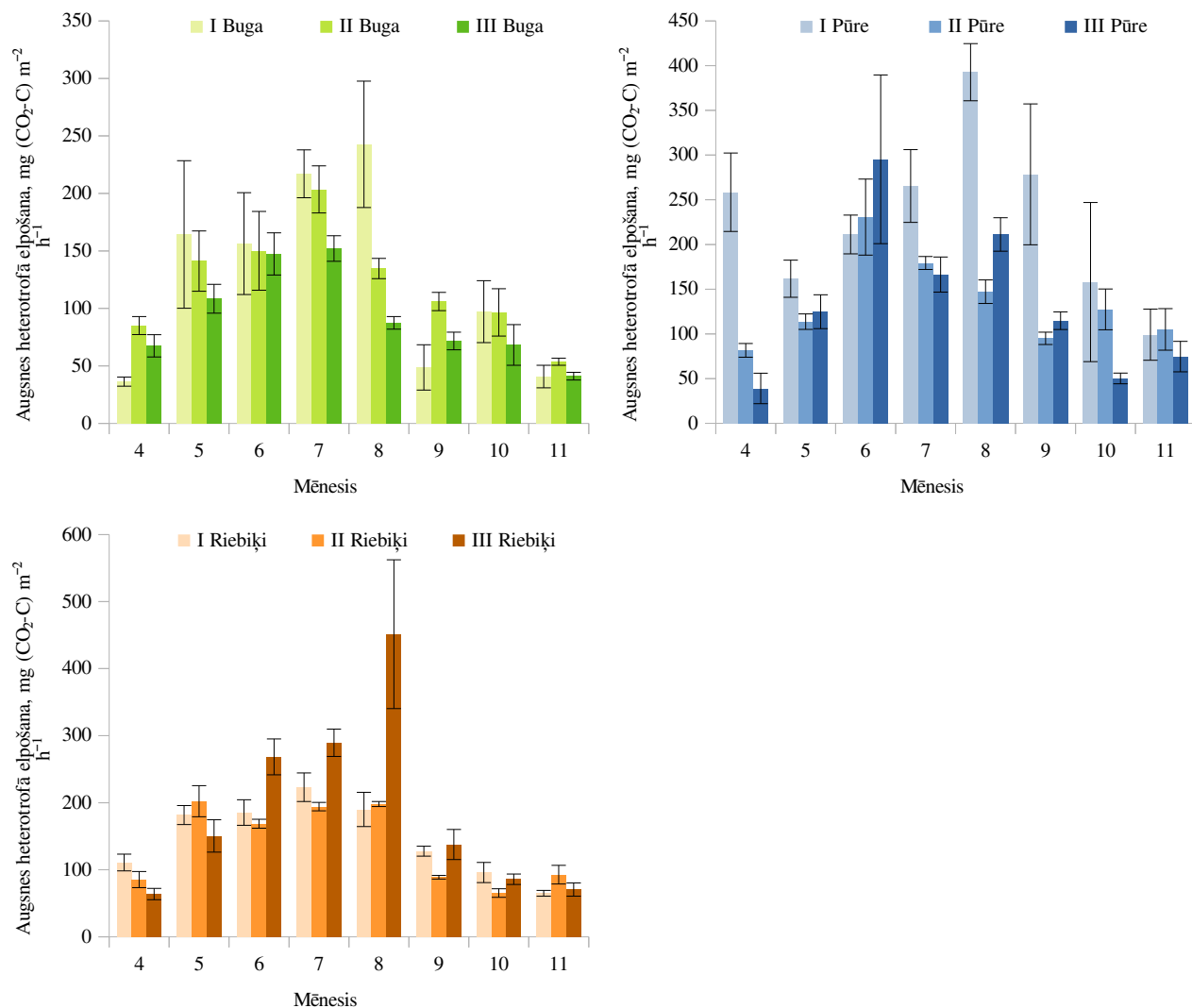
Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

emisijām, lai gan kopumā CO₂ emisijas no augsnes tuvāk upei esošajās mērījumu vietās ir lielākas. Objektā Riebiķi CO₂ emisijas ir būtiski lielākas no upes vistālākajā parauglaukumā. Būtiskas atšķirības starp parauglaukumiem, kas atrodas dažādos attālumos no upes, parādās tikai pavasarī – tuvāk upei emisijas ir lielākas.

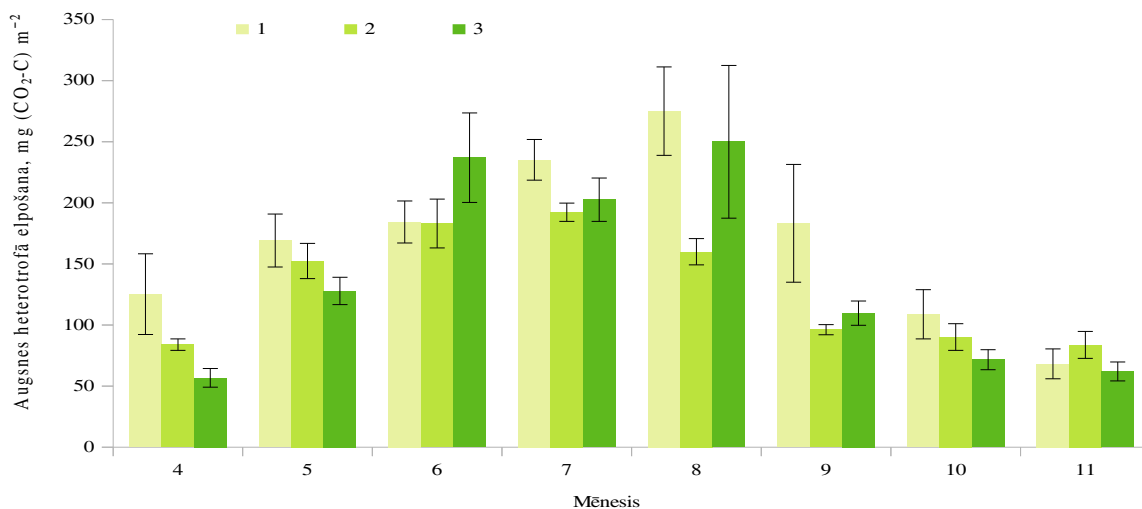
Tab. 38. Augsnes heterotrofā elpošana, mg (CO₂-C) m⁻² h⁻¹

Objekts	Mēneši							
	4	5	6	7	8	9	10	11
I Buga	36,26 ± 3,95	164,33 ± 64,17	156,42 ± 44,29	217,11 ± 20,79	242,71 ± 54,94	48,64 ± 19,73	97,2 ± 26,94	40,76 ± 9,82
II Buga	85,06 ± 7,8	141,16 ± 26,18	150,05 ± 34,27	203,51 ± 20,47	134,73 ± 8,8	106 ± 7,9	96,58 ± 20,57	53,57 ± 3,09
III Buga	67,49 ± 9,69	108,39 ± 12,51	147,41 ± 18,32	152,12 ± 11,11	87,44 ± 5,5	71,69 ± 7,67	68,23 ± 17,72	41,1 ± 3,35
I Pūre	258,47 ± 43,81	161,67 ± 20,8	211,22 ± 21,63	265,3 ± 40,67	392,6 ± 31,97	278,38 ± 78,78	157,91 ± 89,01	99,1 ± 28,63
II Pūre	81,55 ± 7,62	113,69 ± 8,67	230,63 ± 42,56	179,25 ± 7,3	147,17 ± 13,11	95 ± 6,91	127,42 ± 22,87	105,03 ± 23,24
III Pūre	38,97 ± 17,06	124,76 ± 18,91	295,21 ± 94,3	166,29 ± 19,61	211,18 ± 18,67	114,75 ± 9,81	50,19 ± 5,93	74,59 ± 16,99
I Riebiķi	110,75 ± 12,49	181,55 ± 14,1	185,34 ± 19,03	223,17 ± 21,35	189,9 ± 25,49	127,59 ± 7,42	95,81 ± 15,07	64,84 ± 4,34
II Riebiķi	85,35 ± 11,98	202,22 ± 23,2	168,59 ± 6,7	194,13 ± 6,29	198,03 ± 3,81	88,82 ± 2,75	65,23 ± 6,41	92,67 ± 13,81
III Riebiķi	63,78 ± 8,51	150,46 ± 24,09	268,3 ± 26,76	289,36 ± 20,36	451,34 ± 110,97	137,57 ± 22,48	85,8 ± 7,84	70,41 ± 9,84

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



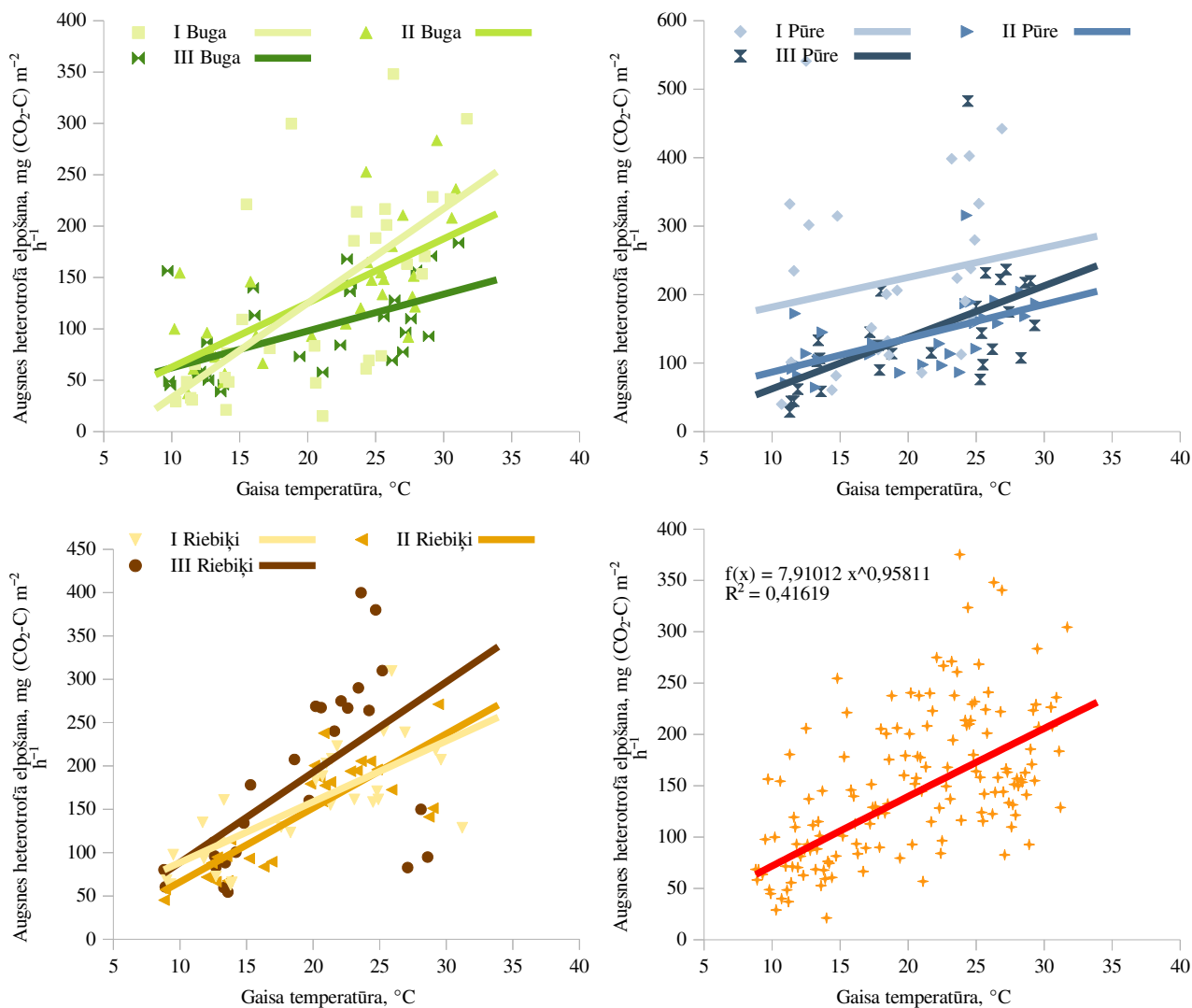
Att. 43. CO₂ emisijas no augsnes, atkarībā no mērījumu vietas.



Att. 44. Augsnes heterotrofā elpošana, atkarībā no parauglaukuma atrašanās vietas.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

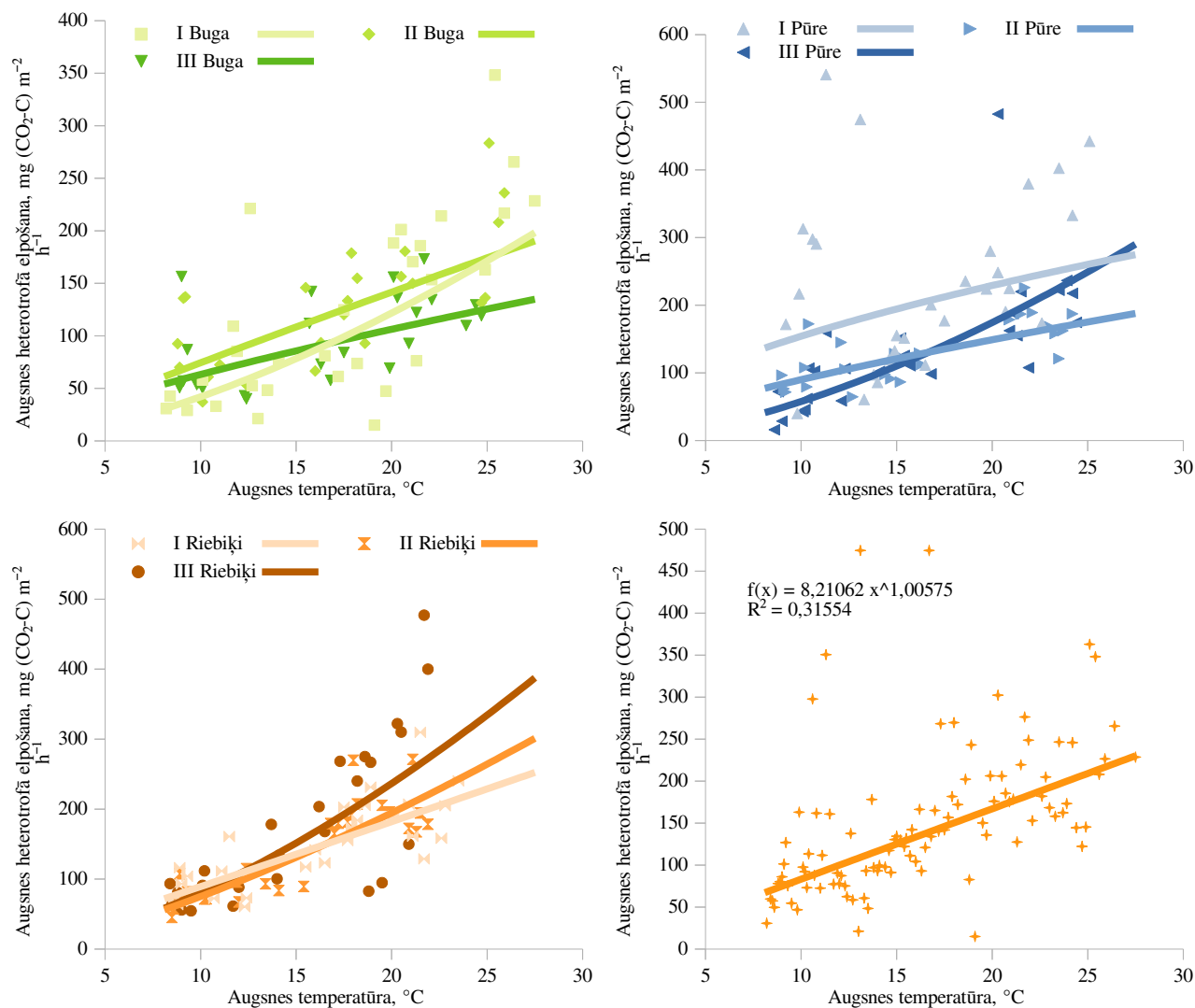
Gaisa temperatūras un SEG emisiju sakarība parādīta Att. 45. Tikai objektā Pūre pie vienādas gaisa temperatūras upes krastā ir būtiski lielākas SEG emisijas nekā tālāk no upes krasta esošajā parauglaukumā. Bugā tuvāk upei esošajās mērījumu vietās, pieaugot temperatūrai, CO₂ emisijas palielinās straujāk nekā tālāk no upes esošajās mērījumu vietās. Riebiķos, turpretim, emisijas straujāk palielinās tālāk no upes esošajās mērījumu vietās. Gaisa temperatūras un CO₂ emisiju sakarību raksturo pakāpes vienādojums. Gaisa temperatūrai pieaugot no 10 līdz 30 grādiem, CO₂ emisijas palielinās 5 reizes – no 50 līdz 250 mg CO₂-C m⁻² h⁻¹.



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

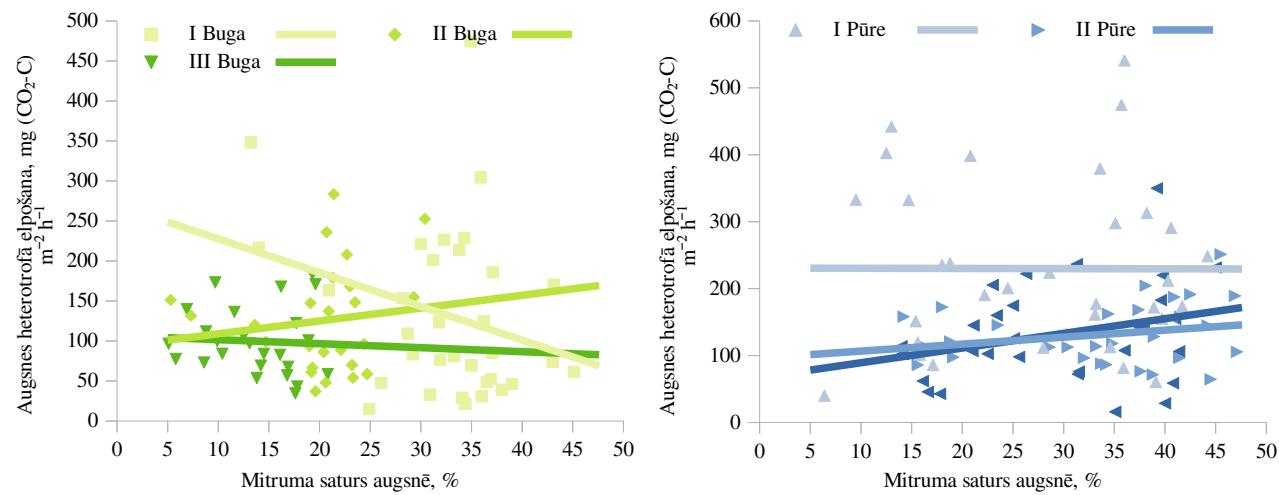
Sakarība starp CO₂ emisijām un augsnes temperatūru parādīta Att. 46. Šīs sakarības izmantošana nepalielina aprēķinu precizitāti, salīdzinot ar gaisa temperatūras datu izmantošanu.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana

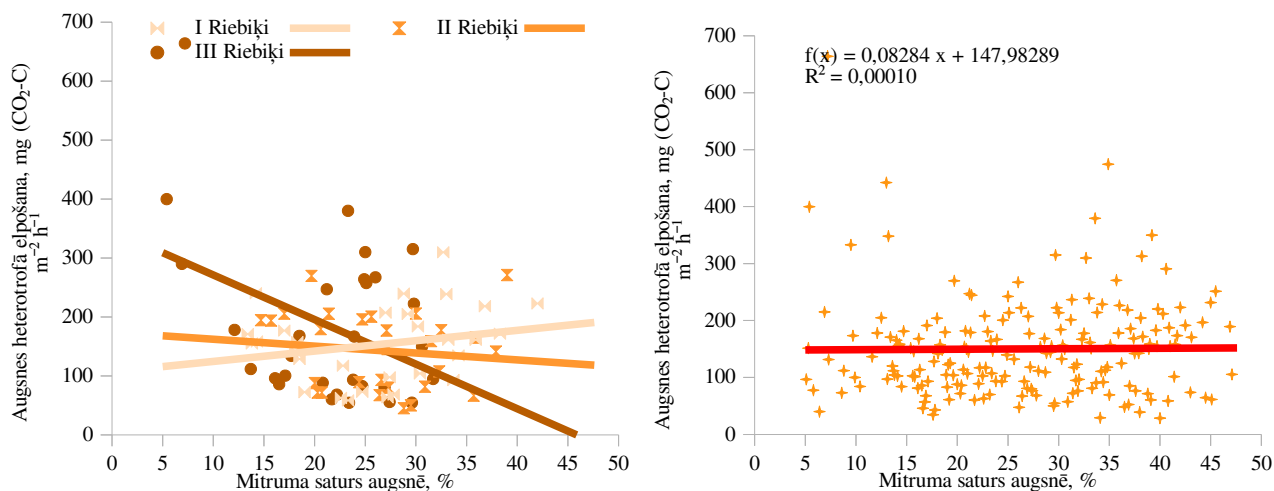


Att. 46. Augsnes heterotrofās elpošanas un augsnes temperatūras sakarība.

Augsnes virskārtas mitruma un CO₂ emisiju sakarības vērtētas Att. 47, taču korelācija nav konstatēta.

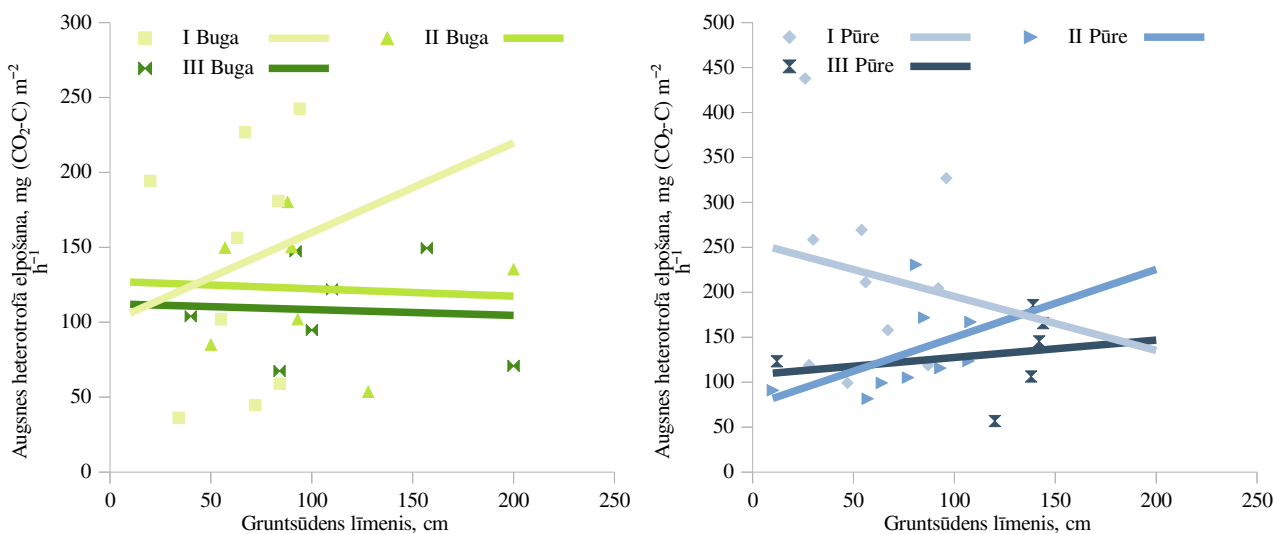


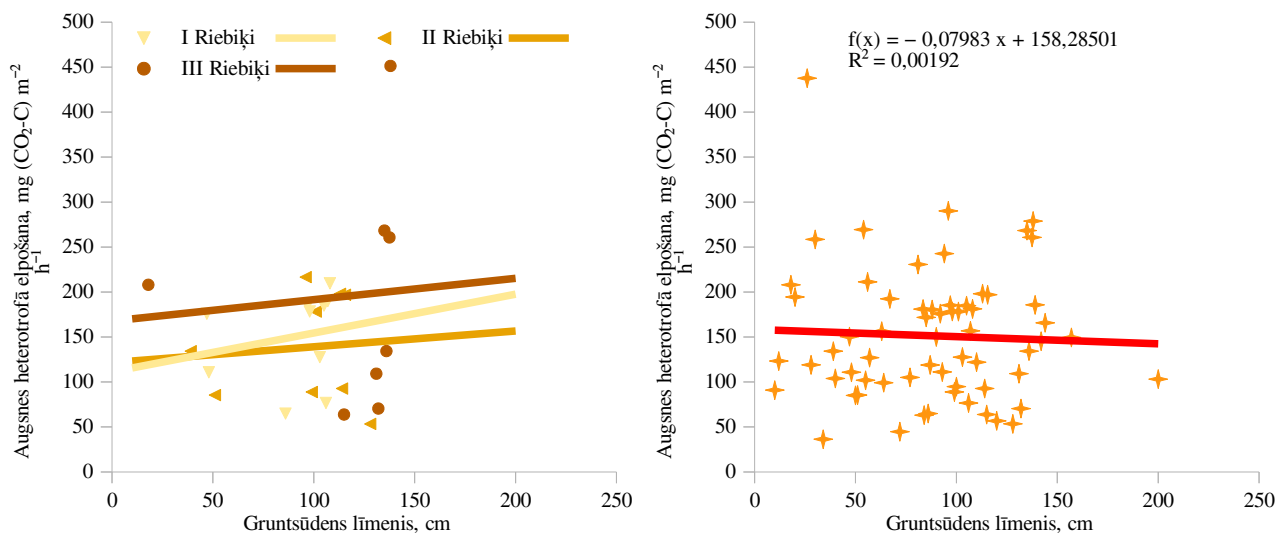
Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 47. Augsnes heterotrofās elpošanas un augsnes mitruma satura sakarība.

Gruntsūdens līmeņa un CO₂ emisiju sakarības vērtētas Att. 48. Nevienā no parauglaukumiem nav konstatēta izteikta sakarība starp šiem rādītājiem, taču sakarības trūkumu var skaidrot ar to, ka gruntsūdens līmenis pārsvarā ir dziļāk par 100 cm un CO₂ emisijas būtiski vairs neietekmē (Butlers, Lazdiņš, u.c., 2022; Butlers, Spalva, u.c., 2022).



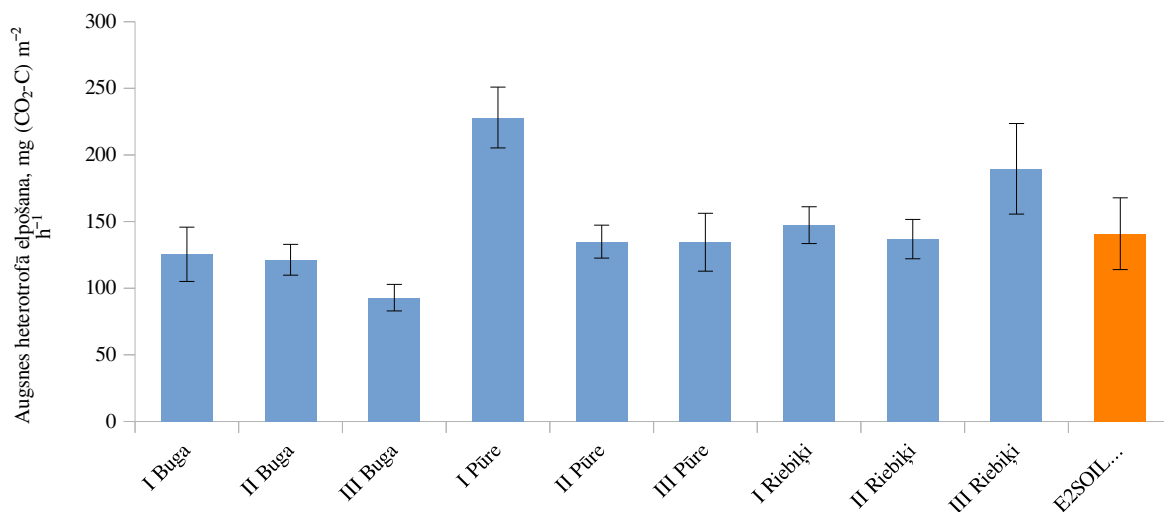


Att. 48. Augsnes heterotrofās elpošanas un gruntsūdens dziļuma sakarība.

Salīdzinot ar augsnes īpašībām, ciešākā pozitīvā korelācija ($R^2 = 0,799$) konstatēta C/N uzkrājuma attiecībai, t.i. lielākie oglekļa zudumi ir platībās ar salīdzinoši lielu oglekļa un mazu slāpekļa daudzumu augsnē. Liela pozitīva korelācija oglekļa zudumiem ir arī ar kalcija un magnija uzkrājumu augsnē (attiecīgi, $R^2 = 0,702$ un $0,433$). Organiskā oglekļa uzkrājumam augsnē ir vidēji izteikta korelācija ($R^2 = 0,337$) ar oglekļa zudumiem.

Att. 49 salīdzinātas vidējās ikmēneša emisijas dažādos parauglaukumos, kas salīdzinātas ar tajā pašā gadā veiktiem mērījumiem E2SOILAGRI projekta ietvaros tipiskās organiskās augsnēs (Lazdiņš, 2022). Grafikā redzams, ka nevienā no mērījumu vietām CO₂ emisijas nav būtiski mazākas kā organiskās augsnēs. Tas nozīmē, ka aluviālās augsnes, neskatoties uz oglekļa saturu augsnē un citiem rādītājiem ir tikpat liels CO₂ emisiju avots kā tipiskas organiskās augsnes, taču CO₂ emisijas var kompensēt ar CO₂ piesaisti ar augu atliekām, tāpēc turpmākajos pētījumos īpaša uzmanība jāpievērš oglekļa ienesi augsnē pie dažādiem apsaimniekošanas scenārijiem.

Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana



Att. 49. Vidējie ikmēneša heterotrofās elpošanas rādītāji izpētes objektos un organiskās augsnēs (E2SOILAGRI).

Pārrēķinot uz vidējām ikgadējām CO₂ emisijām, augsnes izpētes objektos zaudē 5,5-13,4 tonnas CO₂-C ha⁻¹ gadā. Oglekļa ieneses rādītāji aprēķināti, pieņemot, ka visu biomasu atstāj uz lauka, bet pazemes biomasas ieneses rādītāji aprēķināti, izmantojot Somijā izstrādātus vienādojumus oglekļa ieneses raksturošanai ar meža zemsedzes augiem (Muukkonen & Mäkipä, 2006). Oglekļa saturs augu atliekās pieņemts 50%, atbilstoši pētījuma iepriekšējos etapos gūtajām atziņām. Tuvāk upei, vietās, kur ir augstāks gruntsūdens līmenis, augsne ir neto emisiju avots, pārējās platībās var veidoties neto oglekļa piesaiste vai zudumi. Vidēji pētījumā iekļautās platības ir neliels piesaistes avots Tab. 39. Jāņem vērā, ka ne visur apstiprinās pieņēmums, ka visa virszemes biomasas paliek augsnē, tāpēc iegūtais rezultāts var būt pārāk optimistisks un aluviālās augsnes ir oglekļa zudumu avots, lai gan, atstājot biomasu uz lauka, kā tas notiek, piemēram, ganībās, oglekļa zudumus var samazināt vai pilnībā novērst.

Tab. 39. Oglekļa ieneses un zudumu no augsnes salīdzinājums

Objekts	Oglekļa zudumi no augsnes, tonnas C ha ⁻¹ gadā	Oglekļa ienese ar augu atliekām, tonnas C ha ⁻¹ gadā	Neto oglekļa zudumi no augsnes, tonnas C ha ⁻¹ gadā
III Buga	5,5	8,6	-3,2
II Buga	7,1	12,7	-5,5
I Buga	7,4	6,1	1,3
III Pūre	7,9	7,8	0,1
II Pūre	7,9	8,3	-0,4
I Pūre	13,4	10,5	2,8
III Riebiķi	11,2	10,0	1,2
II Riebiķi	8,0	10,5	-2,5
I Riebiķi	8,7	8,2	0,5

Izmantotā literatūra

1. AS "Latvijas valsts meži". (2010). *Sortimentu iznākums galvenajā un krājas kopšanas cirtē (Output of different assortments in thinning and regenerative felling)*.
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. Bārdule, A., Liepiņš, J., Liepiņš, K., Stola, J., Butlers, A., & Lazdiņš, A. (2021). Variation in Carbon Content among the Major Tree Species in Hemiboreal Forests in Latvia. *Forests*, 12(9), Art. 9. <https://doi.org/10.3390/f12091292>
4. Bardule, A., Lupikis, A., Butlers, A., & Lazdins, A. (2017). Organic carbon stock in different types of mineral soils in cropland and grassland in Latvia. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1), 3–8. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.001>
5. Bārdule, A., Petaja, G., Butlers, A., Purviņa, D., & Lazdiņš, A. (2021). Estimation of litter input in hemi-boreal forests with drained organic soils for improvement of GHG inventories. *BALTIC FORESTRY*, 27(2), Art. 2. <https://doi.org/10.46490/BF534>
6. Behnke, G. D., & Villamil, M. B. (2019). Cover crop rotations affect greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. *Field Crops Research*, 241, 107580. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107580>
7. Blain, D., Boer, R., Eggleston, S., Gonzalez, S., Hiraishi, T., Irving, W., Krug, T., Krusche, A., Mpetta, E. J., Penman, J., Pipatti, R., Sturgiss, R., Tanabe, K., & Towprayoon, S. (2013). *2013 Supplement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (Wetlands Supplement)* (lpp. 339).
8. Butlers, A., Bārdule, A., Spalva, G., & Muižnieks, E. (2021). N₂O and CH₄ emissions from naturally wet and drained nutrient-rich organic forest soils. *Proceedings of the International Scientific Conference "Rural Development"*, 196–200. <https://doi.org/10.15544/RD.2021.030>
9. Butlers, A., Lazdiņš, A., Kalēja, S., & Bārdule, A. (2022). Carbon Budget of Undrained and Drained Nutrient-Rich Organic Forest Soil. *Forests*, 13(11), 1790. <https://doi.org/10.3390/f13111790>
10. Butlers, A., Spalva, G., Licite, I., & Purvina, D. (2022). Carbon dioxide (CO₂) emissions from naturally wet and drained nutrient-rich organic forests soils. *Engineering for Rural Development*, 577–582. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF190>
11. Chen, Peter Y.; Popovich, Paula M.'s *Correlation: Parametric and Nonparametric Measures 1st*. (2002). Sage Publications, Inc.
12. Coffman, D. L., Maydeu-Olivares, A., & Arnau, J. (2008). Asymptotic distribution free interval estimation: For an intraclass correlation coefficient with applications to longitudinal data. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 4(1), 4–9. <https://doi.org/10.1027/1614-2241.4.1.4>
13. Čuhel, J., Šimek, M., Laughlin, R. J., Bru, D., Chêneby, D., Watson, C. J., & Philippot, L. (2010). Insights into the Effect of Soil pH on N₂O and N₂ Emissions and Denitrifier Community Size and Activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(6), 1870–1878. <https://doi.org/10.1128/AEM.02484-09>
14. Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P.-A., & Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the

- ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, 185, 357–373.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.013>
15. De Notaris, C., Mortensen, E. Ø., Sørensen, P., Olesen, J. E., & Rasmussen, J. (2021). Cover crop mixtures including legumes can self-regulate to optimize N₂ fixation while reducing nitrate leaching. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 309, 107287.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107287>
16. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Kiyoto, T. (Red.). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. No 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Sēj. 4, lpp. 678). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
17. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanade, K. (Red.). (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories Volume 2 Energy*. The Institute for Global Environmental Strategies.
18. Fleck, D., He, Y., Ilexander, C., Jacobson, G., & Cunningham, K. L. (2013). *Simultaneous soil flux measurements of five gases—N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, and H₂O -- with the Picarro G2508* (Application note Nr. AN034; lpp. 11). Picarro.
https://www.picarro.com/support/library/documents/simultaneous_soil_flux_measurements_of_five_gases_n2o_ch4_co2_nh3_and_0
19. Hiraiishi, 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
20. Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>
21. Kalēja, S. (2018). *Complex utilization of compact class forest machines*. Joint seminar and workshop of the CAR-ES network and the SNS-120 project, Helsinki.
22. Lazdiņš, A. (2012). *Stādīšanas un agrotehniskās kopšanas darba ražīguma novērtējums (Pārskats par līgumpētījuma pirmajā etapā paredzēto darbu izpildi)* (2010/0255/2DP/2.1.1.1.0/APIA/VIAA/174 (2012.R01); lpp. 63).
23. 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.
24. Lazdiņš, A. (2022, augustā 11). *Sub-activity 2.1. Establishment of a national soil carbon monitoring system and activity 3. Development of GHG emission factors and drafting of proposals for the inclusion of the elaborated emission factors into the national GHG inventory report*. E2SOILAGRI progress meeting, Salaspils.
25. Lazdiņš, A., Lupiķis, A., Butlers, A., Bārdule, A., Kārklīņa, I., Šņepsts, G., & Donis, J. (2019). *Latvia's national forestry accounting plan and proposed forest reference level 2021-2025* (lpp. 200). LSFRI Silava.
https://www.researchgate.net/publication/338187883_Latvia's_national_forestry_accounting_plan_and_proposed_forest_reference_level_2021-2025
26. Lazdiņš, A., Šņepsts, G., Petaja, G., & Kārklīņa, I. (2019). Verification of applicability of forest growth model AGM in elaboration of forestry projections for National forest reference level. *Rural Development*, 289–294. <https://doi.org/10.15544/RD.2019.065>
27. Liepiņš, J., Lazdiņš, A., & Liepiņš, K. (2017). Equations for estimating above- and belowground

- biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. And European aspen in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1–43. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1337923>
28. Liepiņš, J., Liepiņš, K., & Lazdiņš, A. (2021). Equations for estimating the above- and belowground biomass of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) and common alder (*Alnus glutinosa* L.) in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1937696>
29. Lupiķis, A. (2017, janvārī 27). *Yasso modeļa pielietošana minerālaugsnēs meža un lauksaimniecības zemēs*. AS "Latvijas Valsts meži" Konsultatīvās zinātniskās padomes sēde, Rīga.
30. LVĢMC. (2022). *Klimata portāls. Atlanti. Laika apstākļu raksturojums*. https://klimats.meteo.lv/laika_apstaklu_raksturojums/2022/oktobris/
31. LVMI Silava. (2022). *Latvijai piemērotākā mežsaimniecības attīstības scenārija izvērtēšana iespējamā Eiropas līmeņa zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora siltumnīcefekta gāzu emisiju un piesaistes uzskaites regulējuma pārskatīšanā* (lpp. 94).
32. McSwiney, C. P., & Robertson, G. P. (2005). Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Global Change Biology*, 11(10), 1712–1719. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01040.x>
33. Ministry of Environmental Protection and Regional Development. (2020). *Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto protocol Common Reporting Formats (CRF) 1990 – 2018* (lpp. 519). Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. <https://unfccc.int/documents/227704>
34. Ministry of Environmental Protection and Regional Development. (2021). *Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto protocol Common Reporting Formats (CRF) 1990 – 2019* (lpp. 545). Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. <https://unfccc.int/documents/271530>
35. Muukkonen, P., & Mäkipä, R. (2006). Empirical-biomass models of understorey vegetation in boreal forests according to stand and site attributes. *Boreal Environment Research*, 11.
36. Nguyen, L. T. T., & Kravchenko, A. N. (2021). Effects of cover crops on soil CO₂ and N₂O emissions across topographically diverse agricultural landscapes in corn-soybean-wheat organic transition. *European Journal of Agronomy*, 122, 126–189. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126189>
37. Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*, 76(3), 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
38. Petaja, G., Okmanis, M., Polmanis, K., Stola, J., Spalva, G., & Jansons, J. (2018). Evaluation of greenhouse gas emissions and area of organic soils in cropland and grassland in Latvia – integrated National forest inventory data and soil maps approach. *Agronomy Research*, 16(4), 1809–1823. <https://doi.org/10.15159/ar.18.183>
39. Priede, A., & Gancone, A. (Red.). (2019). *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas*. Baltijas Krasti.
40. Rüter, S. (2011). *Projection of Net-Emissions from Harvested Wood Products in European Countries* (Work Report No. 2011/x of the Institute of Wood Technology and Wood Biology; lpp. 62). Johann Heinrich von Thünen-Institute (vTI).
41. Šņepsts, G., Kārklīņa, I., Lupiķis, A., Butlers, A., Bārdule, A., & Lazdiņš, A. (2018). *AGM model description* (Draft Nr. 2018-01–1; Elaboration of forest reference level for Latvia for the period between 2021 and 2025, lpp. 98). LSFRI Silava. <https://drive.google.com/open?>

id=1VeylfH2F8angICoU1QfnUGPwBI29ezBX

42. Venterea, R. T., Halvorson, A. D., Kitchen, N., Liebig, M. A., Cavigelli, M. A., Grosso, S. J. D., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Spokas, K. A., Singh, B. P., Stewart, C. E., Ranaivoson, A., Strock, J., & Collins, H. (2012). Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(10), 562–570. <https://doi.org/10.1890/120062>
43. Zimelis, A., Lazdiņa, D., & Lazdāns, V. (2012). *Jaunaudžu kopšanas un agrotehniskās kopšanas darbu ražīguma un pašizmaksas izpēte.*