

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

ATSKAITE PAR 2019. GADA DARBA UZDEVUMU IZPILDI

IZPILDES LAIKS: 27.04.2019-15.11.2019

IZPILDĪTĀJS: LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"

LĪGUMA NR. 10 9.1-11/19/1748-E

PROJEKTA VADĪTĀJS:

A. Lazdiņš

Kopsavilkums

Pētījuma mērķis ir pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmu un pilnveidot, kā arī izstrādāt jaunus metodiskos risinājumus SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķiniem.

Pētījumā izstrādātos risinājumus paredzēts izmantot nacionālās SEG inventarizācijas pilnveidošanai, novērtējot augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas un SEG emisijas lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Pētnieciskie uzdevumi:

1. Pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites un ziņošanas sistēmu.
2. Raksturot minimālas augsnes apstrādes ietekmi uz SEG emisijām LLU mācību pētījumu saimniecībā "Pēterlauki".
3. Pilnveidot minerālaugšņu oglekļa uzkrājumu modelēšanas instrumentu Yasso.
4. Iegūt galveno lauksaimniecības kultūru biomasas datus un izstrādāt biomasas pārrēķinu vienādojumus.

Saturs

Minimālas augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām.....	8
Attālās izpētes tehnoloģiju izmantošana aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošanai.....	10
Metodika grāvju un noteces režīmu ietekmējošo dabisko straumju tīkla ģenerēšana un caurteku dešifrēšanai.....	11
Materiāli un metodes.....	12
Rezultāti un diskusija.....	15
Secinājumi.....	16
Pārmitro iepaklu identificēšanas metožu aprobēšana lauksaimniecībā izmantojamās zemēs hidroloģiskā režīma raksturošanai.....	17
Izzinātības apskats.....	18
Pētījuma teritorijas.....	27
Metodika.....	31
Rezultāti un diskusija.....	46
Secinājumi.....	59
Galveno lauksaimniecības kultūru biomasas dati un biomasas pārrēķinu vienādojumi.....	61
Augsnes īpašības izmēģinājumu platībās.....	62
Oglekļa un slāpekļa saturs biomasā.....	71
Biomasas datu kopsavilkums.....	79
SEG emisijas no minerālaugsnes.....	94
Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām.....	94
Graudaugi.....	96
Tauriņzieži.....	97
Eļļaugi.....	98
Augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām.....	99
Materiāli un metodes.....	101
Pētījuma objekta raksturojums.....	101
Mērījumu veikšana ar Picarro.....	105
Iekārtas un aprīkojums.....	105
Datu analīzes metodes.....	107
Rezultāti.....	109
SEG mērījumu rezultāti.....	109
Augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām.....	114
Augsnes apstrādes un kultūru ietekme uz SEG emisijām.....	117
Augsnes temperatūras, augsnes mitruma un SEG emisiju savstarpējā ietekme.....	120
Nokrišņu daudzuma ietekme uz SEG emisijām.....	122

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. Pēc 2020. gada ilggadīgo zālāju un aramzemju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes ziņošana kļūs obligāta visām Eiropas Savienības valstīm.

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. Pēc 2020. gada ziņošanu par SEG emisijām no aramzemēm un zālājiem notiks atbilstoši Eiropas Parlamenta un Padomes Regulai 2018/841 par zemes izmantošanā, zemes izmantošanas maiņā un mežsaimniecībā radušos siltumnīcefekta gāzu emisiju un piesaistes iekļaušanu klimata un enerģētikas politikas satvarā laikposmam līdz 2030. gadam un ar ko groza Regulu (ES) Nr. 525/2013 un Lēmumu Nr. 529/2013/ES. Saskaņā ar šo regulu SEG emisiju uzskaitē ir jāatgriežas pie zemes izmantošanā nevis darbībās balstītām metodēm.

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 (IPCC 2006) un 2013. gada pārstrādātajiem papildus metodiskajiem norādījumiem un labas prakses vadlīnijām, kas izriet no Kioto protokola prasībām (IPCC 2014).

Par uzskaites periodu, kas sāksies 2021. gada 1. janvārī, Latvijai būs jā sagatavo un jāuztur ikgadēja uzskaitē, kurā pareizi jāatspoguļo visas emisijas un piesaiste, kas to teritorijā rodas darbībās, kuras ietilpst šādās kategorijās: aramzemes un ilggadīgie zālāji, bet pēc 2026. gada 1. janvāra – arī no apsaimniekotām mitrzemēm.

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

Pētījuma ietvaros risināti jautājumi, 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 un CH₄ emisijas no minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Pētījuma rezultātus izmantosim šādu starptautisko ziņojumu pilnveidošanai:

- Divgadu ziņojums un valstu nacionālais ziņojums saskaņā ar EK Īstenošanas Regulas 749/2014 18.pantu, kā arī lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu;
- Ziņošana par emisijām un piesaisti, ko rada aramzemes apsaimniekošana un ganību apsaimniekošana (Lēmuma Nr. 529/2013/ES izpildei) saskaņā ar EK Īstenošanas Regulas 749/2014 40.pantu; kā arī lēmumiem COP 6/CMP.9 un 2/CMP.8;
- Ziņojums par politiku un pasākumiem saskaņā ar Regulas 525/2013 13. pantu;
- Ziņojums par prognozēm saskaņā ar 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;
- Ziņojums par ieviestajām ziņošanas prasībām attiecībā uz aramzemes un ganību apsaimniekošanas nacionālām sistēmām saskaņā ar EK Regulas 749/2014 39. pantu, kā arī lēmumiem COP 19/CMP.1 un 24/CP.19;
- Nacionālais mežsaimniecības uzskaites plāns, kurā ietver atjaunināto dalībvalsts meža references līmeni, atbilstoši Eiropas Parlamenta un Padomes regulas priekšlikumam par zemes izmantošanā, zemes izmantošanas maiņā un mežsaimniecībā radušos siltumnīcefekta gāzu emisiju un piesaistījumu iekļaušanu klimata un enerģētikas politikas satvarā laikposmam līdz 2030.

gadam un ar ko groza Eiropas Parlamenta un Padomes Regulu Nr. 525/2013 par mehānismu siltumnīcefekta gāzu emisiju pārraudzībai un ziņošanai un citas informācijas ziņošanai saistībā ar klimata pārmaiņām.

Pētnieciskie uzdevumi:

1. Pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites un ziņošanas sistēmu.
2. Raksturot minimālas augsnes apstrādes ietekmi uz SEG emisiju LLU mācību pētījumu saimniecībā "Pēterlauki":
 - 2.1. ar Picarro G2508 gāzu analizatoru noteikt CO₂, CH₄ un N₂O emisiju no lauksaimniecībā izmantojamās zemes (LIZ) atkarībā no augsnes apstrādes veida un kultūraugu sugas (trīs laukaugu sugas, divi augsnes apstrādes paņēmieni);
 - 2.2. raksturot augsnes apstrādes veida un kultūraugu sugas ietekmi uz SEG emisiju izpētes teritorijā, tostarp novērtēt augsnes mitruma, ķīmiskā sastāva, gaisa temperatūras, nokrišņu un mēslojuma izkliedēšanas ietekmi uz SEG emisiju.
3. Iegūt galveno lauksaimniecības kultūru biomasas datus un izstrādāt biomasas pārrēķinu vienādojumus:
 - 3.1. oglekļa ieneses (*ar virszemes un pazemes biomasu*) raksturošana saimnieciski nozīmīgākajām laukaugu kultūrām konvencionālajās un bioloģiskajās saimniecībās (*tajā skaitā ilggadīgie zālāji, ziemas kvieši, vasaras kvieši, vasaras mieži, ziemas rapsis, papuve, auzas, kukurūza un aramzemē sēts stiebrzāļu un lopbarības zālaugu (ieskaitot proteīnaugus) maisījums konvencionālajās saimniecībās un auzas, vasaras kvieši, griķi, ziemas kvieši, vasaras mieži, auzas ar stiebrzāļu pasēju un sarkanais āboliņš bioloģiskajās saimniecībās*);
 - 3.2. katrai laukaugu kultūrai, izņemot papuvi, paredzēti divi mēslošanas režīmi, divas šķirnes (*vai sēklu maisījumi*) un divi reģionāli atkārtojumi. Biomasas uzskaitē turpināsies 2 sezonas, lai iegūtu reprezentablas datu kopas.
4. Attālās izpētes tehnoloģiju izmantošana aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošanai:
 - 4.1. metodikas izstrādāšana grāvju un noteces režīmu ietekmējošo dabisko straumju tīkla ģenerēšana hidroloģiskā režīma modeļošanai, izmantojot LiDAR datus;

4.2. caurteku dešifrēšanas metodikas izstrādāšana hidroloģiskā režīma modelēšanai, izmantojot LiDAR datus;

4.3. pārmitro ieplaku identificēšanas metožu aprobēšana lauksaimniecībā izmantojamās zemēs hidroloģiskā režīma raksturošanai.

Pētījuma izpildē iesaistīts Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava" (1. un 4. darba uzdevumi), Agroresursu un ekonomikas institūta Stendes pētniecības centrs (3. darba uzdevums) un Latvijas Lauksaimniecības universitāte (2. darba uzdevums).

Minimālas augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām

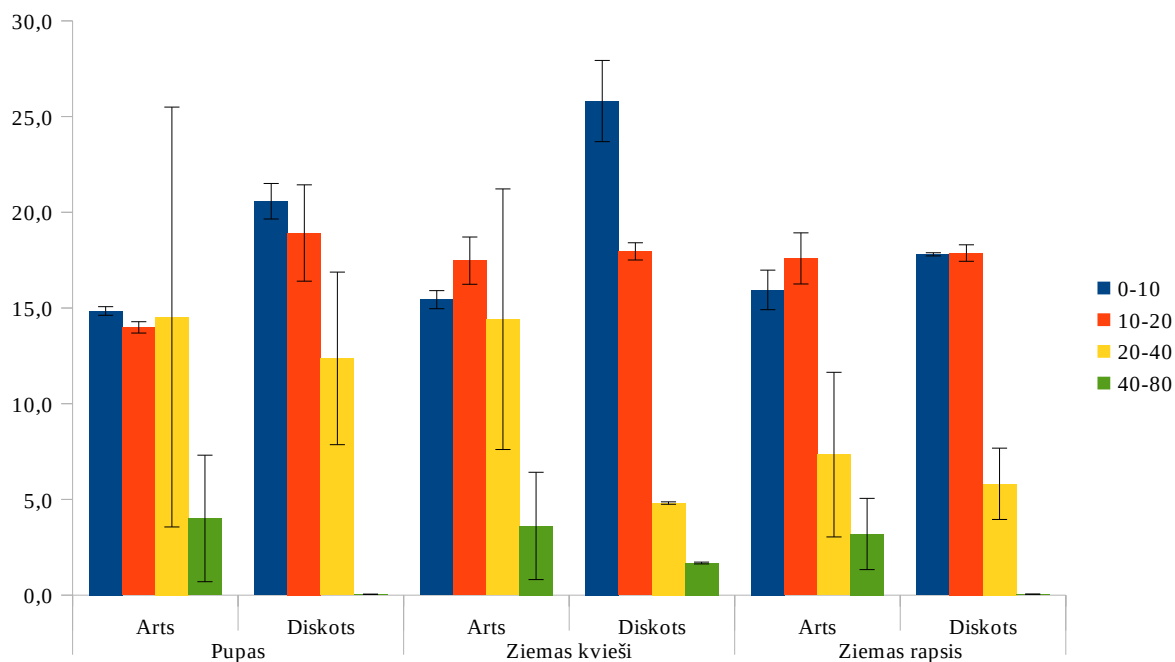
Pētījuma mērķis ir raksturot minimālas augsnes apstrādes ietekmi uz SEG emisijām veģetācijas sezonas laikā. Darba uzdevumi 2019. gadā:

- noteikt CO₂, CH₄, N₂O emisijas no LIZ, atkarībā no augsnes apstrādes veida un kultūraugu sugas (mērījumus plānots turpināt 2019. gadā);
- izmēģinājumos iekļaut vismaz 3 kultūraugu sugas un 2 augsnes apstrādes paņēmienus (minimāla apstrāde un aršana).

2019. gadā turpināti 2018. gadā uzsāktie mērījumi. Pētījumā izmantots Picarro G2508 gāzu analizators, veicot mērījumus vidēji 2 reizes mēnesī no aprīļa līdz oktobrim, šos mēnešus ieskaitot. Novembrī veikta iegūto datu analīze un sagatavots starpziņojums par augsnes apstrādes veida un kultūraugu sugas ietekmi uz SEG emisijām raksturojumu izpētes teritorijā.

Saskaņā ar 2019. gadā veikto augsnes analīžu rezultātiem organiskā oglekļa saturs ir būtiski lielāks diskotajās platībās 0-10 cm dziļumā, bet dziļākajos augsnes slāņos būtiskas atšķirības nav konstatētas (Att. 1). Vidējie oglekļa uzkrājuma rādītāji visos augsnes slāņos (artajā platībā $47,5 \pm 4,1$ tonnas C ha⁻¹ un $47,9 \pm 2,6$ tonnas C ha⁻¹) būtiski neatšķiras.

Būtiski, ka izmēģinājumu objektā augsnes oglekļa uzkrājums ir salīdzinoši neliels – 65% no vidējā oglekļa uzkrājuma lauksaimniecībā izmantojamās augsnēs ar līdzīgu granulometrisku sastāvu (Lazdiņš et al., 2013; Lupikis et al., 2017). Tas nozīmē, ka oglekļa uzkrājuma izmaiņas šajā platībā var būt saistītas ar oglekļa akumulāciju noplicinātā augsnē, kurā vēl nav sasniegts līdzsvara stāvoklis, tāpēc izmēģinājuma teritorija jāpaplašina, aptverot dažādus augšņu tipus, kas raksturo dažādas apsaimniekošanas sistēmas.



Att. 1: Augsnes analīžu rezultāti.

Pētījumu veica Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Pētījuma 2019. gada darbi izpildīti pilnā apjomā. Pētījuma pārskats pievienots 1. pielikumā.

Attālās izpētes tehnoloģiju izmantošana aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošanai

Informācija un zināšanas par grāvju tīklu, tā funkcijām, stāvokli un morfoloģiju ir nepieciešamas plūdu riska un sateces baseina apsaimniekošanas plānošanā. Līdz ar to, kvalitatīvi dati par hidrogrāfisko tīklu, tā stāvokli, caurtekām un savienojamību ir ļoti būtiski plānojot pasākumus ar mērķi pielāgoties klimata pārmaiņām un mazināt plūdu risku (arros-Levasseur, 2014).

Augštecē grāvji samazina plūdu risku pavasara palu periodā, kā arī pēc intensīva lietus, akumulē ūdeni un novada to uz lejtecē esošiem ūdensobjektiem, tomēr ierobežotas noteces apstākļos, lejtecē var veidoties paaugstināts plūdu risks. Šī iemesla dēļ, grāvjus un to elementus, piemēram, caurtekas ir nepieciešams uzturēt un nodrošināt to funkcionēšanu (Moussa et al., 2002).

Grāvju un savienojumu ar pārējo hidrogrāfisko tīklu identificēšana var palīdzēt pieņemt lēmumus saistībā ar ūdens resursu apsaimniekošanu un kvalitātes kontroli un riskiem, kā arī šāda veida dati var tikt izmantoti turpmākā vides procesu modelēšanā (Roelens et al., 2018).

Pētījuma mērķis ir pilnveidot aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmu, kā arī pilnveidot un izstrādāt jaunus metodiskus risinājumus SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķiniem.

Darba uzdevumi:

- metodikas izstrādāšana grāvju un noteces režīmu ietekmējošo dabisko straumju tīkla ģenerēšana hidroloģiskā režīma modelēšanai, izmantojot LiDAR datus;
- caurteku dešifrēšanas metodikas izstrādāšana hidroloģiskā režīma modelēšanai, izmantojot LiDAR datus;
- pārmitro ieplaku identificēšanas metožu aprobēšana lauksaimniecībā izmantojamās zemēs hidroloģiskā režīma raksturošanai.

Metodika grāvju un noteces režīmu ietekmējošo dabisko straumju tīkla ģenerēšana un caurteku dešifrēšanai

Šajā nodaļā apkopoti darba uzdevumu “Metodikas grāvju un noteces režīmu ietekmējošo dabisko straumju tīkla ģenerēšana hidroloģiskā režīma modelēšanai, izmantojot LiDAR datus” un “Caurteku dešifrēšanas metodika hidroloģiskā režīma modelēšanai, izmantojot LiDAR datus” rezultāti.

Ūdens plūst Zemes gravitācijas spēka ietekmē un akumulējas reljefa zemākajās vietās. Atkarībā no nogulumu granulometriskajām īpašībām ūdens iefiltrējas augsnē vai arī uzkrājas reljefa pazeminājumos (Zinko et al., 2005). Virszemes un pazemes ūdens plūsma gandrīz vienmēr sakrīt ar reljefa nogāzes virzienu (Burt and Butcher, 1985). Informācija par pārmitro teritoriju telpisko izplatību ir nozīmīga gan no zinātniskā, gan saimnieciskās darbības plānošanas, īpaši lauksaimniecībā (McNabb et al., 2001). Šī informācija var palīdzēt izskaidrot bioloģiskos, hidroloģiskos, ķīmiskos un citus procesus (Detenbeck et al., 1999).

Dažādi hidroloģiskie indeksi izmantoti, lai raksturotu hidroloģisko procesu telpiskās likumsakarības. Tos izmanto arī, lai identificētu ūdens plūsmas virzienus (Robson et al., 1992), lai raksturotu bioloģiskos procesus, piemēram, gada neto biomasas produkciju (White and Running, 1994) vai veģetāciju (Moore et al., 1993). Priekšnosacījums hidroloģisko indeksu aprēķināšanai ir pēc iespējas precīzāks Zemes virsmas attēlojums digitālajā reljefa modelī, kuram pēc nepieciešamības ir jāveic koriģēšana, noņemot virsmas artefaktus, kas rada dambja efektu (Lidberg et al., 2017). Pie tam dažādas izšķirtspējas DEM (*digital elevation model*) sniedz atšķirīgus rezultātus, tāpēc ir jāizvērtē, kādas izšķirtspējas dati konkrētam pētījumam ir nepieciešami (Yang et al., 2014).

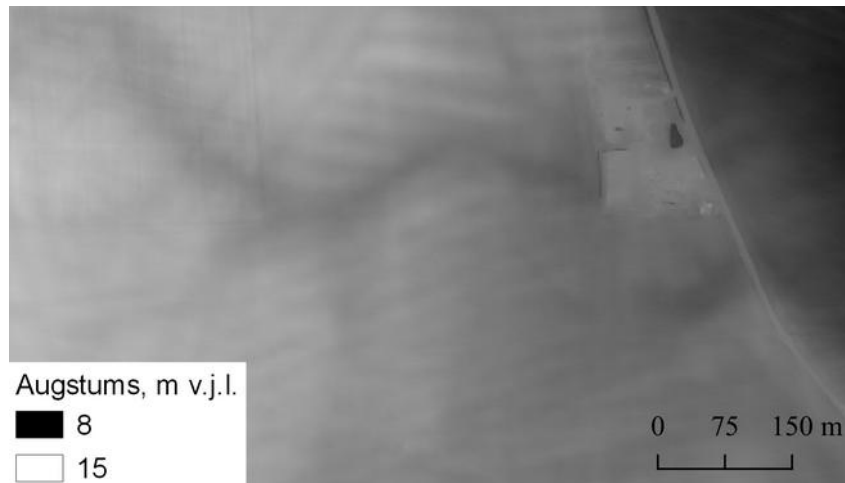
Iepriekšējie pētījumi par automātisku grāvju caurteku identificēšanu reljefa modeli sākti salīdzinoši nesen (Roelens et al., 2018). Pirms tam pētījumos, kuros identificēts grāvju tīkls, nepieciešamība pēc caurteku identificēšanas ir ietilpusi tikai nākotnes plānos (Cazorzi et al., 2013; Sofia et al., 2011).

Caurteku identificēšanā būtisks faktors ir iespēja noteikt grāvja elementa sākuma un beigu šūnas plūsmas virzienu. Pētījumā Nīderlandē (Roelens et al., 2018) papildus plūsmas virziena noteikšanai grāvju galos izmantotas arī vairākas citas pieejas. Piemēram – katrs individuāls grāvja posms var tikt savienots tikai ar vienu no tuvumā esošajiem beigu posmiem, savienoties var tikai posmi ar noteiktu maksimālo augstuma starpību, kā arī savienojums nevar šķērsot citus, jau esošus grāvju posmus. Šādi nosacījumi ļauj izvairīties no dažādiem traucējumiem savienojot grāvjus un apvieno tikai tuvumā esošus un vienā virzienā plūstošus grāvjus. Iegūtās grāvju savienojumu vietas pārbaudītas ar mērījumiem lauka apstākļos. Pārbaudot 68 modelēšanas procesā iegūtās caurtekas, atrastas bija tikai 23 (Roelens et al., 2018).

Tomēr jāņem vērā, ka dotajā pētījumā grāvju savienojumi meklēti 100 m rādiusā, tādējādi radot salīdzinoši daudz nepatiesus savienojumus.

Materiāli un metodes

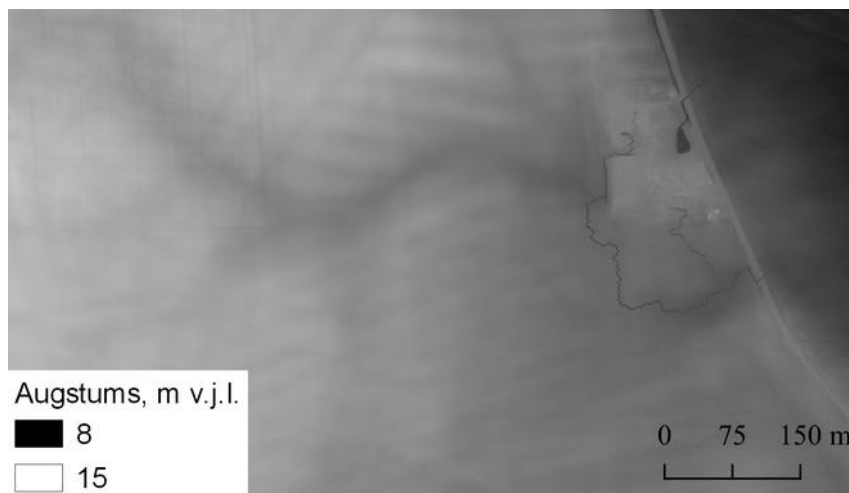
Straumju un noteces modelēšana notiek izmantojot koriģētu DEM (Att. 2). Korekcijas nepieciešamas, lai reljefa modeli noņemtu cilvēka radītos vides artefaktus kā, piemēram, caurtekas vai tiltus. Ja korekcijas netiek veiktas, tad šie artefakti noteces modelēšanas laikā veido dambim līdzīgas struktūras un teritorijas, kas atrodas augšup pa nogāzi no šķēršļa, mākslīgi „aplūst”. Literatūrā sastopami vairāki metodoloģiski risinājumi, kā piemēram, ieplaku aizpildīšana (*Fill sinks*, Att. 3), beznoteces ieplaku likvidēšana, izgriežot uz to pazeminājumu (*Breaching*, Att. 4), kā arī ir iespējams veikt grāvju un ceļu krustojumu iededzināšana reljefa pazeminājumu veidā (nepieciešami grāvju un ceļu vektoru dati, kas savā starpā krustojas).



Att. 2: Digitālais reljefa modelis.



Att. 3: Ar *Fill Sinks* pārveidots DEM.



Att. 4: Ar *Breach depressions* pārveidots DEM

Noteces modelēšanai ĢIS programmās ir pieejami dažādi algoritmi. Daļa no tiem balstās uz sateces baseina lieluma aprēķiniem, tādējādi ģenerējot rastra slāņus, kuros reprezentētās šūnas norāda uz teorētisko reljefā augšupesošo šūnu skaitu no kurām caur aprēķinu šūnu var notikt notece. Citi algoritmi balstās uz straumju modelēšanu pamatojoties uz konkrētām sateces baseina robežvērtībām, kuras attiecīgi nosaka straumes sākuma punktu. Savukārt šīs robežvērtības lielums ir tieši atkarīgs no konkrētās teritorijas augšņu granulometriskā sastāva infiltrācijas spējām (Tab. 1).

Tab. 1: Dažādu augsnes cilmiežu infiltrācijas īpašības (“Hydraulic Conductivity and Permeability of Various Soil Types,” n.d.).

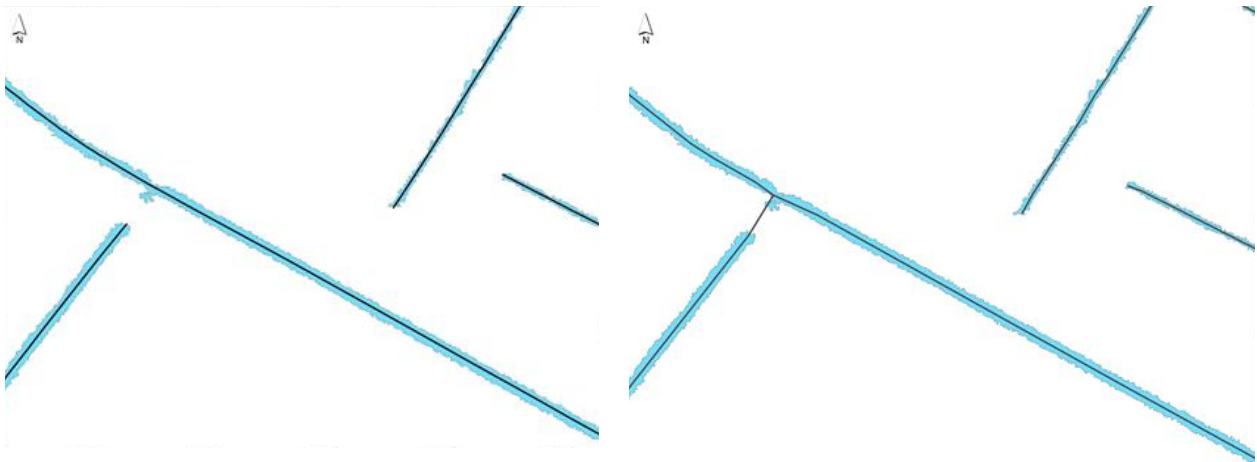
Soil Description	Hydraulic Conductivity, k (m^*s^{-1})	
	min	max
Fine Sand	0,00000 020 000 000	0,00020 000 000 000
Medium Sand	0,00000 090 000 000	0,00050 000 000 000
Coarse Sand	0,00000 090 000 000	0,00600 000 000 000
Sand; Clean; Good Aquifer	0,00001 000 000 000	0,01000 000 000 000
Sand/Gravelly Sand; Poorly Graded; Little to No Fines	0,00002 550 000 000	0,00053 500 000 000
Sand/Gravelly Sand; Well Graded; Little to No Fines	0,00000 001 000 000	0,00000 100 000 000
Inorganic Silty Fine Sand/Clayey Fine Sand; Slight Plasticity	0,00000 000 500 000	0,00000 100 000 000
Silty Sand	0,00000 001 000 000	0,00000 500 000 000
Clayey Sand	0,00000 000 550 000	0,00000 550 000 000
Alluvial Gravel/Sand	0,00040 000 000 000	0,00400 000 000 000
Sand/Gravel; Uniform	0,00400 000 000 000	0,40000 000 000 000
Sand/Gravel; Well Graded; No fines	0,00004 000 000 000	0,00400 000 000 000
Gravel	0,00030 000 000 000	0,03000 000 000 000
Gravel/Sandy Gravel; Well Graded; Little to No Fines	0,00050 000 000 000	0,05000 000 000 000

Attālās izpētes tehnoloģiju izmantošana aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošanai

Soil Description	Hydraulic Conductivity, k (m ³ s ⁻¹)	
	min	max
Gravel/Sandy Gravel; Poorly Graded; Little to No Fines	0,00050 000 000 000	0,05000 000 000 000
Silty Gravel/Silty Sandy Gravel	0,00000 005 000 000	0,00000 500 000 000
Clayey Gravel/Clayey Sandy Gravel	0,00000 000 500 000	0,00000 500 000 000
Inorganic Silt; High Plasticity	0,00000 000 010 000	0,00000 005 000 000
Silt; Compacted	0,00000 000 070 000	0,00000 007 000 000
Inorganic Clay/Silty Clay/Sandy Clay; Low Plasticity	0,00000 000 050 000	0,00000 005 000 000
Organic Clay/Silty Clay; Low Plasticity	0,00000 000 500 000	0,00000 010 000 000
Marine Clay; Unweathered	0,00000 000 000 080	0,00000 000 200 000
Organic Clay; High Plasticity	0,00000 000 050 000	0,00000 010 000 000
Inorganic Clay; High Plasticity	0,00000 000 010 000	0,00000 010 000 000
Clay	0,00000 000 001 000	0,00000 000 470 000
Clay; Compacted	0,00000 000 010 000	0,00000 000 100 000
Limestone / Dolomite	0,00000 000 100 000	0,00000 600 000 000
Sandstone	0,00000 000 030 000	0,00000 600 000 000
Siltstone	0,00000 000 001 000	0,00000 001 400 000
Anhydrite	0,00000 000 000 040	0,00000 002 000 000
Shale	0,00000 000 000 010	0,00000 000 200 000
Permeable Basalt	0,00000 040 000 000	0,02000 000 000 000
Igneous/Metamorphic Rock; Fractured	0,00000 000 800 000	0,00030 000 000 000
Granite; Weathered	0,00000 330 000 000	0,00005 200 000 000
Gabbro; Weathered	0,00000 055 000 000	0,00000 380 000 000
Basalt	0,00000 000 002 000	0,00000 042 000 000
Igneous/Metamorphic Rock; Unfractured	0,00000 000 000 003	0,00000 000 020 000

Caurteku identificēšanai izmantots automātiski ģenerēts grāvju tīkls, kurā esošie vektordati atbilst grāvja gultnei digitālajā reljefa modelī. Datiem ir jāatbilst izmantotajam reljefa modelim, lai nākamajos datu apstrādes posmos, kā arī veicot hidroloģiskā režīma modelēšanu, ar tiem varētu veikt nepieciešamās korekcijas.

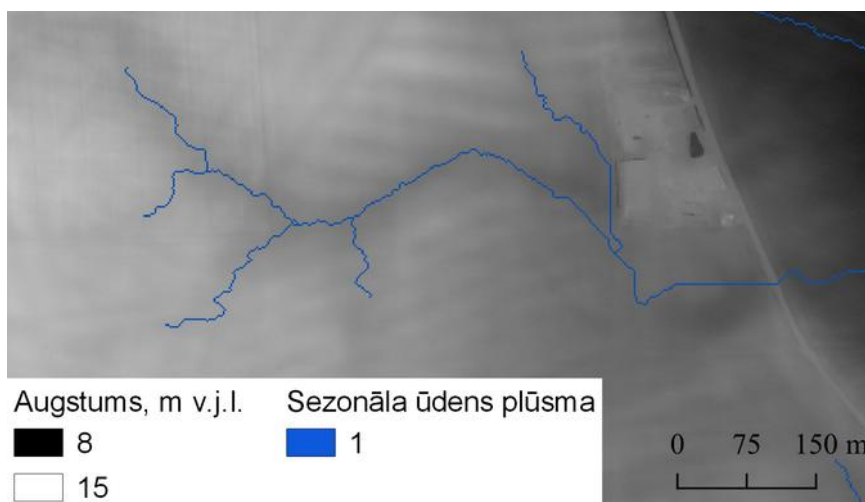
Lai identificētu iespējamās grāvju caurteku atrašanās vietas, būtiska nozīme ir iepriekš iegūtajam grāvju tīklam. Pirmajā datu apstrādes posmā atrasti grāvju tīkla elementi, kuri viens no otra atrodas līdz 15 m attālumā, meklēšanu veicot 120° leņķī izmantojot ArcScan vidi. Šāda pieeja ļauj identificēt iespējamās caurteku atrašanās vietas gadījumos, kad grāvi šķērso ceļš, ceļmalas grāvim ir nobrauktuve (Att. 5). Ar šo metodi nav identificējamās caurtekas situācijās, kad grāvji ir izvietoti paralēli viens otram, un ir bez iespējas krustoties norādītajā attālumā.



Att. 5: Caurtekas identificēšanas piemērs.

Rezultāti un diskusija

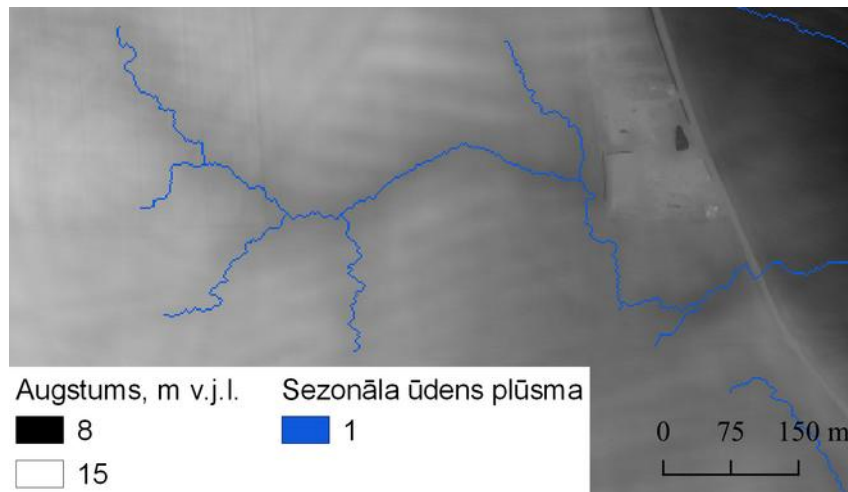
Sezonālo straumju ģenerēšanas nolūkos izmantoti rastra slāņi ar 2 m horizontālo izšķirtspēju. Kā robežvērtība ūdens plūsmas sākuma punktam noteikta 5000 šūnu robeža, kas šajā gadījumā nozīmē, ka sateces baseinam ir jābūt vismaz 20 000 m² plašai tertiorijai. Ūdens plūsmas tecējums gan ar *Fill Sinks*, gan ar *Breach Depressions* algoritmiem pārveidotajos DEM ir līdzīgs. Tomēr vietās, kurās potenciāli veidojas plašas beznoteces iepakas ar *Fill Sinks* apstrādātajos datos redzams, ka straumes kanāls pirms ceļa šķērsošanas iet pa paaugstinātu reljefu (Att. 6).



Att. 6: Ūdens plūsmas tīkls balstoties uz DEM, kas pārveidots ar *Fill Sinks* algoritmu.

Ar *Breach Depressions* algoritmu apstrādātajā DEM ūdens plūsma visu laiku iet pa reljefa zemākajiem apvidiem (Att. 7). Tomēr šajā gadījumā problemātiskā vieta ir ceļa šķērsošana. Abos gadījumos rezultāti būtu labāki, ja datu pirmapstrādes procesā būtu

zināmas precīzas caurteku atrašanās vietas, kurās DEM vērtības varētu samazināt jau pirms ūdens plūsmas modelēšanas.



Att. 7: Ūdens plūsmas tīkls balstoties uz DEM, kas pārveidots ar *Breach Depressions* algoritmu.

Identificējot grāvju caurtekas, lauka darbu laikā apsekotas 15 caurtekas ar dažādu izvietojumu, pētījuma objektu tuvumā. Izmantojot mūsu metodi, no šīm 15 caurtekām izdevās identificēt 9 to atrašanās vietas, bet no pārējām sešām caurtekām divas identificētas kā grāvju tīkls, bet atlikušās identificēt nav izdevies un metodiku nākotnē nepieciešams pilnveidot. Pārējā teritorijā, kura netika apsekota lauka darbu laikā, identificētas vēl 5 caurtekas, no kurām 2 izdevās validēt izmantojot ortofoto ainas, bet pārējās 3 noteiktas kļūdaini.

Caurteku identificēšanu iepriekš veikusi šī pati pētnieku komanda (Roelens et al., 2018), kur izvēlētajā teritorijā izdevās noteikt ap 30% caurteku atrašanās vietas. Šis pētījums ar mūsu veikto nav salīdzināms, jo abos gadījumos izmantotas dažādas pieejas un ir atšķirīgi vides fizikālie apstākļi. Jāņem vērā arī tāds būtisks faktors, kā uzstādītais maksimālais garums, kādā paredzēts veikt caurteku identificēšanu, kas minētajā pētījumā bija līdz pat 100 m, kā arī izvēlēta teritorija. Mūsu gadījumā tās ir 3 paraugteritorijas, katra no tām 10 - 12 km² platībā, salīdzinot ar 150 ha Beļģijas pētījumā.

Zinot caurteku atrašanās vietas, ir iespējams iestājams tajās veikt pazeminājumus DEM līdz grāvja gultnes dziļumam, attiecīgi panākot vēlamās korekcijas ūdens plūsmas modelēšanai.

Secinājumi

Ūdens plūsmas modelēšanas nolūkos nepieciešams veikt korekcijas DEM. Piemapsrādes procesā nepieciešams veikt caurteku un tiltu izgriešanu, bet pēc tam

jāveic arī beznoteces ieplaku likvidēšana vai nu tās aizpildot, vai DEM modeli "izgriežot" noteces kanālus.

Ar *Breach Depressions* algoritmu pārveidotajā DEM, ūdens plūsma koncentrējas reljefa zemākajās vietās, kamēr ar *Fill Sinks* algoritmu pārveidotajā DEM, ūdens plūsmu potenciāli norāda arī reljefa paaugstinājumos.

Ūdens plūsmas modelēšanas rezultātu uzlabošanai nepieciešams iekļaut informāciju par augšņu granulometrisko sastāvu un nokrišņu daudzumu.

Metode caurteku identificēšanai ir izmantojama Latvijas apstākļos, lai atrastu caurtekas gadījumos, kad grāvi šķērso ceļš vai ceļmalas grāvim ir nobrauktuve. Ar šo metodi nav identificējamas caurtekas situācijās, kad grāvji ir izvietoti paralēli viens otram, un ir bez iespējas krustoties norādītajā attālumā. Šo metodi ir nepieciešams pilnveidot, un turpināt pētījumus caurteku identificēšanā, ievācot lielāku lauka datu apjomu.

Pārmitro ieplaku identificēšanas metožu aprobēšana lauksaimniecībā izmantojamās zemēs hidroloģiskā režīma raksturošanai

Pētījums par pārmitro lauksaimniecības zemju noteikšanu no tālizpētes metodēm tika uzsākts 2017. gada rudenī, pirmajā etapā izvēloties pētījuma teritorijas, ieskicējot metodiku gan lauka, gan arī kamerālajiem darbiem, kā ir iegūstot pirmos datus. Izvērtējot rezultātus tika iegūtas daudzas atziņas pētījuma turpmākajai attīstībai, uzlabošanai un izstrādāts turpmākais darba plāns.

Pētījuma otrajā etapā, 2018. gada pirmajos mēnešos, tika veikta literatūras analīze, izstrādāta precīza metodika lauka darbiem, paplašināts pētījuma teritoriju klāsts un paralēli veikta gan reljefa datu, gan arī satelītainu apstrāde. Aprīlī tika veikti lauka darbi visās 12 pētījuma teritorijās un līdz jūnijam izstrādāta pilnvērtīga metodika, lai no lāzerskenēšanas un satelītattēlu izejas datu kombinācijas varētu veikt augsnes mitruma prognozi lauksaimniecības zemēs. Iegūtie rezultāti tika analizēti un statistiski izvērtēti, izdarīti secinājumi un priekšlikumi pētījuma turpmākajai gaitai.

Trešajā etapā tika padziļināti aprobēta lāzerskenēšanas datu apstrādes metodika, iegūstot augstvērtīgākus rezultātus, kā arī ar priekšlikumiem ieskicēta pētījuma turpmākā gaita 2020. gadā.

Pētījuma turpmākajā gaitā ir plānots padziļināti aprobēt satelītainu datu apstrādes metodiku, lai iegūtu augstvērtīgākus rezultātus. Vasaras un rudens sezonā, sadarbojoties ar Valsts augu aizsardzības dienestu, plānots ir izveidot plašu izejas datu (parauglaukumu) tīklu ar augsnes mitruma mērījumiem dažādās lauksaimniecības

zemēs, paralēli veicot datu apstrādi attiecīgajās teritorijā, izmantojot labākos rādītājus izstrādātajā metodikā. Pētījuma noslēgumā tiks apkopota informācija par iegūtajiem datiem, koriģētas atsevišķas nianse datu apstrādes procesā (ar mērķi vēl vairāk uzlabot metodiku), izvērtēti aktuālie rezultāti un izdarīti secinājumi par metodikas piemērotību un iespējām Latvijas apstākļos.

Pētījuma mērķis: Izstrādāt Latvijas apstākļiem piemērotas metodikas iestrādes pārmitro lauksaimniecības zemju identificēšanai no LiDAR un Sentinel-2 datiem.

Pētnieciskie uzdevumi:

- izpētīt literatūrā aplūkotās metodes pārmitro teritoriju identificēšanai no digitālā reljefa modeļa un multispektrālajām satelītainām;
- izvēlēties daudzveidīgas etalonteritorijas dažādos Latvijas reģionos;
- izmantojot reljefa modeli un satelītainas, iegūt dažādus rādītājus un indeksus pārmitro teritoriju prognozēšanai;
- veikt augsnes mitruma un citu rādītāju mērījumus etalonteritorijās lauka darbos;
- analizēt likumsakarības starp kamerālajiem un uz lauka iegūtiem rādītājiem;
- izveidot prognostisko modeli un pārbaudīt tā sniegumu;
- aprobēt (uzlabot) reljefa datu apstrādes procesu (metodiku).

Izzinātības apskats

Pārmitrās lauksaimniecības zemes (nav izstrādāta precīza definīcija) visbiežāk netiek pilnvērtīgi un visatbilstošāk apsaimniekotas, ir samazināti ražas rādītāji un apgrūtināta zemes apsaimniekošana ar smago tehniku. Latvijā arī nav aktuālu un detālu pētījumu par mitru un pārmitru lauksaimniecības zemju telpisko izplatību. Zinot mitro un pārmitro lauksaimniecības zemju izplatību, būtu iespējams plānot darbības šo platību efektīvai apsaimniekošanai valsts mērogā. Ģeogrāfisko informāciju sistēmas modelis, kurš ir balstīts uz mūsdienīgiem un augstas izšķirtspējas brīvpieejas datiem (LĢIA lāzerskenēšanas dati un Sentinel-2 multispektrālās satelītainas) un programmatūru, kalpotu kā informācijas avots un palīgs lēmumu pieņemšanas procesā, piemēram, vai un kāds ir nepieciešams atbalsts meliorācijas tīkla atjaunošanai vai ierīkošanai, zemes lietojuma vai apsaimniekošanas veida maiņai, kā arī atbalsta maksājumu piešķiršanā. Pētījumā netiek apskatītas polderu sistēmās ietilpstošās lauksaimniecības zemes, jo tās ir apzinātas un ir Latvijas Republikas Zemkopības ministrijas netiešā pārvaldībā.

Pētījuma aktualitāte

Pēdējie 50 gadi ir iezīmējuši būtisku pieaugumu pārtikas audzēšanā un ražošanā, samazinot to cilvēku īpatsvaru pasaulē, kuri ir izsalkuši, neskatoties uz divkārtšājošos cilvēku skaitu uz Zemes, taču mūsdienās katram septītajam cilvēkam vēl joprojām ikdienā nav pieejams nepieciešamais pārtikas daudzums, vēl lielāks ir to skaits, kuru uzturs nav pilnvērtīgs un cieš no dažādu mikroelementu trūkuma organismā. Kopējā populācija nākotnē turpinās pieaugt, tiek prognozēti ap 9 miljardiem iedzīvotāju šī gadsimta vidū. Palielinoties globālajai attīstībai un pirkjspējai, palielināsies arī patēriņš un pieprasījums pēc dažādām pārtikas precēm un produktiem, tajā pašā laikā tiek prognozēts, ka arī pārtikas ražotāji saskarsies ar jauniem izaicinājumiem, cīņu par lauksaimniecībā izmantojamajām zemēm, ūdens un enerģijas resursiem produktu audzēšanā un ražošanā, kā rezultātā palielināsies arī kopējā ietekme uz vidi (Godfray et al., 2010).

Kā ilgtspējīgi saražot nepieciešamo pārtikas daudzumu? Vēsturiski viens no vienkāršākajiem risinājumiem ir bijis jaunu lauksaimniecības zemju ierīkošana, taču šobrīd ir sasniegta tā robeža, kur jaunu lauksaimniecības zemju izveide globālā mērogā ir strauji samazinājusies – izmaksu un citu zemes apsaimniekošanas mērķu dēļ – bioloģiskās daudzveidības saglabāšana un dabas ekosistēmu pakalpojumu nodrošināšana. Lauksaimniecībā izmantojamās zemes tiek zaudētas arī urbanizācijas, dominējošu augsnes procesu un zemju aizaugšanas dēļ, globāla mēroga politiski lēmumi ir radījuši papildus slodzi lauksaimniecības zemēs konkurencē ar kultūrām, kuras tiek audzētas biodegvielas ražošanā, arī klimata pārmaiņas turpmāk radīs izmaiņas zemes apsaimniekošanas veidos. Šie faktori kopsummā veido situāciju, kurā būs nepieciešams izaudzēt vairāk pārtikas no tādas pašas (pat ja ne mazākas) zemes platības (Tilman et al., 2002).

Šobrīd ir ļoti atšķirīgi augkopības un lopkopības ražas un produktivitātes rādītāji dažādās pasaules daļās. Atšķirība starp realizēto un labāko iespējamo produkciju, izmantojot šī brīža ģenētisko materiālu, tehnoloģijas un apsaimniekošanu, ir definēta kā ražas starpība. Godfray et al., 2010 un Tester and Langridge, 2010 savos pētījumos uzsver, ka, lai cīnītos ar nākotnes izaicinājumiem lauksaimniecībā un zemes apsaimniekošanā globāli, pareiza prakse ir jāīsteno lokāli. Viens no vienkāršākajiem veidiem kā samazināt ražas starpību ir pareiza, efektīva un lokāliem apstākļiem atbilstoša zemes apsaimniekošana un kultūru audzēšana, savukārt kā viens no galvenajiem faktoriem tiek uzsvērts gan lauksaimnieku, gan politikas veidotāju zināšanas (Godfray et al., 2010; Tester and Langridge, 2010).

Skandināvu sadarbības projektā zinātnieki no Norvēģijas, Zviedrijas, Dānijas un Somijas ir veikuši apjomīgus pētījumus saistībā ar augsnes sablīvēšanos lauksaimniecības zemēs, galvenokārt mijiedarbojoties diviem galvenajiem faktoriem –

pārmitrām augsnēm un smagās lauksaimniecības tehnikas izmantošanu. Mūsdienās ir būtiski pieauguši lauksaimniecības tehnikas izmēri – traktori un citas mašinizētās iekārtas ir kļuvušas krietni smagākas, platākas un lielākas – lauksaimniecībā Eiropā tehnikas vienības svars var pat sasniegt 60 tonnas, kas ir krietni vairāk par augsnes nestspēju. Pārvietojoties ar šādu tehniku pa pārmitrām platībām ievērojami palielinās risks sabojāt gan augsnes virskārtu, gan arī augsnes apakškārtu. Sekojot prognozēm, ka nākotnē palielināsies nokrišņu daudzums gan pavasara, gan arī rudens sezonās, palielināsies arī grūti apsaimniekojamo platību īpatsvars un augsnes sablīvēšanās risks. Sablīvēšanās augsnes virskārtā (0-25 cm) var samazināt ražas rādītājus par 5-15%, taču šādu ietekme var mazināt īsā laika posmā, ja zeme tiek pareizi apsaimniekota. Ja augsnes sablīvēšanās notiek 25-40 centimetru dziļumā vai dziļāk, tad tiek pausts viedoklis, ka augsnei ir nepieciešams 10-14 gadu vai pat ilgāks atjaunošanās periods, kas rezultējas arī krietni sliktākos ražas rādītājos, palielinātā minerālvielu notecē no lauksaimniecības zemēm (pie sliktas augsnes struktūras augi spēj absorbēt tikai ap 65% slāpekļa) un palielinātām siltumnīcefekta gāzēm (“Heavy agricultural machinery can damage the soil, Nordic researchers find,” 2011). Nokrišņu daudzums Latvijā par aptuveni 250 mm pārsniedz summāro iztvaikošanas apjomu, kā rezultātā aptuveni 90% zemes kādā īslaicīgā vai ilglaicīgā periodā no gada cieš no pārlieta mitruma. Pagājušā gadsimta laikā tika veikti ievērojami meliorācijas un pazemes drenāžas sistēmu izbūves darbi, kā rezultātā tika nosusināti 1,49 milj. ha (ap 60%) lauksaimniecībā izmantojamās zemes (“Zemnieku saeima, 2014. Biedrības Zemnieku saeima” atskaite par Valsts lauku tīkla pasākuma Nozaru ekspertu ziņojumi” izpildi 2014. gadā,” 2019). Nav veikti meliorācijas tīkla stāvokļa apzināšanas darbi valsts mērogā, kā rezultātā Latvijā nav informācijas par iespējami pārmitrām platībām. Atsevišķu ekspertu neoficiāli viedokļi ļauj secināt, ka ievērojama daļa meliorācijas un drenāžas tīkla mūsdienās nedarbojas pilnvērtīgi.

Pētījumi augsnes mitruma apstākļu noteikšanā

Augsne ir viens no svarīgākajiem dabas resursiem – tā nodrošina augus ar ūdeni, barības vielām un ūdeni. Informācija par augsni ir nepieciešama gan zemes apsaimniekotājam, gan teritorijas plānotājam un ainavu arhitektam, gan arī vides aizsardzības speciālistam. Augsnes auglība un citas īpašības nosaka tirgus vērtību, daudzās valstīs tā tiek izmantota arī kadastrālās vērtības aprēķināšanai (Nikodemus u.c. 2008). Augsnes zinātne Latvijā ir daudz un plaši pētīta, izstrādāta augšņu klasifikācijas sistēma, izdotas daudzas grāmatas, PSRS laikos veikta lauksaimniecības zemju kartēšana visā Latvijas teritorijā, taču mūsdienās nav aktuāla informācija un visaptveroši materiāli par augsnes mitruma apstākļu telpisko izplatību Latvijas teritorijā un liela mēroga augšņu kartes (*Biedrības Zemnieku saeima” atskaite par Valsts lauku tīkla pasākuma Nozaru ekspertu ziņojumi” izpildi 2014. gadā,* 2018).

Attīstoties tehnoloģijām, ar vien jauni datu avoti tiek izmantoti augšņu pētījumos visā pasaulē, lauka darbi ar vien biežāk tiek pārnesti kamerālajos darbos, ietaupot laika, finanšu un cilvēku resursus. Augsnes telpiskai modelēšanā un apstākļu noteikšanai tiek izmantoti dažādi attālās izpētes rīki, piemēram, reljefa modeļi no lāzerskenēšanas datiem, dažādu spektru satelītainas, specifiski modelēšanas rīki un hidroloģiskie modeļi, arī atsevišķas, speciāli pielāgotas un izstrādātas programmatūras (Minasny, Mcbratney 2015). Hidroloģiskos apstākļus kādā teritorijā var ietekmēt daudzi faktori un to savstarpējā mijiedarbība, taču viens no būtiskākajiem ir pētījuma objekta topogrāfija – gan gruntsūdens, gan arī virszemes ūdens plūsmas vienmēr (izņemot atsevišķus gadījumus) sakrītis ar nogāzes virzienu un slīpumu reljefā (Burt, Butcher 1986). Augsnes mitruma apstākļu novērtēšanai ir izstrādāti vairāki indeksi, kuri kā gala produkti lietotājam spēj gan vizuāli, gan skaitliski parādīt teritorijas mitruma apstākļus un to izplatību (Zinko et al., 2005).

Populāri indeksi zinātniskajā literatūrā, kuri raksturo teritorijas mitruma apstākļus no reljefa modeļa ir TWI (*Topographical Wetness Index*) un DTW (*Depth to Water*), savukārt izmantojot spektrālos attēlus no satelīta: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) un NDWI (*Normalized Difference Water Index*).

Zinātniskajā literatūrā kā visbiežāk izmantotais indekss augsnes mitruma apstākļu raksturošanai ir topogrāfiskais mitruma indekss (TWI), kuru izstrādāja Beven un Kirkby, 1979. Ir ļoti daudz publikāciju, kur šis indekss ir sekmīgi pielietots gan mežzinātnē, gan arī lauksaimniecībā (A. Irmak et al., 2001; Corwin et al., 2006; McBratney and Pringle, 1999; Murphy et al., 2008), plūdu prognozēšanā un mitrāju kartēšanā (Maxa and Bolstad, 2009; Murphy et al., 2007) un pat emisiju aprēķināšanā (Moore et al., 1991). Daudzu gada laikā topogrāfiskais mitruma indekss ir iekļauts daudzos hidroloģiskajos modeļos, pielāgots dažādiem lokāliem apstākļiem un modificēts, iegūstot dažādus un atsevišķos gadījumos pat pretrunīgus rezultātus, taču mūsdienās vēl joprojām visbiežāk tiek izmantots 1979. gadā izstrādātais indekss, kurš ir integrēts arī GIS programmatūrās (Ågren et al., 2014). Case et al., 2005 norāda, ka topogrāfiskais mitruma indekss ir piemērots datiem līdz vidējai izšķirtspējai (25 metri un zemāka), lielām teritorijām ar mainīgu reljefu (piemēram, kalnu apgabali), taču pēdējos gados ir atrodamu pētījumi, kur TWI indekss sasniedz salīdzinoši augstus rezultātus augstas izšķirtspējas lāzerskenēšanas datus līdzinās lauksaimniecības zemēs (Buchanan et al., 2014; Thomas et al., 2017). Kopš 2009. gada populārs ir kļuvis arī indekss, kurš parāda dziļumu līdz gruntsūdens līmenim (DTW), kad to izstrādāja Murphy et al., 2009. Kartējot pārmitras platības, labākus rezultātus uzrāda DTW indekss (salīdzinājumā ar TWI, Murphy et al., 2011). DTW indekss ir parādījis labus rezultātus arī daudzos citos pētījumos, taču to parasti izmanto augsnes mitruma noteikšanai un kartēšanai meža masīvos vai jaukta tipa zemes lietojuma veidos (Oltean et al., 2016; White et al., 2012). DTW indeksa aprēķināšanai izmanto speciāli

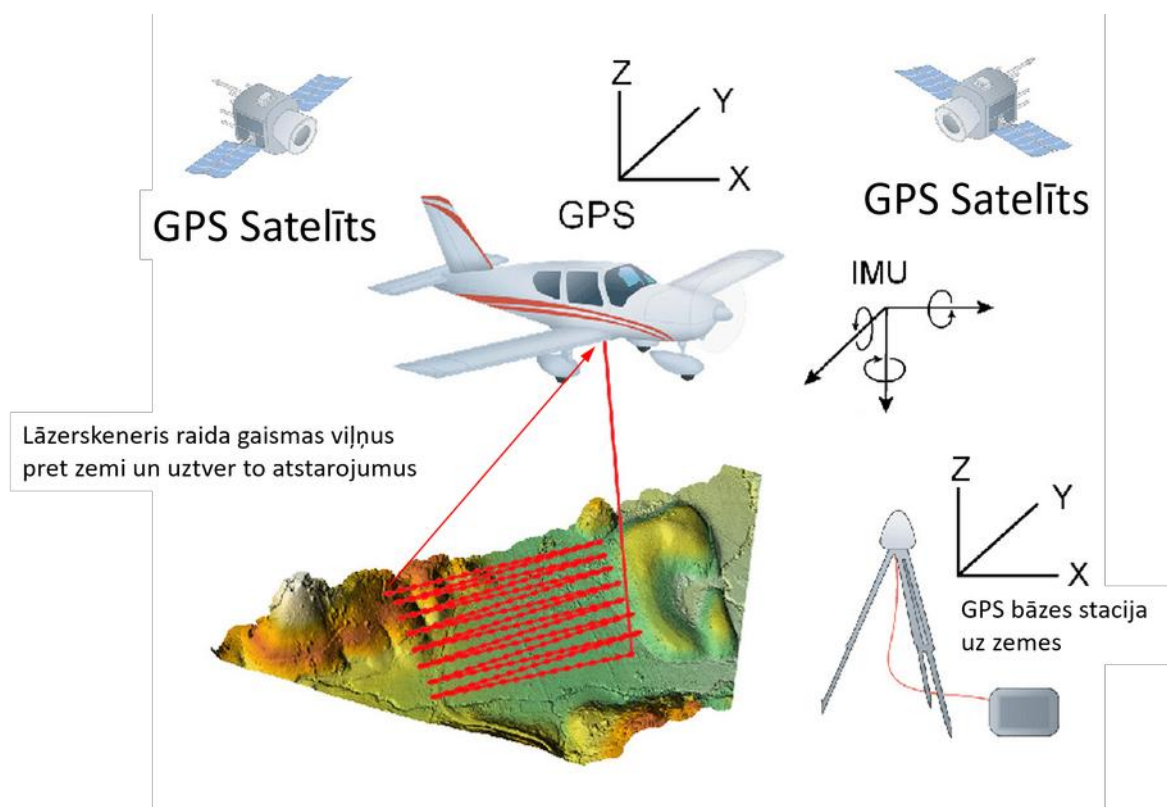
izstrādātus algoritmus un tas vēl nav integrēts ĢIS programmatūrās. Augstas izšķirtspējas lāzerskenēšanas dati ļauj daudz labāk saskatīt un izšķirt lokālo topogrāfiju, taču nereti veidojas atšķirība starp to, kādus secinājumus cilvēks var izdarīt no vizuālas datu novērtēšanas un datu statistiskās analīzes. Zviedru pētnieki savā pētījumā uzsvēr, ka dažādiem pielietojuma vislabāk atbildīs dažādas izšķirtspējas dati un katrā gadījumā zinātniekam ir jāmeklē piemērotākā datu izšķirtspēja (Sørensen and Seibert, 2007).

Jau kopš pagājušā gadsimta optiskās satelītu tehnoloģijas tiek aktīvi izmantotas zinātnē, izmantojot dažādu informāciju un indeksus zemes virsmas raksturošanai (Kim and Oki, 2015). Visbiežāk izmantotais indekss ir normalizētais diferencētais veģetācijas indekss (NDVI), spēlējot nozīmīgu lomu pasaules līmeņa pētījumos (Brown and Harder, 2016; Gu et al., 2007; Kogan, 1995). NDVI ir normalizēta atšķirība starp tuvās infrasarkanās un redzamās sarkanās gaismas spektriem. Fotosintētiski aktīva veģetācija ar zaļām lapām (augstu zaļā pigmenta (hlorofila) daudzumu) atstaro vairāk redzamo nekā infrasarkanā gaismu, kā rezultātā augstākas NDVI vērtības norādīs uz veselīgu veģetāciju, savukārt salīdzinoši zemākas var norādīt uz augiem, kuri ir pakļauti dažādiem stresa apstākļiem, tai skaitā pārmitriem augsnes apstākļiem (Rouse et al., 1974; Tucker, 1979). Cits attālās izpētes indikators ir normalizētais diferencētais ūdens indekss (NDWI), kurš ir izstrādāts vairāk kā 20 gadus vēlāk, taču mūsdienās arī tiek plaši pielietots pētījumos par augsnes mitruma apstākļiem un augu kultūrām (Chen et al., 2005; Jackson et al., 2004). NDWI ir normalizēta atšķirība starp tuvās infrasarkanās un īsviļņu infrasarkanās gaismas spektriem, kas parāda atšķirības starp ūdens daudzumu veģetācijā, kā rezultātā platības ar zemāku NDWI vērtību norādīs uz sausākiem apstākļiem, savukārt augstākas vērtības uz pārmitriem apstākļiem. Līdzīgi kā NDVI, arī šis indekss netieši var norādīt uz augsnes mitruma apstākļiem (Gao, 1996), taču augstas izšķirtspējas infrasarkanie īsviļņu dati vēl nav pieejami.

Papildus lāzerskenēšanas un optisko attēlu izmantošanai augsnes mitruma raksturošanai populāras ir vēl divas metodes ar dažādiem datu avotiem. Augsnes un veģetācijas mitruma apstākļu noteikšanai tiek kombinēti īsie mikro viļņi un optiskie-termiskie dati. Lai arī bieži vien pētījumi ir veikti plašās teritorijās, izmantojot zemes izšķirtspējas datus, mūsdienās strauji pieaug šāda veida izejas dati augstākās izšķirtspējās un pētnieki dažādos pētījumos ir ieguvuši augstvērtīgus rezultātus (Carlson et al., 1994; Mallick et al., 2009; Nemani et al., 1993; Sandholt et al., 2002). Pētījumos bieži tiek izmantoti arī radara attēli, kuri tiek apstrādāti ar speciāliem algoritmiem dažādās programmatūrās. Mūsdienās radara attēli salīdzinoši augstā izšķirtspējā ir pieejami no Sentinel-1 satelīta un dažādos pētījumos šie datu avoti uzrāda augstus rezultātus un ir līdzīgi vai pat labāki nekā citas augsnes mitruma apstākļu noteikšanas metodes (Fieuzal et al., 2011; Gao, 1996; Paloscia et al., 2013).

Zemes virsmas lāzerskenēšanas tehnoloģija

LiDAR (Light Detecting and Ranging) tehnoloģija mūsdienās strauji attīstās, tā ir sastopama arvien vairāk pētījumos un paver jaunas iespējas – kā analizēt pētāmo teritoriju vai objektu. LiDAR tehnoloģiski ir līdzīgs radaram, vienīgi radioviļņu vietā tiek izstaroti un uztverti pulsējoši gaismas signāli (Schwarz, 2010). Lāzerskenēšanu var veikt gan no gaisa (lidmašīna, bezpilota lidaparāts u.c.), gan arī uz zemes (automašīna, rovers, statīvs u.c.), taču gandrīz visas LiDAR sistēmas sastāv no četrām galvenajām komponentēm – lāzera, skenera un optikas, fotodetektora, kā arī no navigācijas un novietojuma sistēmām. Darbības princips ir vienkāršs – uz atstarojošu virsmu tiek raidīts lāzera stars un ar uztverošajām iekārtām tiek izmērīts laiks, kurā tas atgriežas līdz avotam, kombinācijā ar GPS uztvērēju un IMU sensoru, katram gaismas staram ir iespējams noteikt precīzu relatīvo attālumu jeb atstarošanās punktu (Bellian et al., 2005, Att. 8).



Att. 8: LiDAR darbības princips no lidmašīnas (Shih et al. 2008 ar autora papildinājumiem).

LiDAR tehnoloģija var nodrošināt pat vairākus tūkstošus individuālo mērījumu katru sekundi, taču mērījumu skaits un to precizitāte variē no katras komponentes veiktspējas un tehniskajiem parametriem – jo precīzāks un blīvāks punktu mākonis, jo augstāka izejas datu kvalitāte un pēcapstrādes iespējas, taču lietotājam tas arī

nozīmē augstākas izmaksas par LiDAR iekārtu, tāpēc svarīgi ir izvēlēties atbilstošas tehniskās specifikācijas datu pielietojanas mērķim (Dassot et al., 2011).

Aerolāzerskenēšana Latvijas teritorijā ir uzsākta 2014. gadā un to bija plānots pilnībā pabeigt līdz 2018. gada beigām. Atbildīgā institūcijā Latvijā ir Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra, kura veic arī datu sagatavošanu un publicēšanu, taču pašus aerolāzerskenēšanas darbus veic ārzemju uzņēmumi. Papildus tiek veikti arī zemes virsmas punktu manuāla precizēšana. Iegūtie dati tiek automātiski klasificēti vairākos līmeņos: zemes virsma; zemā veģetācija; augstā veģetācija; būves. Galvenie tehniskie parametri ir (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra, 2019):

- Kopējais punktu blīvums ne mazāks par 4 punkti uz m², zemes virsmu raksturojošo punktu vidējais blīvums ne mazāks par 1,5 punktiem uz m²;
- Datu vertikālā precizitāte ne sliktāka kā 12 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni) pret Valsts ģeodēzisko tīklu;
- Datu horizontālā precizitāte ne sliktāka kā 36 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni) pret Valsts ģeodēzisko tīklu.

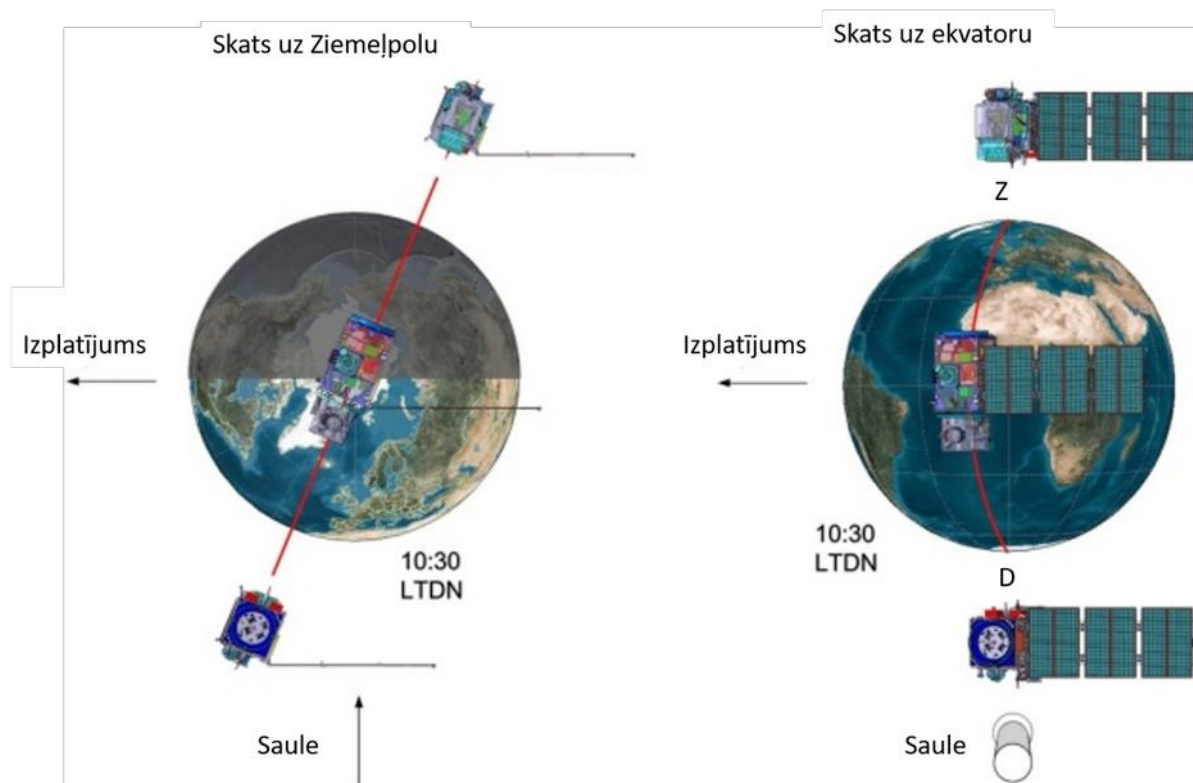
LiDAR punktu blīvums un precizitāte atsevišķās vietās var būt arī zemāka par izstrādātāju noteiktajiem tehniskajiem parametriem, ko veido leņķis attiecībā pret nogāzes slīpumu un Zemes virsmu. Augstas izšķirtspējas datu precizitāti zemākajos slāņos būtiski var ietekmēt arī veģetācijas blīvums un apaugums, kas līdz Zemes virsmai var aizturēt pat lielāko daļu staru (Moskal et al., 2009).

Sentinel-2 satelītainu tehnoloģija

Optisko satelītainu izmantošanai ir gan vairāki mīnusi, gan arī vairākas priekšrocības pār lāzerskenēšanas datiem. LiDAR datu ieguve ir dārga – katra valsts to īsteno pati – Latvijas teritorijai šobrīd ir veikta tikai viena pilna lāzerskenēšana, taču Sentinel-2 satelīti ir daļa no Eiropas kosmosa aģentūras programmas. Dažādi optiskie un citi dati no Sentinel satelītiem ir pieejami līdz 10 metru izšķirtspējai, taču satelītainas jau ir pieejamas par salīdzinoši ilgu laika periodu un regulāri tiek papildinātas, kā rezultātā šiem datiem veidojas temporālā vērtība – tos var salīdzināt savstarpēji un izmantot ilglaicīgos platību monitoringa pasākumos (Immitzer et al., 2016).

Optiskie satelīti galvenokārt uztver panhromatiskās jeb melnbaltos attēlus, vai arī multispektrālās ainas, kuras ir iespējams savstarpēji kombinēt un iegūt krāsainu attēlu. Satelītos atrodoši sensori uztver Saules elektromagnētiskos starus infrasarkanās un redzamās gaismas spektra robežās, kuri tiek atstaroti Zemes virsmas. Izmantojot dažādas optiskās lēcas un filtrus, elektromagnētisko gaismas starojumu ir iespējams sadalīt dažādos viļņa garumos, kuri tiek saglabāti atsevišķos kanālos. Sentinel-2 programmā ietilpst divi multispektrālie satelīti, kuri atrodas 786 kilometru

augstumā no Zemes un atrodas 180 grādu leņķī viens pret otru un katrs sver aptuveni 1,2 tonnas. Abu satelītu orbītas ir pielāgotas Saules kustībai attiecībā pret Zemi, kā rezultātā ir iespējams nodrošināt atkārtotus pārlidojumus blakus teritorijām vienas diennakts ietvaros, taču vienas un tās pašas vietas atkārtojuma biežums ir piecas dienas pie ekvatora. Redzamās gaismas un tuvās infrasarkanās gaismas spektri (kopsummā 4) ir pieejami 10 metru izšķirtspējā, savukārt citi datu slāņi 20 (kopsummā 6) vai 60 (kopsummā 3) metru izšķirtspējā. Katra no uzņemtajām Sentinel multispektrālajām satelītainām sastāv no 13 dažādiem kanāliem, katrā no tiem saglabājot dažādus gaismas viļņu garumus. Katra no uzņemtajām ainām pārklāj 100 km² plašu teritoriju – lai pilnībā nosegtu Latvijas teritoriju ir nepieciešamas 19 satelītainas (European Space Agency, 2019). Att. 9 ir ilustrēts Sentinel-2 satelītu darbības princips, kuru paredzētais darbības ilgums ir nepilni 8 gadi.



Att. 9: Sentinel-2 darbības princips (ESA 2019 ar autora papildinājumiem).

Apkārt Zemeslodei dažādās orbītās mūsdienās riņķo daudzi satelīti no dažādām izpētes misijām, kuri iegūst dažādus optiskos datus. Pazīstamākie un visplašāk izmantotie citi satelīti šobrīd ir: Landsat 8; OLI; TIRS; L7 ETM+; ASTER; MODIS. Katram no satelītiem ir arī atšķirīgi tehniskie parametri – atmosfēras īpašību dēļ elektromagnētiskais starojums dažādos viļņu garumos no Zemes virsmas atstarojas citādāk – liela daļa no tiem pilnībā vai daļēji absorbējas atmosfērā un tikai mazākā daļa nonāk līdz satelīta sensoram. Tieši Sentinel-2 satelīts šobrīd ir tehniski

spēcīgākais satelīts, kurš spēj uztvert krietni lielāku daudzumu elektromagnētisko starojumu nekā citi satelīti (Brown and Harder, 2016).

Augsnes mitruma apstākļu ietekmējošie faktori

Klimats, dzīvie organismi, reljefs, cilmiezis, laiks un cilvēka saimnieciskā darbība tiešā veidā ietekmē augsnes veidošanās procesus un augsnes īpašības. Šis faktoru kopums nosaka arī augsnes mitruma apstākļus.

Klimats ietekmē minerālo daļiņu pārvietošanos (izskalošanu un eroziju) un pārveidošanos (dēdēšanu) augsnē, kā arī ģenēzes procesus (glejošanās, podzolēšanās, izskalošanās, lesivēšanās, huminifikācija, organisko vielu akumulācija, mineralizācija utt.). Tikai atsevišķos gadījumos kopējais nokrišņu daudzums nosaka konkrētu augšņu tipu izplatību kādā reģionā, daudz būtiskāka ir attiecība starp nokrišņu daudzumu un iztvaikošanu. Izkrītot vairāk nokrišņiem nekā tie iztvaiko, augsnē dominē lejupejošas ūdens plūsmas, kā rezultātā tiek izraisīti galvenokārt podzolēšanās un lesivēšanās procesi.

Reljefs ietekmē vielu sadalījumu, augsnes mitruma un siltuma īpašības, kā arī nosaka augsnes ūdens erozijas procesus. Augsnes mitruma apstākļus būtiski ietekmē zemes virsmas slīpums – ūdens pārvietošanos un infiltrāciju augsnē. Pauguru virsotnes, pauguri un stāvas nogāzes novada ūdeni uz blakus esošajām zemākajām vietām, kā rezultātā zemākās vietas būs ilgāk mitras nekā nogāzes. Mainoties reljefa apstākļiem mainās arī gruntsūdens līmenis – reljefa paaugstināmos tas būs dziļāks, savukārt pazeminājumos – seklāks – atsevišķos gadījumos pat iznākot zemes virspusē. Augstākās reljefa formās līdz ar to notiek intensīvāka daļiņu izskalošana, savukārt reljefa pazeminājumos intensīvi attīstās glejošanās procesi. Pauguru virsotnēs visbiežāk veidojas automorfās (normāli mitrās) augsnes, pauguru pakājēs pushidromorfās (sezonāli mitrās), savukārt starppauguru ieplakās hidromorfās (purvu) augsnes.

Augsnes cilmiezis ir augsnes veidošanās pamats – no tā minerāliem un ķīmiskā sastāva izriet augsnes minerālu sastāvs, granulometriskais sastāvs, kā arī daudzas fizikālās un ķīmiskās īpašības, kuras nosaka arī augsnes mitruma apstākļus. Latvijā augsnes cilmiezi ar dažādām īpašībām veido dažādu nogulumu veidi (pēc kuriem var arī spriest par augsnes mitruma apstākļu telpisko izplatību un grupēšanu pēc līdzīgām īpašībām):

1. Ledāja un tā kušanas ūdeņu nogulumi (glaciālie nogulumi);
2. Baltijas jūras dažādu attīstības stadiju nogulumi (marinie nogulumi);
3. Vēja pārpūstie nogulumi (eolie nogulumi);
4. Upju (aluviālie nogulumi);

5. Ezeru (limniskie nogulumu);
6. Purvu nogulumu.

Cilvēka darbība var gan tieši, gan netieši ietekmēt augsnes veidošanās faktoros. Latvijā lielākā daļa augšņu ir veidojusies šādu faktoru mijiedarbībā, būtiskākais no tiem šī pētījuma skatījumā ir lauksaimniecības zemju nosusināšana, kā rezultātā būtiski tika ierobežoti augsnes glejošanās procesi. Iepriekš aprakstītie faktori ir arī pakļauti laika ietekmei, kurā veidojas, attīstās un mainās gan augsnes procesi, gan arī apkārtējie ietekmējošie faktori (Gwak and Kim, 2017; Nikodemus et al., 2008).

Pārmitrus augsnes apstākļus var saistīt ar augsnes glejošanās procesu – tā notiek anaerobos apstākļos ar pastāvīgu ūdens klātbūtni un vāju drenāžu. Glejošanās process ir viens no raksturīgākajiem augsnes veidošanās procesiem Latvijā. Glejošanās procesā augsne ir patstāvīgi pārmitra, kad virsūdeņi tiek aizturēti smaga granulometriskā sastāva vai vāji caurlaidīga augsnes slāņa dēļ, ja pārmitri apstākļi ir novērojami sezonāli, tad veidojas pseidoglejošanās, savukārt vietās, kur ir sezonāli augsts gruntsūdens līmenis veidojas gruntsūdens izraisīta glejošanās (Att. 10). Intensīvas glejošanās procesā veidojas vienlaidus gleja horizonts – blīvs smilts, kuram ir raksturīga gaiši zilganpelēka krāsa, un smilšmāla vai māla horizonts, kuram ir raksturīga tumši zilganpelēka vai zaļganpelēka krāsa. Glejošanās procesā noārdās arī vairāki minerāli – hlorīti, vizlas amfiboli – un mainās augsnes sastāvs (Nikodemus et al., 2008; Pidwirny, 2013).



Att. 10: Augsnes glejošanās veidi (Nikodemus u.c. 2008).

Pētījuma teritorijas

Pētījuma teritorijas jeb objekti tika izvēlēti, sazinoties ar zinātniskajiem lauksaimniecības institūtiem, pētījumu centriem un saistītām privātpersonām, kuru īpašumā vai pārvaldībā ir tādas lauksaimniecības zemes, kurās kādā daļā no platības, sezonāli vai ilglaicīgi, ir apgrūtināta zemes apsaimniekošana pārmitru apstākļu dēļ

vai ir novērojama ūdens uzkrāšanās. Vispirms tika izvēlētas pirmās sešas pētījuma teritorijas, kurās tika veikti lauka darbi 2018. gada rudenī, pēc pētījuma metodikas uzlabošanas un papildināšanas, tika izvēlētas vēl sešas pētījuma teritorijas. Kopā, par pētījumam atbilstošām, tika izvēlētas 12 dažādas teritorijas, no kurām 10 tika izmantotas statistiski būtisku augsnes mitruma raksturlielumu noteikšanai, savukārt ar datiem no divām atlikušajām platībām (Skrīveri3 un Rucava1) tika pārbaudīts prognostiskais modelis. Platību raksturojums ir apkopots Tab. 2.

Tab. 2: Pētījuma teritoriju raksturojums

Nosaukums	Platība (ha)	Zemes lietojuma veids	Ģeoloģiskie nogulumi	Meliorācija
Skrīveri1	15,8	Dažādu koku plantācija (pļauta pļava)	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva
Skrīveri2	7,3	Aramzeme	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva
Skrīveri3	12,5	Pļauta pļava	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva
Pūre1	3,6	Neapsaimniekota pļava	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva
Pūre2	5,1	Pļauta pļava	Aluviālie nogulumi	Blīva
Stende	2,3	Neapsaimniekota pļava	Glacigēnie nogulumi	Ļoti blīva
Rucava1	2,8	Pļauta pļava	Aluviālie nogulumi	Nav
Rucava2	4,5	Ganības	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva
Rucava3	17,5	Pļauta pļava	Baltijas ledus ezera nogulumi	Blīva
Īslice	1,0	Aramzeme	Aluviālie nogulumi	Blīva
Krimulda1	17,1	Aramzeme	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva
Krimulda2	14,0	Neapsaimniekota pļava	Glacigēnie nogulumi (morēna)	Blīva

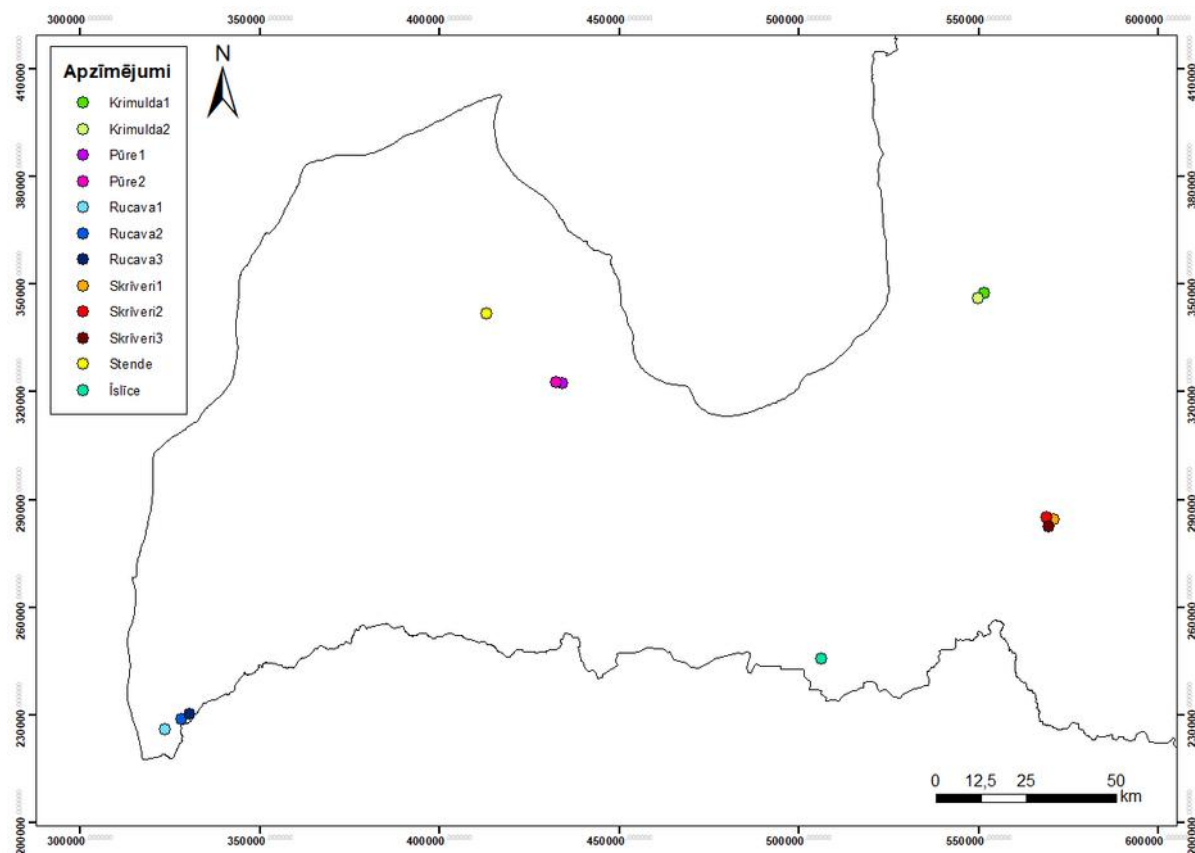
Pārmitri apstākļi pētījuma teritorijās galvenokārt veidojas reljefa pazeminājumos, kuros sezonāli (sniega kušanas ūdeņi pavasarī, spēcīgas lietus gāzes vasarā vai ilglaicīgas lietavas rudenī) uzkrājas ūdens, kas ierobežo zemes apsaimniekošanas iespējas – platība tiek apstrādāta agrāk vai vēlāk kā blakus esošās platības ar optimālu mitruma režīmu, atsevišķas platības daļas netiek izmantotas vai arī tiek apstrādātas tikai salīdzinoši sausākajās sezonās. Atsevišķos gadījumos visa zemes vienība ir pārmitra lielāko daļu no kalendārā gada un tās izmantošana nav racionāla.

Pētījuma objektā "Skrīveri3" lauku darbu dienā (2018. gada oktobrī) tika izrakta ievilka no beznoteces ieplakas, kurā ilglaicīgi uzkrājas ūdens, kopš blakus īpašumā, dīķa rakšanas procesā, tika sabojāta galvenā дрена šī lauka nosusināšanai, objektā "Stende" bija novērojami vairāki, īsi un nesavienoti grāvju fragmenti ap kuriem augsne bija salīdzinoši sausāka un zemāks gruntsūdens līmenis (salīdzinoši ar ļoti pārmitro apkārtējo teritoriju), savukārt aramzemē Krimuldas pētījuma teritorijā tika novērotas vairākus hektārus lielas neapstrādātas platības, kurās ūdens bija uzkrājies pat salīdzinoši sausā pavasara sezonā (2019. gada aprīlī, Att. 11).



Att. 11: Pārmitrie apstākļi pētījuma teritorijās¹.

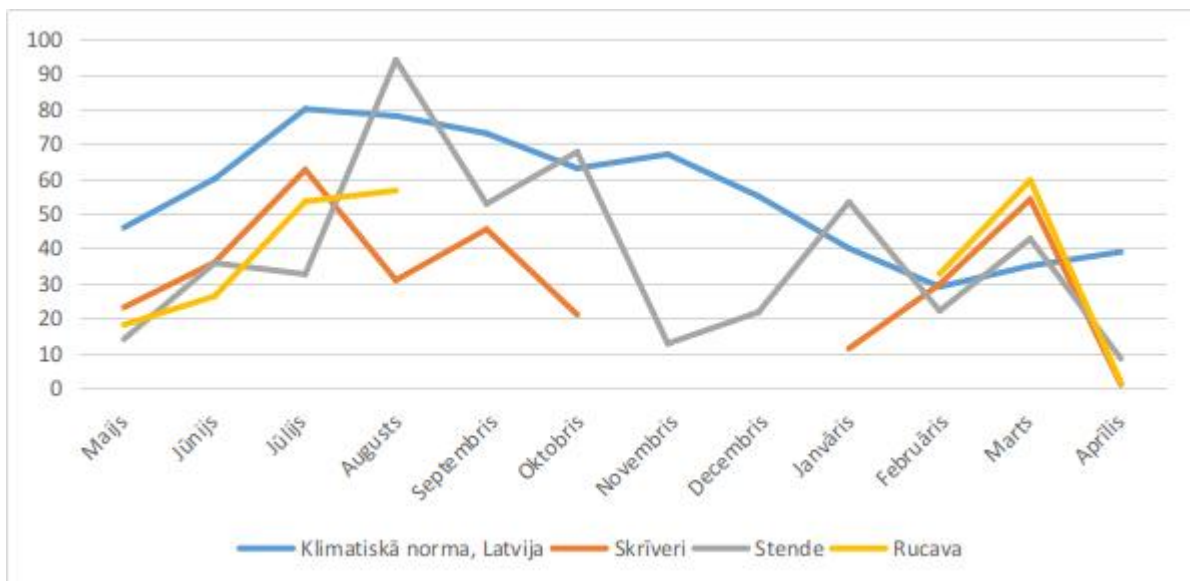
Pētījuma teritorijas atrodas dažādos Latvijas reģionos, kuras var grupēt pēc dažādas fiziogēogrāfijas (augstienes, zemienes), ģeomorfoloģijas, ģeoloģijas un ģeoloģisko nogulumu veidiem, augsnes īpašībām, nokrišņu daudzumu un daudziem citiem parametriem (Turlajs, 2007). Viens no pētījuma uzdevumiem bija atlasīt pēc iespējas dažādākas un daudzveidīgākas lauksaimniecībā izmantotās un neizmantotās platības, kurām pētījuma sākumā (2018. gada rudens) bija pieejams LĢIA lāzerskenēšanas datu pārklājums, kā rezultātā, pētījumā netika iekļauti Latvijas austrumu reģioni. Kopskats ar pētījuma teritorijām ir attēlots Att. 12.



Att. 12: Pētījumu teritoriju novietojums (autora izstrādāta karte ar Latvijas kontūru).

¹ Pa labi "Skrīveri3" – tikko ierikota ievelka ūdens novadišanai, pa vidu "Stende" – iesākti meliorācijas sistēmas izveides darbi, savukārt labajā pusē "Krimulda1", kurā vairākās vietās uz lauka uzkrājas ūdens (autora foto).

Lauka darbi rudens sezonā tika veikti 2018. gada oktobrī (no 06.10. līdz 20.10.), šajā laika posmā tika apsekoti 6 pētījuma objekti ar kopējo parauglaukumu skaitu 39. Pagājušais gads (2018.) ir sausākais meteoroloģisko novērojumu vēsturē, par ko liecina Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas (LVĢMC) centra dati (LVĢMC, 2018), savukārt lauka darbi pavasara sezonā tika veikti 2019. gada aprīlī (no 23.04. līdz 26.04.), kad tika apsekotas visas 12 pētījuma teritorijas 250 parauglaukumos. Arī 2019. gada pirmā puse ir salīdzinoši sausa, gada pirmajos mēnešos nokrišņu daudzums ir līdzināms klimatiskajai normai, taču aprīļa mēnesis bija īpaši sauss. Nokrišņu daudzuma mēneša summas, pētījumu objektiem blakus esošajās meteoroloģiskajās stacijās "Skrīveri", "Stende" un "Rucava" (LVĢMC bez dat.), arī atspoguļo šo sauso periodu salīdzinājumā ar klimatisko normu (Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes, 2019). Vidējā atšķirība no klimatiskās normas ir aptuveni par 15-25 mm mazāk nokrišņu ik mēnesi. Meteostacijās "Skrīveri" un "Stende" 2018. gada rudens sezonā nokrišņu daudzuma summa netika apkopota saistībā ar meteostaciju modernizācijas procesu. Salīdzinoši mazais nokrišņu daudzums noteikti ir atstājis iespaidu uz augsnes mitrumu un to rādītājiem – tas ir mazāks nekā ierasts, arī atšķirīgais nokrišņu sadalījums dažādās Latvijas vietās var ietekmēt rezultātus, taču svarīgākie augsnes mitruma mērījumi priekš šī pētījuma tika veikti aprīlī, kad nokrišņu daudzums bija vienlīdz mazs visās meteostacijās (Att. 13).



Att. 13: Nokrišņu daudzuma mēneša summas 2018. – 2019. gadā meteostacijās "Skrīveri", "Stende" un "Rucava" salīdzinājumā ar klimatisko normu Latvijā².

² Saskaņā ar LVĢMC un CSP datiem.

Metodika

Lauka pētījumi

Pirms lauka pētījumu uzsākšanas, pamatinformācija par teritorijām tika apkopota ĢIS vidē ar tālizpētes metodēm – objektu atrašanās vieta, to robežas un piekļūšanas ceļi. Tika izveidots parauglaukumu tīkls un aprēķinātas to koordinātas, pēc kurām, ar rokas GPS, tika noteikta parauglaukumu atrašanās vieta dabā.

Objektu robežas tika izzīmētas pa Lauku atbalsta dienesta (LAD) lauku bloku robežām (kartogrāfiskais resurss pieejams: <https://karte.lad.gov.lv/>), nepieciešamības gadījumā (ja kopējā platība ir viendabīga un liela) objektu līnijas precizētas pa dabas robežām: reljefs; zemes lietošanas veids. Pārmitros apstākļus katras platības pārstāvis kartogrāfiskā materiālā iezīmēja brīvi ar roku.

Pētījuma teritorijās 2018. gada rudenī ar QGIS rīku Random points inside polygons ģenerēti 6 nejauši izvēlēti parauglaukumi (Skrīveri1 platībā 9), kopskaitā 39. Pēc metodikas papildināšanas priekš lauka darbiem 2019. gada pavasarī, pētījuma teritorijās tika izveidots jauns tīkls ar 20 nejaušiem parauglaukumiem, savukārt objektos "Skrīveri3" un "Rucaval", kuri tika izvēlēti priekš prognostiskā modeļa pārbaudes, ģenerēti 25 nejauši parauglaukumi, kopā veidojot parauglaukumu skaitu 200 un 50.

Lauka darbos 2018. gada rudenī, katrā parauglaukumā, tika veikts zondējums ar augsnes zondi, kuras maksimālais dziļums ir 115 centimetri. Katrs zondējums tika nofotografēts (piemērs no objekta "Pūre2" Att. 14) un noteiktas sekojošas augsnes mitruma raksturojošas pazīmes:

1. A horizonta dziļums (cm);
2. Gleja horizonta dziļums (cm) un izteiktība (vai ir virs 10%);
3. Gruntsūdens dziļums (cm);
4. Katra granulometriskā sastāva izmaiņas un robeždziļums (cm);
5. Precīzs zemes lietošanas veids.



Att. 14: Augšņu daudzveidība pētījuma objektā “Pūre2” (ar dzeltenu marķējumu attēlā norādīts parauglaukuma nosaukums)³.

Papildus, ar Eijelkamp augsnes pretestības mērītāju, tika veikti augsnes penetrācijas mērījumi līdz 80 cm dziļumam un ar atsevišķi pieslēdzamu zondi (ThetaProbe) nomērīts augsnes mitrums (izteikts tilpuma %). Iegūto lauka darbu dati ir pievienoti pielikuma 1. tabulā, savukārt 3.2. attēlā ir lauka darbos izmantotie piederumi. Lauka darbos 2019. gada pavasarī parauglaukumos tika veikti tikai augsnes mitruma mērījumi ar zondi (vidējā vērtība starp trīs mērījumiem katrā parauglaukumā). Lauka darbi gan rudens, gan pavasara sezonā tika veikti maksimāli īsā laika periodā (4 dienu laikā), viendabīgos laika apstākļos (apmākušās dienas bez nokrišņiem), lai strauja ūdens uzkrāšanās vai iztvaikošana neietekmētu rezultātus starp pētījuma teritorijām (Vereecken et al., 2008).



Att. 15: Lauka darbos izmantotie instrumenti un mēriekārtas⁴.

³ Foto – Toms Artūrs Štāls.

⁴ Eijelkamp augsnes pretestības mērītājs ar pieslēdzamu zondi mitruma mērīšanai pa kreisi, augsnes zonde un zondējums pa labi. Foto – Toms Artūrs Štāls.

Objektu un parauglaukumu raksturojošo datu iegūšana kamerālajos darbos

Kamerālajos darbos vispirms tika noteikts augsnes apakštips un granulometriskais sastāvs pēc PSRS laika augšņu kartes, kura veidota mērogā 1:10 000, lai iegūtu aptuvenu priekšstatu par augsnes īpašībām un iespējamajiem augsnes procesiem (izmaiņām līdz mūsdienām). Izmantojot lauka darbos iegūtos datus un fotogrāfijas, pēc Latvijas augšņu noteicēja (Kārklīšs et al., 2009), visos parauglaukumos tika noteikts augsnes apakštips, tips un klase.

Izmantojot LVĢD kvartāra noguluma karti mērogā 1:200 000, visos parauglaukumos tika noteikti ģeoloģiskie nogulumi. Kartogrāfiskā informācija tika salīdzināta ar faktisko materiālu, kas tika iegūts lauka darbos. Pētījuma teritorijā "Pūre2" tika precizēti divi parauglaukumi – Abavas upes ielejas aluviālo nogulumu robežas mēroga dēļ nav izzīmētas precīzas, kā rezultātā, pamatkrastā esošo parauglaukumu aluviālie nogulumi tika mainīti uz glacigēniem (morēnas mālsmilts) nogulumiem.

Papildus faktors, kurš ietekmē augsnes mitruma apstākļus, ir meliorācijas tīkls un tā tehniskais stāvoklis. Meliorācijas sistēmas funkcionēšanu noteikt ir salīdzinoši grūti un laikietilpīgi, kā arī šādu datu Latvijā vai kādā no valsts daļām nav, līdz ar to šis aspekts maģistra darba izstrādes gaitā netika iekļauts, savukārt meliorācijas tīkla kopējā ietekme uz kādu no pētāmajām teritorijām tika izteikta pēc blīvuma rādītāja (metri uz hektāru). Meliorācijas tīkls tika iegūts no VSIA "Zemkopības ministrijas nekustamo īpašumu" meliorācijas digitālā kadastra (kartogrāfiskais resurss pieejams: <https://www.melioracija.lv/>). Iegūtā aina ar QGIS rīku Georefrencer GDAL tika ģeoreferencēta attiecīgajam pētījuma objektam, meliorācijas tīkls vektorizēts, aprēķināta meliorācijas tīkla (kopējais garums katrā objektā) un objekta (platība) ģeometrija, visbeidzot aprēķināts arī meliorācijas tīkla blīvums.

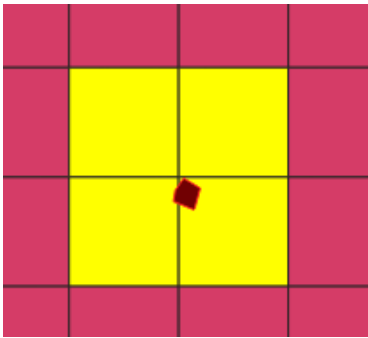
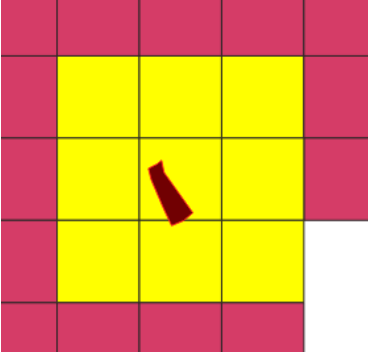
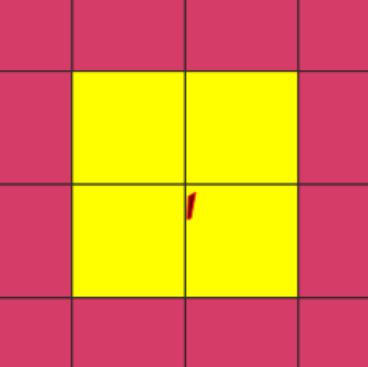
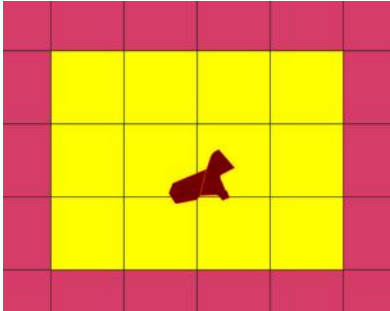
Digitālā reljefa modeļa izveide un tālākā apstrāde

LiDAR izejas faili LAS formātā no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA) ir sadalīti 1 km² lielās karšu lapās, kuras atbilst mērogam 1:2 000 pēc TKS-93 nomenklatūras parametriem. Izmantojot LiDAR pārklājuma slāni visai Latvijai, tika atlasīti nepieciešamie karšu lapu nosaukumi reljefa modeļa (DEM) izveidei, atlasītas ne tikai tās karšu lapas, kurās iekļaujas pētījuma teritorijas, bet gan arī blakus esošās karšu lapas, veidojot vienmērīgu buferzonu. Tuvumā esošie objekti tika grupēti, veidojot vienu, taču lielāku reljefa modeli (Tab. 3). Turpmākajam darbam tika izmantoti jau konkrēti LAS faili (atbilstoši karšu lapām), būtiski samazinot nepieciešamo datu apjomu. Turpmākajā darbā tika izmantotas GRASS GIS 7.4.2, QGIS 3.4.3 (with GRASS 7.4.2) un SAGA GIS 2.3.2 programmatūras.

Tab. 3: Pētījumu teritorijām atbilstošo karšu lapu atlase

Pētījuma teritorijas	Karšu lapu tīkls	Karšu lapu nosaukumi	Attēls
Skrīveri1 Skrīveri2 Skrīveri3	4x3	3343-34-14, 3343-24-54 3343-24-44, 3343-24-34 3343-34-15, 3343-24-25 3343-24-45, 3343-24-35 3343-35-11, 3343-25-51 3343-25-41, 3343-25-31	
Pūre1 Pūre2	3x4	4212-52-42, 4212-52-32 4212-52-22, 4212-52-43 4212-52-33, 4212-52-23 4212-52-44, 4212-52-34 4212-52-24, 4212-52-45 4212-52-35, 4212-52-25	
Stende	2x2	4213-43-33, 4213-43-23 4213-43-34, 4213-43-24	
Rucava1	2x3	3113-15-23, 3113-15-13 3113-15-24, 3113-15-14 3113-15-25, 3113-15-15	

Attālās izpētes tehnoloģiju izmantošana aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošanai

Pētījuma teritorijas	Karšu lapu tīkls	Karšu lapu nosaukumi	Attēls
Rucava2	2x2	3114-11-53, 3114-11-54 3114-11-43, 3114-11-44	
Rucava3	3x3	3114-21-25, 3114-21-15 3114-11-55, 3114-22-21 3114-22-11, 3114-12-51 3114-22-22, 3114-22-12 3114-12-52	
Īslice	2x2	3313-52-21, 3313-52-22 3313-52-11, 3313-52-12	
Krimulda1 Krimulda2	3x4	4314-55-34, 4314-55-24 4314-55-14, 4314-55-35 4314-55-25, 4314-55-15 4323-51-31, 4323-51-21 4323-51-11, 4323-51-32 4323-51-22, 4323-51-12	

Reljefa modeļa izveidē LAS faili tika pārveidoti un apstrādāti GRASS GIS programmatūrā. Vispirms izveidota jauns projekts un karšu kopa EPSG: 3059 (LKS 92 / Latvia TM) koordinātu sistēmā pie programmatūras palaišanas.

GRASS GIS vidē, izmantojot rīku `r.in.lidar`, tika importēta katra karšu lapa atsevišķi – pirmajā solī, izvēloties importējamo karšu lapu un atzīmējot `Print LAS file info and exit` un `Scan data file for extent then exit`, izvades logā tika iegūta informācija par punktu skaitu un lapas koordinātām `x` un `y` formātā, kuras pēc tam rīkā `g.region` tika ievadītas, lai programmatūrai norādītu aprēķinu reģionu tālākai datu apstrādei. Koordinātas `X` atbilst ziemeļu un dienvidu robežām (`max=n`), savukārt `Y` atbilst austrumu un rietumu robežām (`max=e`). Papildus arī ir iespējams norādīt `Z` ass robežas, ja nepieciešams. Izšķirtspējas logā tika norādīta izšķirtspēja jeb rindas un kolonnas iestatītajā aprēķinu reģionā, rīks palaists un aizvērts. Izšķirtspēja tiek norādīta, lai būtu pietiekams LiDAR punktu skaits katrā rastra šūnā, šajā gadījumā: $5680230/(800*800)=8,87$. Atgriežoties rīkā `r.in.lidar` rīkā – pie izvades norādīta jaunās rastra kartes nosaukums un izšķirtspēja (metros), pie atlasas izvēlēta 2. klase (`class_filter=integer`), atzīmēts `Use the extent of the input for the raster extent` un `Override projection check (use current location's projection)` un palaists rīks. LĢIA piedāvātie `.las` faili iepriekš jau ir saklasificēti, kur 2. klase norāda tikai zemes virsmas klasi (bez krūmiem, kokiem utt.), kura tieši nepieciešama reljefa modeļa izveidei, savukārt izvēlētajā atzīmes norādīs to, ka lietotājs ir apzinīgi izvēlējis aprēķinu reģionu, iespējamās nesakritības var ignorēt un jaunā rastra karte tiks izveidota norādītajā reģionā. Pārējie iestatījumi atstāti pēc noklusējuma.

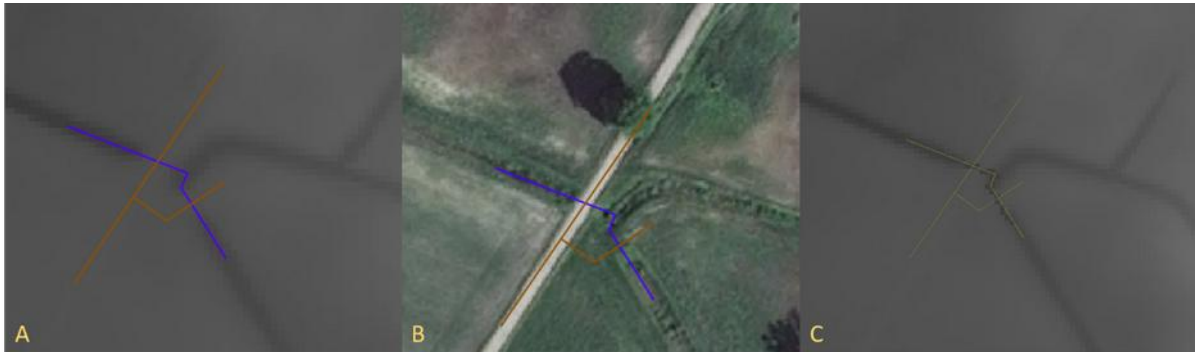
Pēc tam, kad visas nepieciešamās karšu lapas ir importētas reljefa modeļa izveidei, ar rīku `r.fillnulls` tika aizpildītas tukšās šūnas – izvēlēta jaunizveidotā rastra karte un norādīts izvades slānis, savukārt pie interpolācijas metodes izmantota `bicubic`, pārējie iestatījumi atstāti pēc noklusējuma. Tukšo šūnu aizpildīšana ir īpaši svarīga augstākas izšķirtspējas datiem (5 metri un augstāk), kuriem tukšo šūnu īpatsvars būs augstāks.

Pēdējais solis reljefa modeļa izveidē ir karšu lapu apvienošana un eksportēšana tālākai apstrādei un noformēšanai. Rīkā `g.region` pie `[multiple]` `Set regions to match raster map(s)` kā aprēķinu reģions tika norādītas visas izveidotās rastra kartes, savukārt pie izšķirtspējas norādīts nepieciešamais rindu un kolonnu daudzums, lai atbilstu izvēlētajai izšķirtspējai, un palaists rīks, pēc tam, rīkā `r.patch`, arī tika norādītas visas izveidotās rastra kartes, ievadīts jaunās kartes nosaukums un palaists rīks. Visbeidzot, apvienotās rastra kartes vienā failā tika eksportētas GTiff formātā, izmantojot rīku `r.out.gdal`.

Turpmākā reljefa modeļa apstrādē un datu ieguves procesā, QGIS vidē, izveidotie reljefa modeļi GeoTiff (`.tif`) formātā, tika eksportēti uz SAGA GIS Binary Grid (`.sgrid`) formātu, reljefa modeļa tālākai importēšanai jau SAGA GIS vidē.

Vispirms reljefa modelis ar 2 metru izšķirtspēju tika apstrādāts programmatūrā WhiteboxGIS 3.4, kurā ar rīku `Burn Streams At Roads` reljefa modeli tika "iededzināti" reljefa pazeminājumi, kuri tālāko rīku algoritmos kalpo kā caurtekas

zem ceļiem, kā rezultātā ūdens plūsma neapstājas un tiek savienotas divas grāvja daļas abpus ceļam gluži kā dabā. Zemākas izšķirtspējas datiem papildus apstrāde ar šo rīku nav nepieciešama, jo tajos precīzs un izteikts grāvju tīkls nav izdalāms. Latvijā nav izstrādāts precīzs un detalizēts gan grāvju, gan arī autoceļu un nobrauktuvju tīkls, līdz ar to tika digitalizēti grāvju un ceļu tīklu krustpunkti, kuri kopā ar reljefa modeli tika norādīti kā izejas dati, lai sekmīgi palaistu rīku (Att. 16) Vidējais autoceļu platums tika norādīti 20 pikseļi.



Att. 16: Grāvju un ceļa krustpunktu piemērs Stendes pētījuma teritorijā⁵.

SAGA GIS tika izmantots Relative heights and slope rīks ar noklusējuma vērtībām, lai iegūtu normalizēto augstuma modeli. Normalizētais augstums skalā no 0 (pazeminājumi) līdz 1 (pacēlumi) salīdzina lokālos teritorijas apstākļus (Böhner, Selige 2006). Normalizētais augstuma modelis būtiskāk parāda tieši lokālās topogrāfijas atšķirības, pat ja to izmaiņas ar absolūtiem augstumiem ir salīdzinoši mazas.

Nākamajā solī ar rīku Fill sinks (wang & liu) (izmantojot noklusējuma vērtības) tika izveidoti datu slāņi ar aizpildītām beznoteces ieplakām (Wang and Liu, 2006).

Izmantojot rīku Slope, Aspect, Curvature ar noklusējuma metodi, taču gala rezultātu norādot grādos (kā vērtības), pētījuma teritorijām tika aprēķināti nogāžu slīpumi. Palielinoties virsmas slīpumam, ūdens uzkrāšanās risks attiecīgajā vietā samazinās, taču palielināsies nogāzes lejas daļā, it īpaši, ja veidojas negatīva reljefa forma uz kuru ir vērsta galvenās ūdens plūsmas no apkārtējās teritorijas (Beven and Germann, 1982).

Sateces baseina lielums iegūts ar rīku Catchment area, izmantojot noklusējuma vērtības. Šis rādītājs parāda, no cik lielas platības katra šūna saņem virszemes ūdens noteci, kā rezultātā ir iespējams izšķirt vienmērīgas ūdens plūsmas reljefa modeli, kuras pārvietojas no augstākā uz zemāko punktu (O'Callaghan and Mark, 1984).

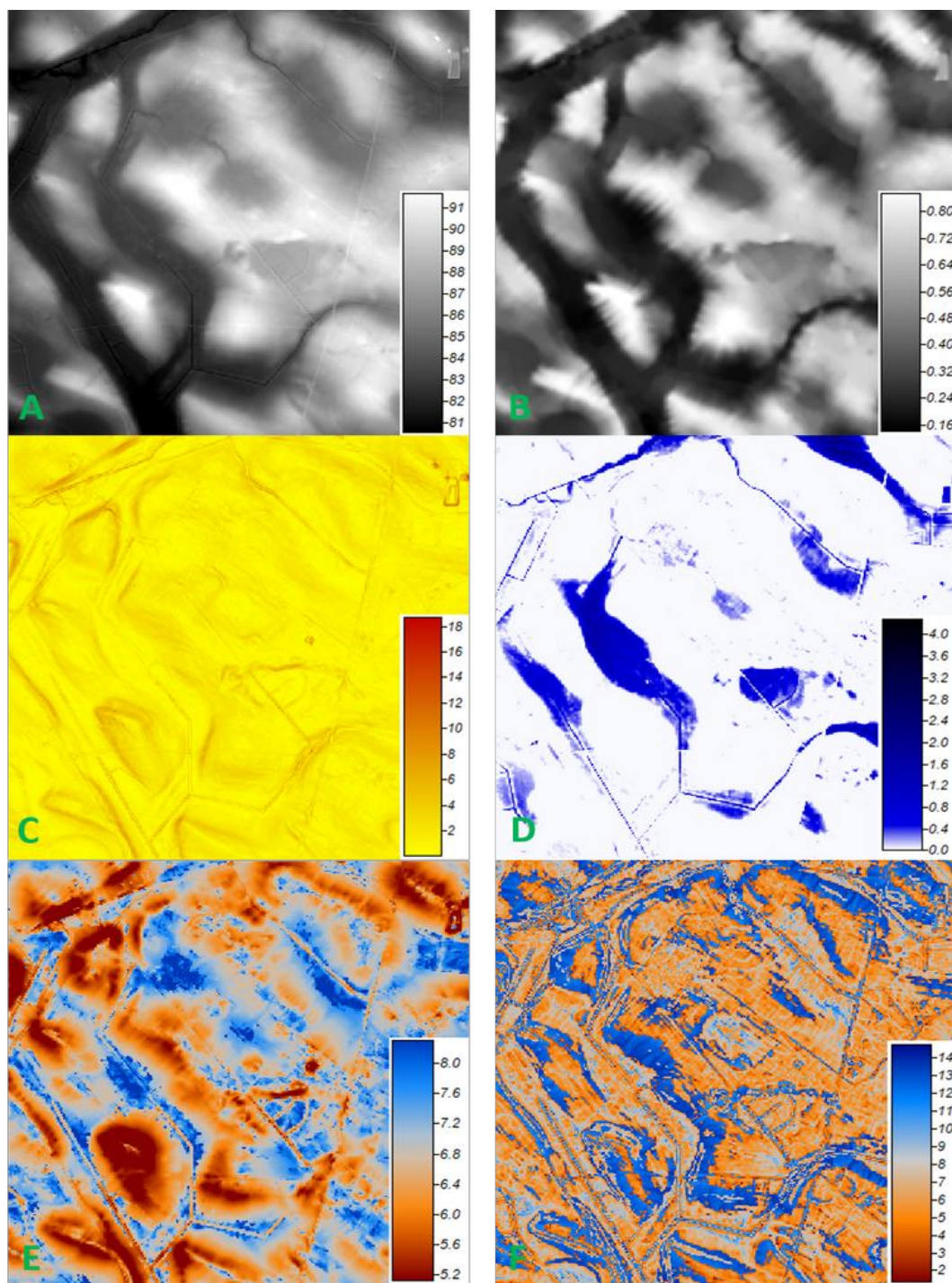
Visbeidzot, ar rīkiem SAGA Wetness Index un Topographic Wetness Index (TWI), arī izmantojot noklusējuma iestatījumus, katram reljefa modelim tika izveidoti divi dažādi mitruma indeksi. SAGA mitruma indeksa algoritmos uzsvars tiek likts uz

⁵ A) Neapstrādāts reljefa modelis; B) Ortofoto karte (5. cikla); C) Apstrādāts reljefa modelis programmatūrā WhiteboxGIS.

šūnas vertikālajiem attālumiem attiecībā pret blakus esošajiem ūdens objektiem un straumēm, savukārt topogrāfiskais mitruma indekss ūdens plūsmu modelē kā plānu slāni, kas pārvietojas no šūnas uz šūnu (Böhner et al., 2002). Pētījumus ar publicētiem rezultātiem saistībā ar SAGA mitruma indeksu zinātniskajā literatūra praktiski nav. TWI indekss dažādos pētījumos galvenokārt ir atzīts par ļoti precīzu rīku, lai noteiktu un kategorizētu mitruma apstākļus, taču šo indeksu parasti izmanto reljefa modeļiem ar mazāku izšķirtspēju (25 metri un zemāk), kā arī modelis nav tik precīzs līdzenā un vienmērīgās virsmās (Case et al., 2005). SAGA un topogrāfiskais mitruma indekss ar rīku Raster normalisation tika normalizēts vērtībās no 0 (sausākās) līdz 10 (mitrākās), lai katrā pētījumu teritorijā un reljefa modeļa izšķirtspējā būtu vienāda vērtību amplitūda un iegūtos datus varētu savstarpēji salīdzināt.

Iegūtie datu slāņi no SAGA GIS tika eksportēti SDAT formātā un importēti QGIS vidē, kurā ar rastra kalkulatoru (Raster Calculator) no aizpildītā reljefa modeļa tika atņemts oriģinālais reljefa modelis, kā rezultātā tika iegūti datu slāņi ar beznoteces ieplaku dziļumu.

SAGA GIS vidē izveidotos datu slāņus iespējams izstrādāt arī QGIS vidē ar integrētajiem SAGA GIS rīkiem. Katra soļa rezultāti reljefa modeļa izveidē un apstrādē kartogrāfiski ir attēloti Att. 17.



Att. 17: Reljefa modeļa apstrādes process⁶.

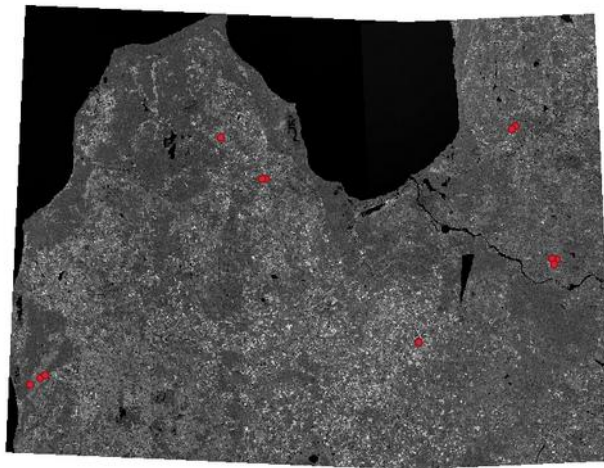
⁶ A) Reljefa modelis (augstums v.j.l.); B) Normalizētais augstums; C) Nogāzes slīpums (grādos); D) Beznoteces ieplaku dziļums (metri); E) SAGA mitruma indekss; F) Topogrāfiskais mitruma indekss.

Satelītainu apstrāde

Multispektrālās satelītainas tika lejupielādētas no Eiropas Kosmosa aģentūras atvērto datu portāla (pieejams: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), kurā tās ir sadalītas 100 km² lielās karšu lapās JPEG2000 formātā. Datu atlasē tika izvēlēti Level-2A (apstrādāti atmosfēras apakšējo slāņu) attēli (S2MSI2A) no satelīta S2A_* (European Space Agency, 2019). Pētījumam tika izvēlētas satelītainas četros dažādos mēnešos (aprīlis, jūnijs, augusts, oktobris). Sentinel-2 karšu lapu nosaukumi un izmantoto ainu datumi katrai pētījuma teritorijai apkopoti Tab. 4, savukārt izmantoto ainu kopskats attēlots Att. 18.

Tab. 4: Sentinel-2 satelītainu izmantotās karšu lapas un to datumi.

Pētījuma teritorija	Sentinel-2 karšu lapa	Datumi
Stende	T34VEJ	2018.04.08., 2018.06.09., 2018.08.23., 2018.10.15.
Pūre1 un Pūre2	T34VFJ	2018.04.13., 2018.06.09., 2018.08.23., 2018.10.15.
Skrīveri1, Skrīveri2 un Skrīveri3	T35VLC	2018.04.07., 2018.06.09., 2018.08.10., 2018.10.17.
Rucava1, Rucava2, Rucava3	T34VEH	2018.04.13., 2018.06.02., 2018.08.01., 2018.10.15.
Īslice	T34VFH	2018.04.13., 2018.06.09., 2018.08.08., 2018.10.17.
Krimulda1 un Krimulda2	T35VLD	2018.04.07., 2018.06.09., 2018.08.08., 2018.10.17.

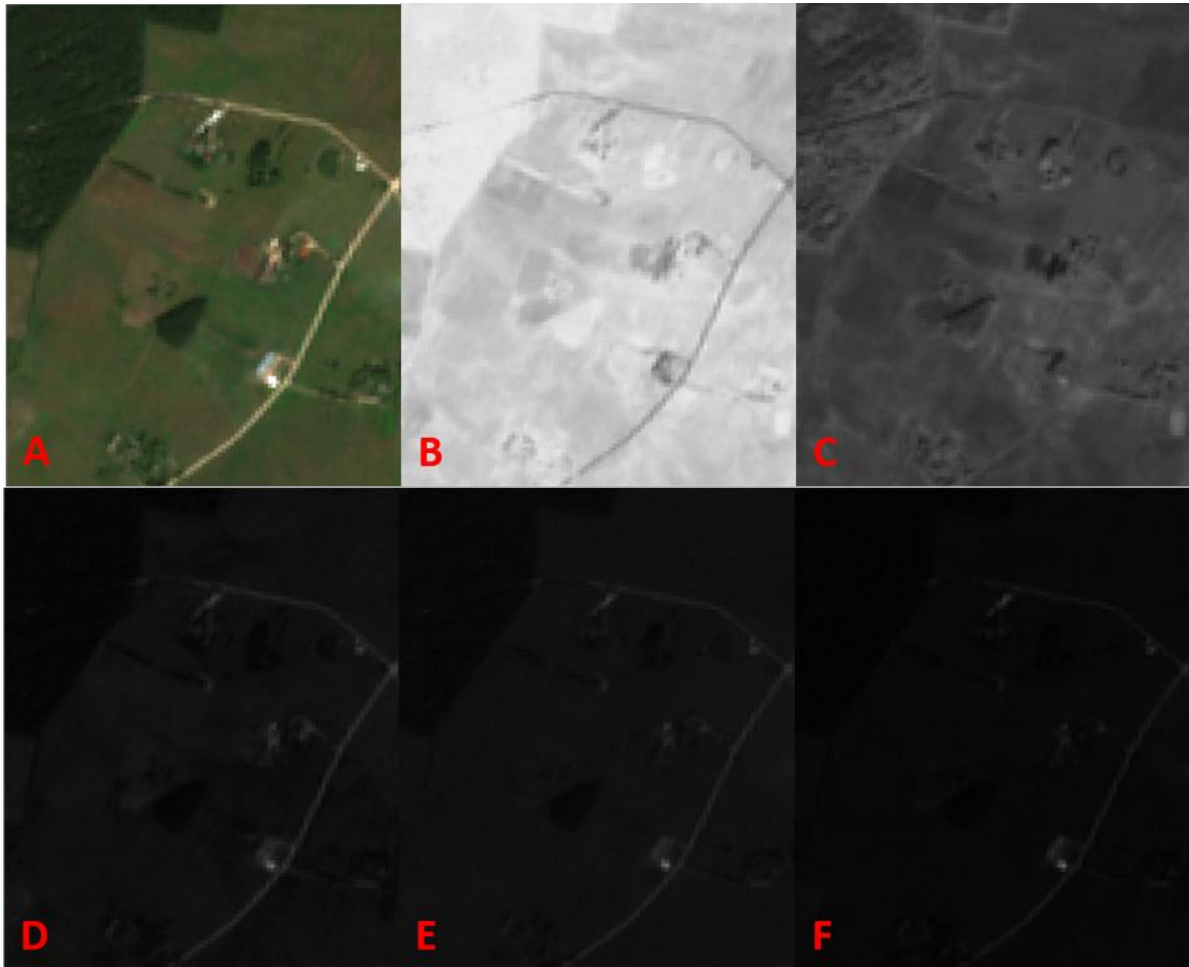


Att. 18: Sentinel-2 multispektrālo satelītainu kopskats.

Pētījumā tika izmantotas satelītainas ar augstāko izšķirtspēju (10 metri) visos pieejamos spektra kanālos – zilā (B02), zaļā (B03), sarkanā (B04) un infrasarkanā (B08) gaisma. Papildus tika aprēķināts arī NDVI indekss (angl. Normalized Difference Vegetation Index), izmantojot QGIS rastra kalkulatoru, pēc 1. formulas, kur NIR ir infrasarkanā un VIS ir redzamā sarkanā spektra gaisma (Pettorelli et al., 2005):

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)} \quad (1)$$

Atšķirīgas virsmas dažādi absorbē un atstaro gaismas viļņus, pēc multispektrālajām satelītainām un NDVI var ne tikai izšķirt dažādas kultūras un zemes lietojuma veidus, bet arī veģētācijas veselīgumu un mitruma apstākļus (Carlson et al., 1994). Dažādu spektra kanālu apkopojums ir attēlots Att. 19.



Att. 19: Sentinel-2 multispektrālo attēlu piemērs augusta mēnesī⁷.

Datu analīze

Rezultāti tika analizēti programmatūrās R un PC-Ord, kurās tika salīdzināti augsnes mitruma mērījumi (augšnes mitruma %) ar skaitlisko vērtību no katra LiDAR un Sentinel-2 slāņa. Vispirms QGIS vidē tika izmantots Point Sampling Tool rīks, lai informāciju par katru parauglaukumu apvienotu vienā datu tabulā .xlsx formātā. MS

⁷ A) Redzamā gaisma; B) NDVI; C) Infrasarkanais spektrs; D) Sarkanais spektrs; E) Zaļais spektrs; F) Zilais spektrs.

Excel vidē datu tabulas tika sakārtotas, noformētas un eksportētas tālākai datu analīzei.

Programmatūrā R katram datu slānim tika aprēķināts Pīrsona korelācijas koeficients (STHDA bez dat.). Dati ar augstāko korelāciju (virs 0,4 vai zem -0,4) tika ievietoti lineārās regresijas modelī (Prabhakaran 2017), lai noteiktu statistisko nozīmību (p vērtība) un determinācijas koeficientu (r^2). Papildus tika izmantota galveno komponentu analīze (randomizēts tests) programmatūrā PC-Ord kā alternatīva datu analīzes metode, kuras galvenā priekšrocība ir ērta rezultātu vizualizācija.

Prognostiskā modeļa izveide

Prognostiskais modelis tika veidots QGIS vidē, rastra kalkulatorā, ievadot formulā iegūtās vērtības no datu analīzes programmā R un izmantojot iepriekš izveidotos datu slāņus. Tika izmantots sekojošs lineārs vienādojums 2. formulā (Myers, 2000):

$$y = i + x_1 * est_1 + x_2 * est_2 \quad (2)$$

kur x_1 un x_2 ir mainīgie datu slāņi, i ir lineārā modeļa *Intercept* vērtībā, savukārt est_1 un est_2 datu slāņu vērtības lineārajā modelī (*Estimate*).

Lineārais modelis tika pārbaudīts ar VIF (angl. *Variance Inflation Factor*) vērtību, vai izveidotais modelis nedublējas ar citiem izskaidrojošiem faktoriem (datu slāņiem). VIF rādītājam ir jābūt zem 5 (O'brien, 2007). Iegūtais prognostiskais rastra modelis ar QGIS rīku Raster normalization tika normalizēts vērtībās no 0 (saus) līdz 10 (pārmitrs).

Prognostiskā modeļa analīze

Iegūtais prognostiskais modelis rastra kartes formātā tika salīdzināts ar augsnes mitruma mērījumiem uz lauka pētījuma teritorijās "Rucava3" un "Skrīveri" (augsnas mitruma mērījumi tika veikti vienā laikā ar pārējām pētījuma teritorijām), kopā veidojot 50 parauglaukumus. Iegūtie rezultāti tika pārveidoti binārā formātā jeb divās klasēs – augsnes mitruma mērījumiem uz lauka tika noteikta sliekšņa vērtība 30%, ja nomērītais mitrums ir zemāks par 30% tad augsnes apstākļi ir optimāli, ja vienāds vai lielāks par 30%, tad augsnes apstākļi ir pārmitri. Salīdzinoši zema sliekšņvērtība tika izvēlēta, jo datu ievākšanas laikā (2019. gada aprīlis) ir bijis ļoti maz nokrišņu un salīdzinoši sauss periods. Prognostiskajam modelim tika izvēlētas vairākas sliekšņvērtības, visi iegūtie rezultāti ievietoti uztvērēja darbības raksturlīknē (ROC (angl. Receiver Operating Characteristic curve)), lai piemeklētu labāko sliekšņvērtību, pēc kuras aprēķināta prognostiskā modeļa kļūdu matrica un kopējā pareizība (Fawcett, 2006; Powers, 2011).

Uztvērēja darbības raksturlīknes izveidošanai iegūtie rezultāti 50 parauglaukumos pie katras sliekšņvērtības tika apkopoti pēc principa, kurš ir aprakstīts Tab. 5.

Tab. 5: Rezultātu apkopošanas princips uztvērēja darbības raksturliiknes izveidošanai

Realitāte	Modelis	Optimāli	Pārmitri
Optimāli		(TP) Pareizi saklasificēts, ka šie ir optimāli mitruma apstākļi (<30%)	(FP) Uzrādīti pārmitri, lai gan realitātē ir optimāli (par daudz)
Pārmitri		(FN) Uzrādīti optimāli, lai gan realitātē ir pārmitri (palaists garām)	(TN) Pareizi saklasificēts, ka šie pārmitri apstākļi (>30%)

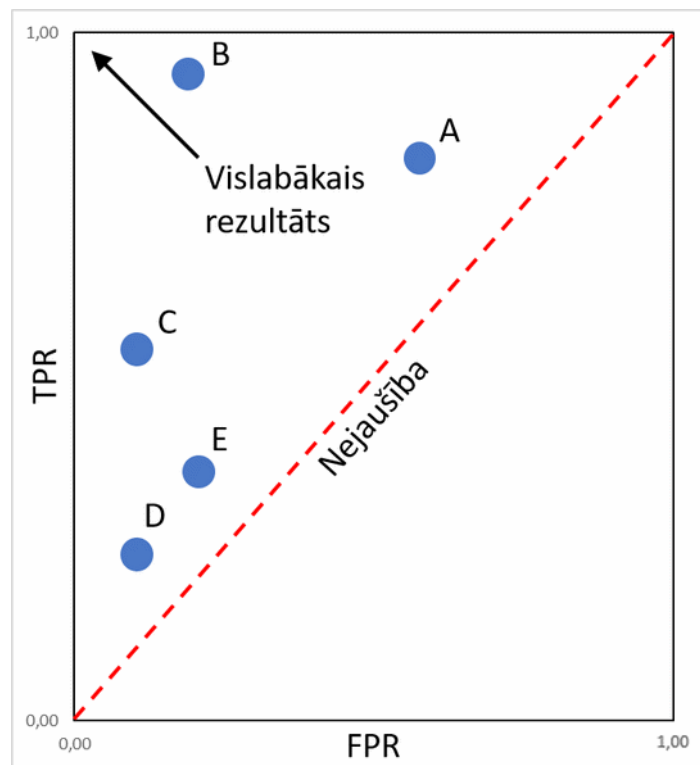
Tika aprēķināts patiesi pozitīvā likme (TPR (angl. True Positive rate)) pēc 3. formulas:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

un nepatiesi pozitīvā likme (FPR (angl. False Positive Rate)) pēc 4. formulas:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (4)$$

Katras sliekšņvērtības aprēķinātās likmes (no 0 līdz 1) tiek atliktas grafiski uz koordinātu plaknes, jo punkta atrašanās vieta ir tuvāk augšējam kreisajam stūrim (ar koordinātām: 0,1), jo labāks ir izveidotais modelis. Kreisajā apakšējā stūrī modelis kļūdās reti, taču palaiž garām arī nepieciešamos objektus, savukārt grafika augšējā labajā stūrī modelis pie pirmās indikācijas norāda uz atbilstību klasei, taču bieži kļūdās. Novilkta diagonāle no kreisā apakšējā stūra uz kreiso augšējo atbilst minēšanai. Datu analīze ar uztvērēja darbības rakstura līkni viegli ļauj identificēt labāko sliekšņa vērtību, kura atbilst labākajai vai vēlamojamai likmju (TPR un FPR) attiecībai. Uztvērēja darbības raksturliiknes ilustrācijā par labāko ir uzskatāms B modelis vai sliekšņa vērtība, jo tas atrodas vistuvāk kreisajam augšējam stūrim, savukārt izvēli starp A un E modeļiem vai sliekšņa vērtībām noteiks rezultāta izmantošanas tolerance pret viltus "trauksmi" – A modeļa gadījumā biežāk nepamatoti tiks dots pozitīvs slēdziens, savukārt E drīzāk sniegs negatīvu slēdzienu pozitīva vietā, nekā nepamatoti pozitīvu (Att. 20).



Att. 20: Uztvērēja darbības raksturlīknes ilustrācija.

Izmantojot labāko sliekšņvērtību tika izveidota prognostiskā modeļa kļūdu matrica (Tab. 4), aprēķināta lietotāja pareizība (angl. Accuracy) (varbūtība, vai konkrētajai klasei piedāvātais gadījums atbilda arī dabā) pēc 5. formulas:

$$P = \frac{TP}{(TP + FP)} * 100 \quad (5)$$

ražotāja pareizība (angl. Recall) (varbūtība, vai ir prognozētas pareizās klases) pēc 6. formulas:

$$R = \frac{TP}{(TP + FN)} * 100 \quad (6)$$

kopējā pareizība (angl. Overall Accuracy) pēc 7. formulas (kur N ir kopējais novērojumu skaits):

$$R = \frac{(TP + TN)}{N} * 100 \quad (7)$$

un informētības (Jūdena) (varbūtība, vai modeļa pieņemtais lēmums ir lēmumā balstīts (atkarīgs no informācijas nevis minējuma) indeksu pēc 8. formulas:

$$R = \frac{TP}{(TP + FN)} + \frac{TN}{(TN + FP)} - 1 \quad (8)$$

Reljefa datu apstrāde pētījuma trešajā etapā

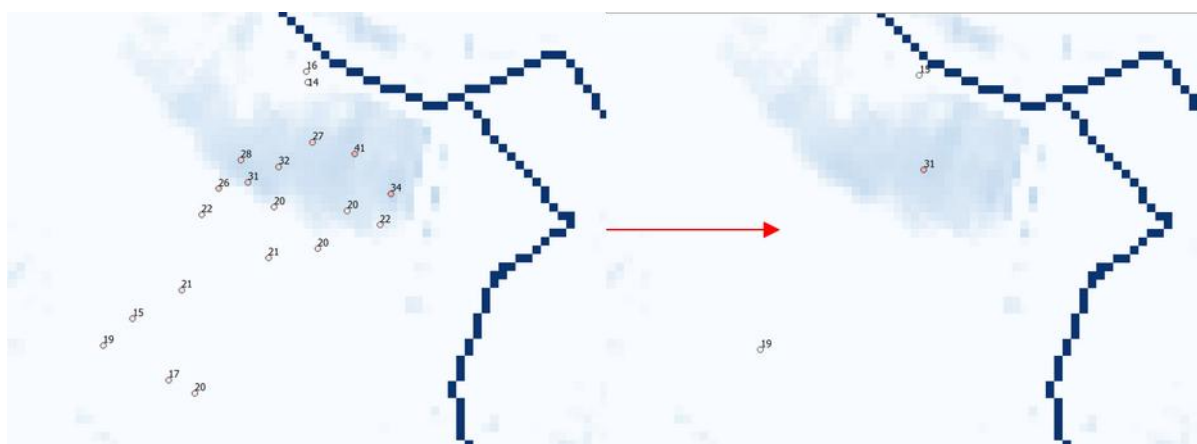
Turpinot reljefa datu apstrādi, tika apzinātas iespējas, kā iespējams iegūt labākus rezultātus ar jau iepriekš pielietotām metodēm (mainot sliekšņa vērtības, algoritmu īpašības u.c.), kā arī iespējas identificēt pārmitrās platības lauksaimniecības zemēs ar citiem rādītājiem vai indeksiem. Vispirms QGIS vidē tika eksperimentēts ar SAGA GIS rīku Fill Sinks (Wang & Liu), mainot mainīgo parametru: minimālais nogāzes slīpums (pie kura ūdens pārvietojas no šūnas uz šūnu) (Minimum Slope [Degree]), savukārt rīkā Saga wetness index tikai mainīti un savstarpēji kombinēti divi ievades parametri no izvēles: platības veids (Type of Area) un nogāzes veids (Type of Slope).

Tika pielietota arī jauna pieeja, lai iegūtu ievades datus Fill Sinks algoritmam – grāvji un ūdenstece tiek pārveidotas par dziļiem reljefa pazeminājumiem (0 m v.j.l.), kuros ietek viss ūdens un aizplūst ārpus reljefa modeļa robežām, simulējot efektīvus meliorācijas tīkla apstākļus. Vispirms grāvju un upju vektora datu slāņi no Zemkopības ministrijas meliorācijas kadastra tika apvienoti vienā slānī ar QGIS rīku Merge Vector Layers., pēc tam vektora datu slānis tika pārveidots par rastra formāta failu (līniju vietā šūnas) ar rīku Rasterize un ar rīku Clip apgriezts pa katras pētījuma teritorijas robežām, augstums virs jūras līmeņa izveidotajam slānim tika norādīts 0. Visbeidzot, ar GRASS GIS rīku r.patch tika apvienots ūdensteču slānis ar iepriekš izveidoto reljefa modeli, jaunizveidotais slānis tika izmantots rīkā Fill Sinks (Wang & Liu), lai modelētu beznoteces ieplaku dziļumu.

Programmatūrā WhiteboxGIS tika modelēts Depth-to-water indekss – dziļums līdz gruntsūdenim – kā alternatīvs rādītājs ieplaku dziļumam vai augsnes mitruma indeksam. Vispirms tika izmantots rīks Burn Streams at Roads, lai izveidotu reljefa pazeminājumus vietās, kur ūdenstece krustojas ar autoceļiem vai nobrauktuvēm. Turpinājumā tika izmantots rīks Breach Depressions (Fast), lai aizpildītu reljefa modeli, no kura savukārt izveidots Flow Accumulation slānis un no tā izvilktas galvenās ūdens straumes reljefa modelī ar rīku Extract Streams – šajā posmā ir nepieciešams norādīt sliekšņa vērtības atkarībā no apstākļiem dabā, šajā gadījumā tik izmantota aptuvena vidējā vērtība, izvēloties loģiskāko variantu eksperimentējot ar dažādām sliekšņa vērtībām. Ūdens straumju slānis tik apvienots ar ūdenstecēm reljefā (grāvji un upes). Tika aprēķināta matemātiskā nogāze no neapstrādātā reljefa modeļa, vispirms izmantojot rīku Slope, bet pēc tam Tan. Izmantojot ūdens straumju un matemātiskās nogāzes slāņus ar rīku Cost Accumulation tika izveidots slānis, kurš GIS vidē ar pieejamajiem rīkiem parāda pielīdzināmu rezultātu Depth-to-water indeksam, kurš tiek veidots speciālās modelēšanas programmatūrās.

Iegūtie rezultāti no jaunizveidotajiem slāņiem tika apkopoti MS Excel vidē (kā punktveida vērtības) un ar korelācijas koeficientu salīdzinātas ar uz lauka iegūtajiem augsnes mitruma mērījumiem ar mērķi iegūt augstāku korelācijas koeficientu kādam no datu slāņiem nekā iepriekšējā pētījuma etapā.

Rezultāti starp modelētajiem lielumiem un uz lauka iegūtajiem datiem tika apskatīti arī citādāk – katrā pētījuma teritorijā izdalot sausās un slapjās zonas (aptuvenas robežas ievilkas ar roku, atkarībā no augsnes mitruma mērījumu datiem), kurās no attiecīgajā zonā visiem ietilpstošajiem punktiem aprēķināta vidējā vērtībā, kā rezultātā datu apjoms no 200 punktiem (dažādiem augsnes mitruma mērījumiem) tika samazināts uz 28 punktiem (Att. 21).



Att. 21: Shematiska ilustrācija – parauglaukumu skaits pētījuma teritorijā “Skrīveri2” tiek samazināts no 20 uz 3, izdalot divas sausās, vienu slapjo zonu aprēķinot vidējās vērtības katrā zonā.

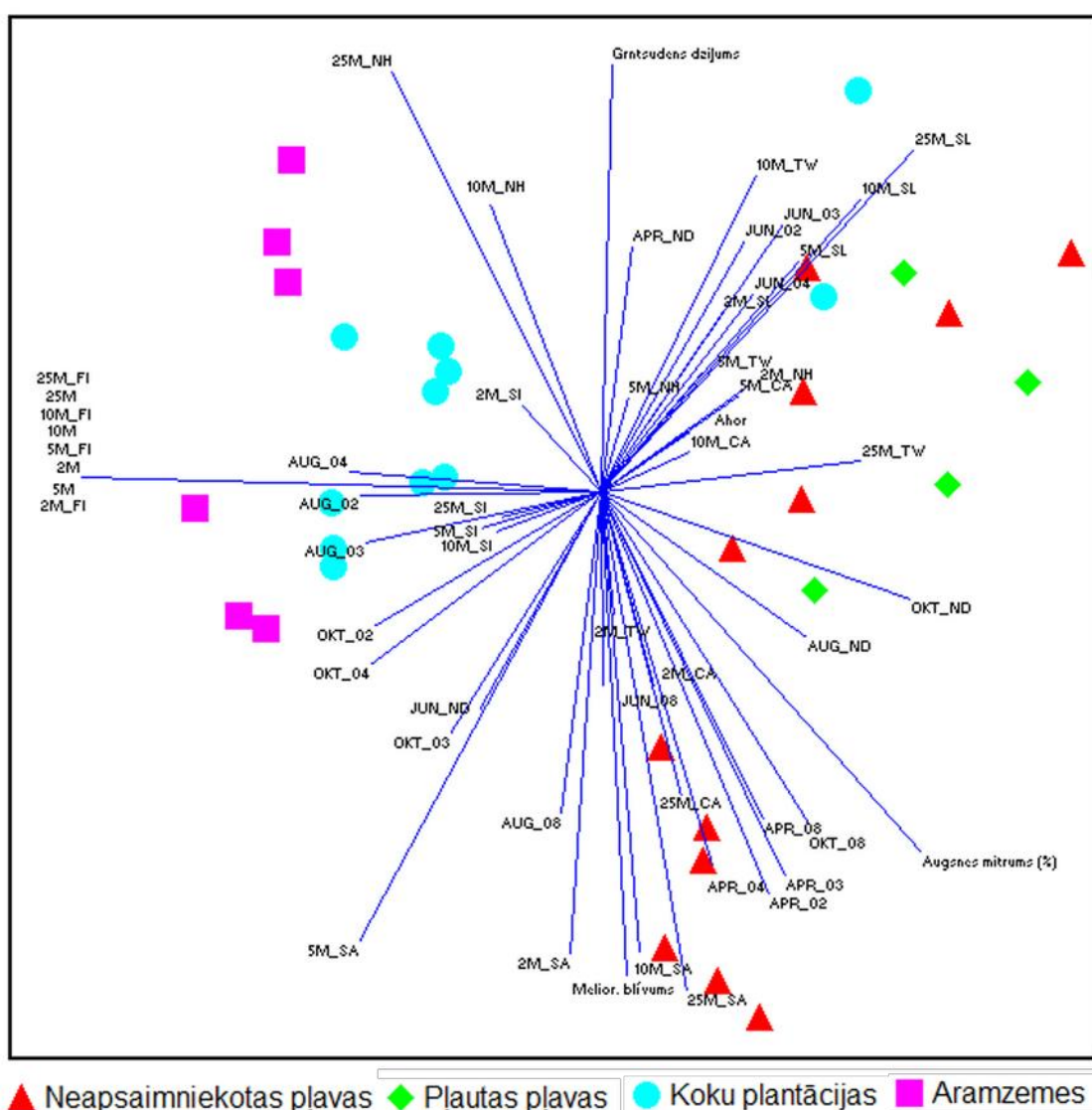
Rezultāti un diskusija

Pētījuma rezultātus var iedalīt četrās daļās – pirmajā daļā tika analizēti iegūtie rādītāji rudens sezonā, pēc kuriem tika būtiski papildināta un uzlabota pētījuma metodika – papildinot pētījuma teritoriju un parauglaukumu skaitu, kā arī veicot tikai augsnes mitruma mērījumus. Otrajā daļā tika analizēti iegūtie rezultāti pavasara sezonā, pēc kuriem tika izvēlēti rādītāji prognostiskā modeļa izveidē. Trešajā daļā tika salīdzināti prognostiskā modeļa rezultāti ar iegūtajiem lauka datiem par augsnes mitruma apstākļiem. Rezultātu un diskusijas ceturrtā daļa sastāv no iegūtajiem rezultātiem par pētījuma otro etapu, uzlabojot esošās un izmēģinot jaunas metodes reljefa datu apstrādē.

Lauka pētījumi rudenī

Atlasot rezultātus ar augstāko korelācijas koeficientu un statistisko nozīmīgumu lineārajā regresijas modelī ($p < 0,05$), dati no lauka pētījumiem rudenī parāda divus

būtiskus rādītājus: normalizētais augstuma modelis 25 metru izšķirtspējā ($r^2=0,45$) un zilā spektra gaisma aprīlī ($r^2=0,39$), taču ne korelācija, ne arī determinācijas indekss nav augstvērtīgi. Līdzīgi rezultāti tika iegūti arī galveno komponentu analizē, kur visciešākā sakarība starp augsnes mitruma mērījumiem ir normalizētajam augstuma modelim 25 un 10 metru izšķirtspējās, beznoteces ieplaku dziļumam un sateces baseina lielumam 2 metru izšķirtspējā no digitālā reljefa modeļa datiem, kā arī dažādiem spektru kanāliem aprīļa mēnesī, infrasarkanā spektra kanāla oktobrī un NDVI augusta mēnesī no satelītainām. Ciešas sakarības starp gruntsūdens dziļumu, A horizonta dziļumu, meliorācijas tīkla blīvumu un augsnes mitrumu netika konstatētas (Att. 22).



Att. 22: Galveno komponentu analīzes rezultāti rudens datu kopai.

Rezultāti liecināja, ka vislabākais indikators mitruma apstākļu noteikšanai ir normalizētā augstuma modelis un piemērotākā izšķirtspēja ir 25 metri, kurā

rezultātus neietekmē augstas izšķirtspējas trokšņi un mikroreljefs, taču vēl joprojām ir izšķirami lokālās topogrāfijas pacēlumi un ieplakas, savukārt citi rādītāji (šūnas sateces baseina lielums un beznoteces ieplaku dziļums) vislabāk ir izšķirami tieši augstas izšķirtspējas digitālā reljefa modelī. Rezultāti no dažādiem spektriem aprīļa pirmajā pusē liecināja par to, ka no satelītainām pārmitrās platības vislabāk varētu identificēt pavasarī, kad vizuāli ir novērojams sniega kušanas ūdens uzkrāšanās augsnes virskārtā, savukārt augusta mēnesī augsnes mitrumu parāda dažādas augu kultūras ar atšķirīgu NDVI indeksu. Iespējams, ka labāka pārmitro apstākļu identificēšana no satelītainām būtu iespējama agrākā pavasara vai vēlāka rudens mēnesī, kad sniega kušanas vai ilgstošu lietavu rezultātā ūdens akumulācija virszemē ir vēl izteiktāka, taču šādu iespējamību limitē biežais mākoņu pārklājums Latvijas apstākļos – pētījumā tika izmantotas gan pirmās, gan arī pēdējās pieejamās satelītainas bez mākoņiem par 2018. gadu.

Iegūtie rezultāti rudens sezonā parādīja, ka pētījumam izvēlētā metodika kopumā ir piemērota – optimālākais rādītājs augsnes mitruma noteikšanai lauka apstākļos ir augsnes mitruma mērījumi (izteikti %) ar speciālu zondi, datus ir iespējams atbilstoši analizēt datu statistiskajā analizē un salīdzināt ar iegūtajiem indikatoriem un vērtībām ĢIS vidē, taču no konkrētajiem rezultātiem netika izdarīti tieši secinājumi vai veidots prognostiskais modelis, jo gan pētījumu teritoriju, gan arī parauglaukumu skaits nebija pietiekami liels – katrai pētījuma teritorijai ir dažādi apstākļi, kuri būtiski ietekmē kopējos rezultātus.

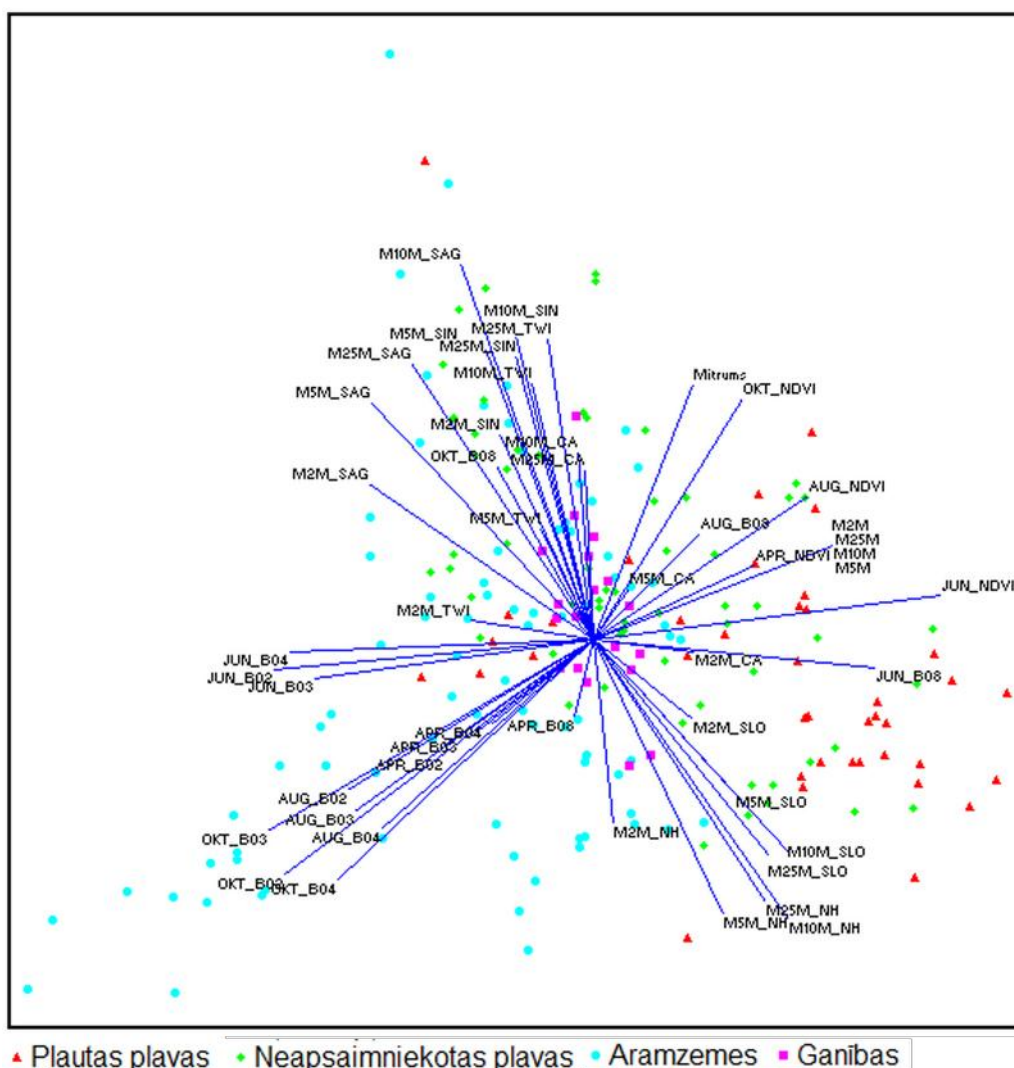
Rezultātos netika atspoguļoti augsnes pretestības mērījumi, jo datu analīzes procesā tika atklāts, ka iekārtai ir tehnisks bojājums un lielākā daļa datu nav korekti. Turpmākajā pētījumā netika noteiktas arī augsnes īpašības kā A horizonta dziļums, gleja horizonta dziļums un augsnes granulometriskais sastāvs un tās izmaiņas, jo, pēc ekspertu konsultācijām, tika secināts, ka šādas augsnes īpašības veidojas ilgā laika posmā un tās var neparādīt aktuālās augsnes mitruma īpašības, kuras var mainīties līdz ar izmaiņām lokālā meliorācijas tīklā. Kā labs augsnes mitruma rādītājs tika atzīts gruntsūdens līmenis, taču tā noteikšana katrā parauglaukumā ir laikietilpīgs process (it īpaši, ja gruntsūdens līmenis ir zemāks par rokas zondes augstumu (115 cm)), starp 39 parauglaukumiem gruntsūdens tika konstatēts tikai 7 parauglaukumos, kā rezultātā, informācijas iegūšana par gruntsūdens dziļumu 250 parauglaukumos, lauka darbos pavasarī, prasītu vairāk kā mēnesi, veidotos atšķirības starp mērījumiem laikā, iespējamās gruntsūdens līmeņa izmaiņas, kā rezultātā šāda metode nebūtu atbilstoša vadlīnijām.

Starp apsekotajiem 39 parauglaukumiem, tikai 8 augšņu apakštīpi (20,5%) mūsdienās sakrīt ar PSRS laika augšņu karti, līdz ar to PSRS laika kartogrāfiskais materiāls vairāk kalpo kā aptuvenš informatīvais materiāls nevis precīza informācija par

augšņu apakštipiem un granulometrisko sastāvu, ko ietekmē laika (augšņu procesi), mēroga un metodoloģijas (augšņu apzināti tika norādītas mitrākas, lai iegūtu finansējumu meliorācijas sistēmu izbūvei) faktori. Galvenās izmaiņas starp PSRS augšņu karti un pēc lauka darbos iegūtajiem rezultātiem noteiktajos augšņu apakštipos ir podzolēšanās procesa lielāks īpatsvars un mazāki augšņu mitruma apstākļi.

Lauka pētījumi pavasarī

Iegūtie rezultāti pavasara sezonā, pēc metodikas uzlabošanas un parauglaukuma skaita palielināšanās, ir statistiski zemāki, arī rādītāji ar labākajiem rezultātiem ir atšķirīgi starp abām datu kopām. Augstākos korelācijas koeficientus uzrāda beznoteces ieplaku dziļums 5 metru izšķirtspējā (0,41) un NDVI augusta mēnesī (0,43), taču rādītāji nav statistiski nozīmīgi ($p > 0,05$) un determinācijas koeficienti lineārajā regresijas modelī ir ļoti zemi ($r^2 = 0,17$ un $r^2 = 0,19$). Rezultāti starp datu analīzes metodēm rudens sezonā bija līdzīgi, taču salīdzinot aktuālos augšņu mitruma mērījumus, veidojas lielākas atšķirības. Galveno komponentu analīze parāda, ka ciešākā sakarība starp noteikto augšņu mitrumu un modelētajiem rādītājiem ĢIS vidē ir NDVI oktobra mēnesī, NDVI augusta mēnesī un beznoteces ieplaku dziļums 5 metru izšķirtspējā ir ievērojami atšķirīgi no iegūtajiem mērījumiem uz lauka (Att. 23).



Att. 23: Galveno komponentu analīzes rezultāti rudens datu kopai.

Papildinot metodiku, veicot atkārtotus mērījumus pavasara sezonā un būtiski palielinot analizējamo datu kopu, statistiski augstvērtīgi rezultāti netika iegūti – tas nozīmē, ka neviens no 49 ĢIS vidē izstrādātajiem rādītājiem un indeksiem, no augstas izšķirtspējas satelītainām un lāzerskenēšanas datiem, nespēj identificēt sausākas un mitrākas vietas izvēlētajās 10 dažādās pētījuma teritorijās. Lokālais reljefs nav būtiskākais faktors, kas ietekmē augsnes mitrumu pētījuma teritorijās, savukārt dažādi Zemes virsmas segumi pārāk atšķirīgi reaģē uz augsnes mitruma izmaiņām. Kopējie rezultāti parāda tendenci, ka zemākas izšķirtspējas datiem (25 metri) ir ciešāka saistība ar augsnes mitruma mērījumiem, savukārt augstas izšķirtspējas datiem (2 metri) šī saistība ir viszemākā, savukārt augsnes mitruma apstākļus no satelītainām labāk var noteikt augustā.

Grupējot pētījuma teritorijas pēc nogulumu veidiem, būtiskas atšķirības pētījuma rezultātos neveidojas, savukārt grupējot pēc zemes lietojuma veida, gan

apsaimniekotiem, gan neapsaimniekotiem zālājiem (pļavām) korelācija starp NDVI augusta mēnesī un augsnes mitruma mērījumiem pieaug, sasniedzot attiecīgi 0,56 un 0,47. Dažādās kombinācijās dažādi rādītāji var parādīt augstvērtīgus rezultātus (korelācija virs 0,7), taču jāņem vērā, ka rezultātos veidojas pārāk liela vienas pētījuma teritorijas ietekme. Uzskatāms piemērs ir beznoteces ieplaku dziļums dažādās izšķirtspējās – apstrādājot digitālo reljefa modeli, šāds rādītājs tika konstatēts tikai trijās (no 10) pētījuma teritorijās – Īslīcē, Krimuldā1 un Krimuldā2 – analizējot šīs pētījuma teritorijas atsevišķi, korelācija starp augsnes mitruma mērījumiem dažādās izšķirtspējās variē starp 0,8 un 0,9, kā rezultātā būtiski tiek ietekmēti rezultāti mazākās datu kopās.

Līdzīgs pētījums tika izstrādāts Ņujorkā, kur piecās dažādās lauksaimniecības zemēs tika veikti augsnes mitruma mērījumi ar zondi un rezultāti salīdzināti ar dažādiem, pielāgotiem topogrāfiskā mitruma indeksiem (TI, STI, TWI), nogāzes un plūsmas uzkrāšanās rādītājiem no digitālā reljefa modeļa 3 un 10 metru izšķirtspējās. Labākās kombinācijas rezultāti tika iegūti ar TWI indeksu 3 metru izšķirtspējā (korelācijas koeficients 0,78 un determinācijas indekss (r^2) 0,61) (Buchanan et al. 2014). Labākus rezultātus augstas izšķirtspējas digitālajos reljefa modeļos lauksaimniecības zemēs (1 un 2 metri) ieguva arī Īru (Thomas et al., 2017) un zviedru (Schmidt and Persson, 2003) pētnieki, taču galvenās atšķirības iezīmējas dažādos lokālos apstākļos, kurus būtiski ietekmē tādi faktori kā ģeoloģiskie nogulumu, meliorācijas tīkla stāvoklis un sadrumstalots zemes lietojuma veids.

Publikācijas ar augstiem rezultātiem, izmantojot optiskos attēlus no satelīta, nav retums, taču bieži vien datu izšķirtspēja nav augsta (100 metri, Ryerson et al., 2011), vai arī optiskie attēli tiek kombinēti ar Sentinel-1 radara datiem (Fieuzal et al., 2011), vai arī ar termiskajiem datiem no dažādām platformām (Holzman et al., 2014), kā rezultātā pētījumu metodika ir krietni apjomīgāka un sarežģītāka.

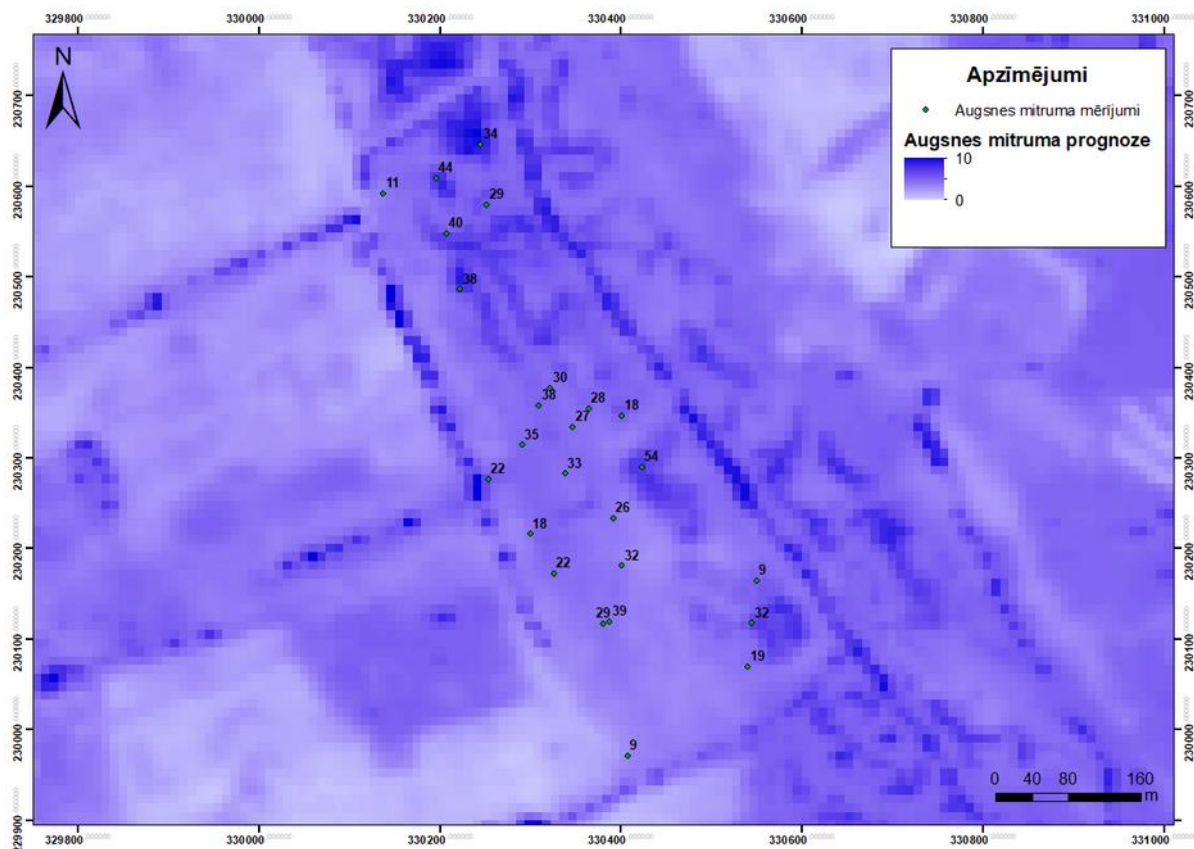
Latvijas teritorijā pārmitrus augsnes apstākļus mežos, izmantojot lāzerskenēšanas datus un satelītainas, ir pētījis Jānis Ivanovs, kura pētījumos tika modelētas beznoteces ieplakas, sasniedzot 62% precizitāti (Ivanovs et al., 2017), un izstrādāts augsnes mitruma iespējamības koeficients, sasniedzot 80-94% precizitāti (atkarībā no ģeoloģisko nogulumu tipa, Ivanovs and Lupikis, 2018), taču augsnes mitruma apstākļi mežā netiek regulēti ar pazemes meliorācijas sistēmas palīdzību, informācija par nelabvēlīgiem apstākļiem koku vainagos parādās labāk un saglabājas ilgāk, jo koks, salīdzinājumā ar lauksaimniecības kultūrām, aug daudz lielāku laika periodu un nav tik ļoti pakļauts īstermiņa ietekmēm, kā arī datu analizē izmantota binārā loģika jeb katrs pētījuma parauglūkums iedalīts divās kategorijās – pārmitri un optimāli mitruma apstākļi.

Prognostiskā modeļa izvērtējums

Neskatoties uz iegūtajiem zemajiem rezultātiem datu analizē, augsnes mitruma prognostiskais modelis tika izveidots no abiem labākajiem rādītājiem – NDVI augusta mēnesī un beznoteces ieplaku dziļums 5 metru izšķirtspējā – tos apvienojot vienā lineārā modelī, kā rezultātā tika iegūts arī labāks determinācijas indekss ($r^2=0,29$) atšķirībā no katra rādītāja atsevišķi. Prognostiskais rastra modelis tika veidots ar vērtībām, kuras norādītas 9. formulā:

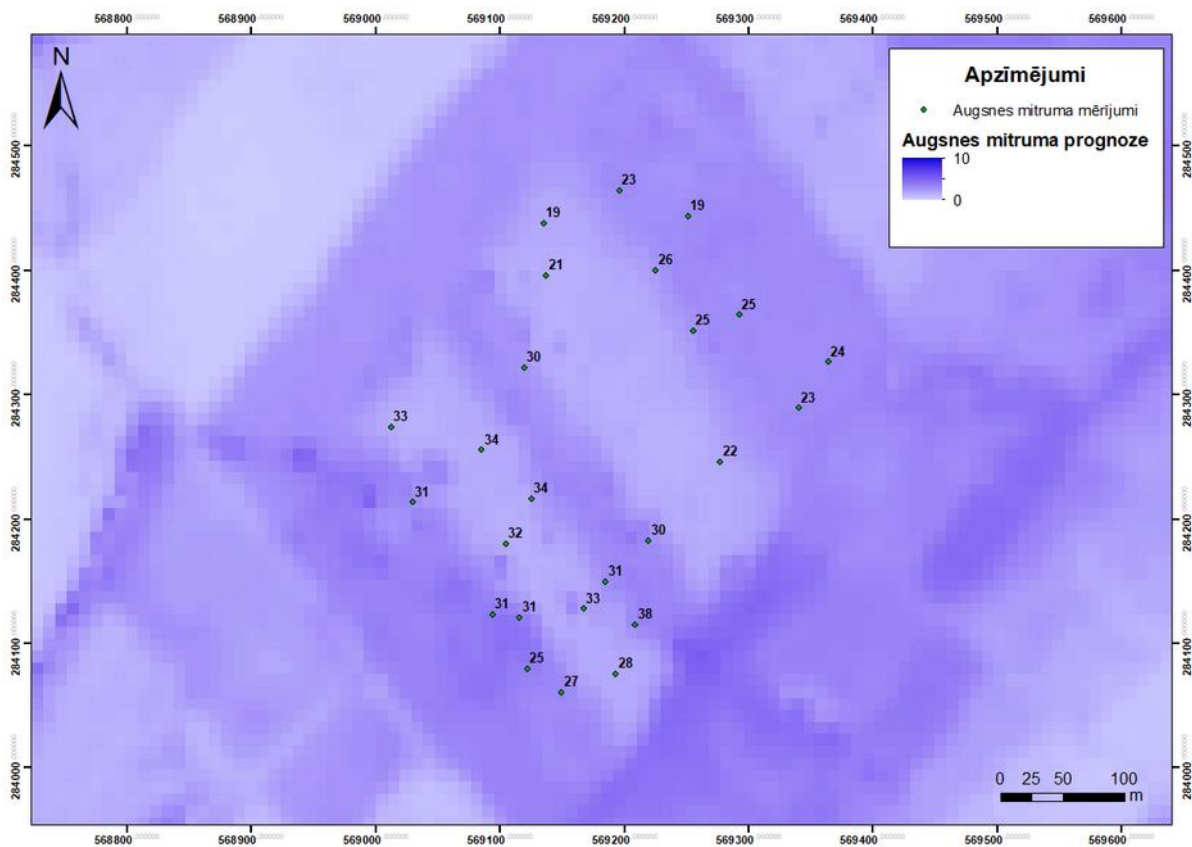
$$y = 0,3602 + \text{ieplakas } 5M * 1,3964 + \text{augustsNDVI} * 0,9680 \quad (9)$$

Iegūtā prognostiskā modeļa rastra karte pētījuma teritorijai "Rucava3" ir attēlotā 4.3. attēlā. Rezultātos ir iespējams novērot pārtrauktu grāvja tīklu (kurš 5 metru izšķirtspējā pilnībā vairs neattēlojas), kurā ir augstākās augsnes mitruma prognozes vērtības. Pētījuma teritorijas vidus daļā izzīmējas vairākas beznoteces ieplakas, kuras teritorijas ziemeļu daļa bija iespējams novērot arī dabā – veidojās atšķirīga veģetācija. Šajās beznoteces ieplakās lielāka augsnes mitruma prognoze sakrīt ar mitrākajām vietām pēc mērījumiem uz lauka. Teritorijas dienvidu rietumu daļā augsnes mitruma prognoze ir vienmērīgi zemāka, vairākos parauglaukumos veidojot atšķirības no iegūtajiem augsnes mitruma rādītājiem.



Att. 24: Augsnes mitruma prognostiskā modeļa karte pētījuma teritorijā "Rucava3".

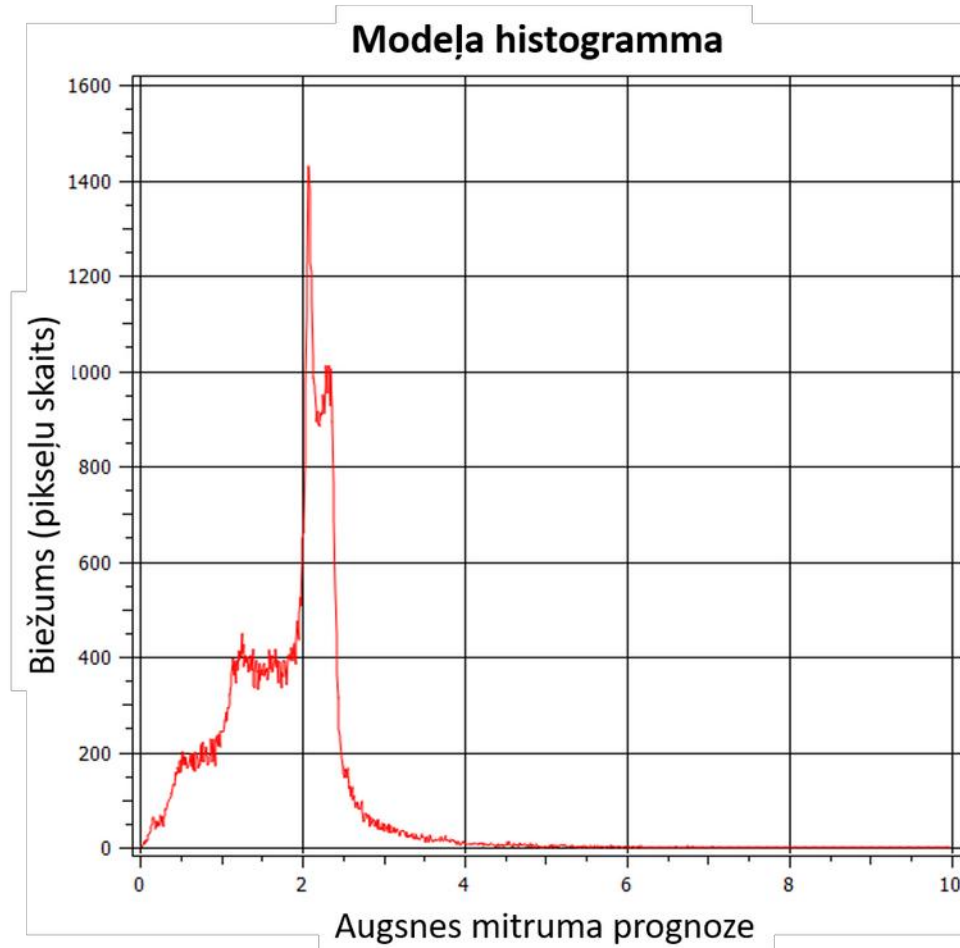
Pētījuma teritorijā "Skrīveri3" ir novērojamas taisnstūra ģeometriskas struktūras prognostiskajā augsnes mitruma modelī, kuras ir veidojušās atšķirīgu augu kultūras dēļ, pētījuma teritorijas dienvidu un dienvidrietumu daļā veidojas nelieli poligoni ar augstāku augsnes mitruma prognozi – tie sakrīt ar modelētajām beznoteces ieplakām, taču tie tikai daļēji sakrīt ar augstākajiem augsnes mitruma mērījumiem dabā. Pētījuma teritoriju "Skrīveri3" kopumā var raksturo kā .sausāku (salīdzinājumā ar "Rucava3"). Lai arī platības vidējā vērtībā etalonteritorijā "Rucava3" ir tikai par dažiem procentiem lielāka, šajā vietā veidojas izteiktāki poligoni ar ekstrēmākām pārmitrām vērtībām, kuras prognostiskais modelis spēj labāk prognozēt (Att. 25).



Att. 25: Augsnes mitruma prognostiskā modeļa karte pētījuma teritorijā "Skrīveri3".

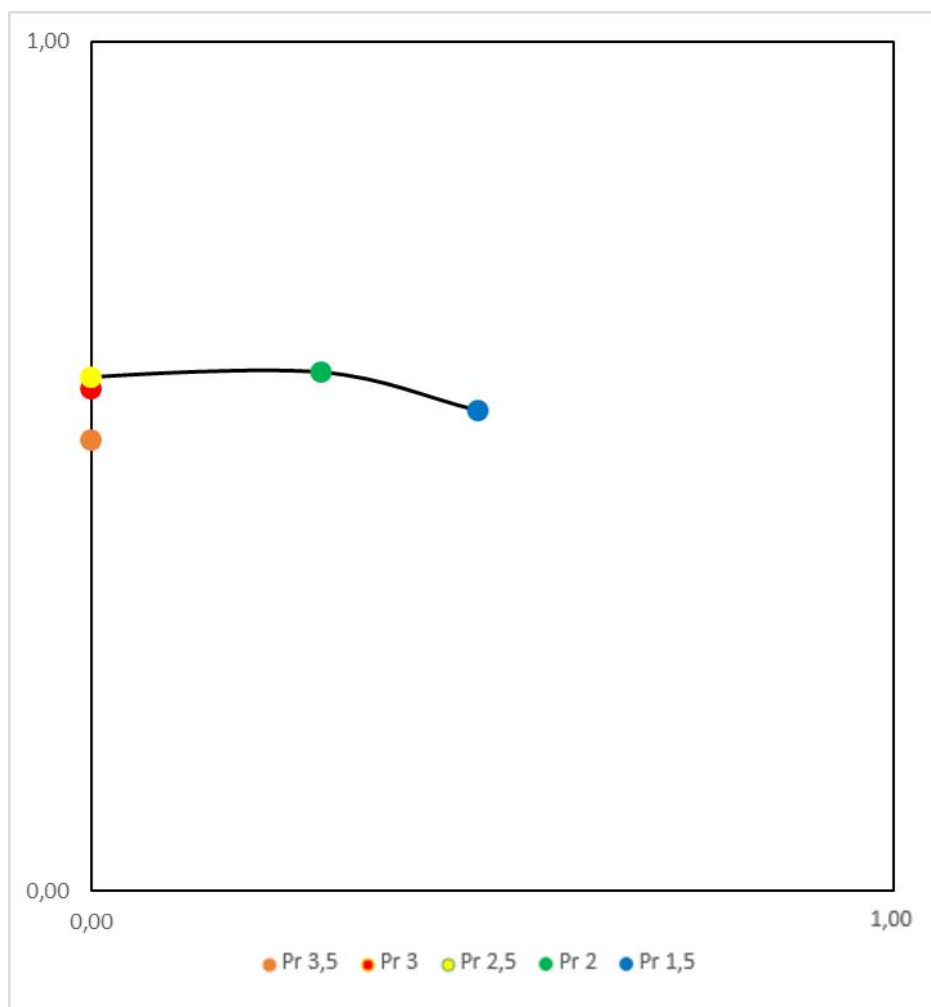
Prognostiskā modeļa histogrammā ir novērojams izteikts pīķis ar vērtībām no 2-2,4 un izteikts kritums pie vērtībām, no kurām modelis sekmīgi parāda pārmitros mitruma apstākļus, vērtības lielākas par 4 ir ļoti reti sastopamas – atsevišķi pikseli galvenokārt grāvja tīklos. Iegūtais prognostiskais modelis ir nevienmērīgs. Izveidojot krietni vienmērīgāku vērtību sadalījumu prognostiskajā modelī, pīķa vērtība izlīdzinot tajā vērtību amplitūdā, kura netiek izmantota, būtu iespējams iegūt labākus (uzskatāmākus) rezultātus kartogrāfiskā veidā un precīzāk būtu iespējams izvēlēties labāko sliekšņvērtību uztvērēja darbības raksturliknē. Uzlabojot metodikas nianšes, visdrīzākais būtu iespējams iegūt arī vienmērīgāku jeb labāku datu sadalījumu, kas

precīzāk atbilstu arī mērījumiem dabā. Prognostiskā modeļa histogramma pētījuma teritorijai "Rucava3" ir attēlota Att. 26, modeļa histogramma pētījuma teritorijai "Skrīveri3" ir līdzīga.



Att. 26: Augsnes mitruma prognozes modeļa histogramma pētījuma teritorijai "Rucava3".

Uztvērēja darbības raksturliiknes izveidošanai tika izvēlētas piecas dažādas sliekšņvērtības, no kurām prognostiskā modeļa rezultāti var tikt uzskatīti par pārmitriem: 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5. Iegūtie rezultāti parāda, ka vislabākos rezultātus ir iespējams sasniegt ar sliekšņvērtību 2,5, kurai aprēķinātā patiesi pozitīvā likme (TPR) ir 0,6, savukārt nepatiesi pozitīvā likme (FPR) vēl joprojām ir 0 (Att. 27). Uztvērēja darbības raksturliiknei ar iegūtajiem datiem nav raksturīgas hiperbolas īpašības, tā vietā tā sasniedz maksimāli labāko rezultātu kamēr nepatiesi pozitīva likme ir 0 un tad rezultāti strauji pasliktinās līdz ar mazāku sliekšņa vērtību.



Att. 27: Uztvērēja darbības raksturlikne. Punktu vērtības ar dažādām sliekšņa vērtībām.

Izmantojot sliekšņvērtību 2,5, tika sastādīta kļūdu matrica ar pareizi un nepareizi prognozētām vietām salīdzinājumā ar iegūtajiem augsnes mitruma mērījumiem dabā (Tab. 6).

Tab. 6: Prognostiskā modeļa kļūdu matrica

Prognoze 2,5				
Klases	Optimāli	Pārmitri	Skaitis	Lietotāja pareizība %
Optimāli	26	0	26	100
Pārmitri	17	7	24	29
Skaitis	43	7	50	
Ražotāja pareizība %	60	100		

Rezultāti parāda, ka lietotājs pilnībā var uzticēties prognostiskajam modelim, ja skatās uz vietām ar optimālu augsnes mitrumu, savukārt pārmitrie apstākļi ir norādīti tikai ar 29% pareizību – daudzas vietas, kuras realitāte jau ir pārmitras, modelis tās uzskata

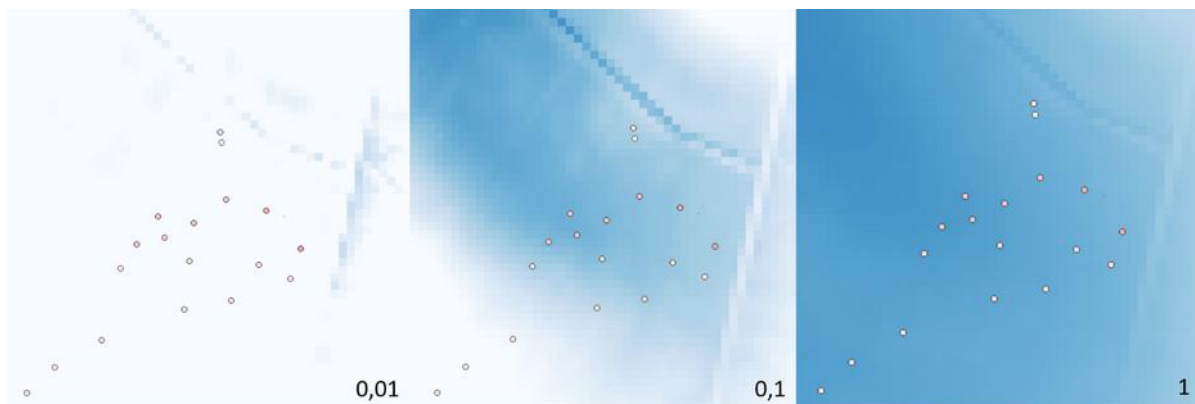
vēl ar optimāliem mitruma apstākļiem (palaiž garām). Kopsummā veidojas tendence – modelis atpazīst pārmitrākās (grāvji, dziļākās ieplakas) un sausākās vietas (reljefa pacēlumi, stāvākas nogāzes), taču pie līdzīgiem mitruma apstākļiem (ap 30%) modeļa spēja izšķirt optimālus no pārmitriem augsnes apstākļiem strauji krīt. Prognostiskā modeļa kopējā pareizība ir 66%, savukārt informētības indekss 0,60, iegūtos modelētos rezultātus salīdzinot gan ar relatīvi pārmitru, gan arī ar sausu (optimālu) lauksaimniecības platību. No vienas puses rezultāti nav statistiski augstvērtīgi un kopumā var nosaukt par viduvējiem, taču tādi tie tika iegūti no 12 lauksaimniecības zemēm ar dažādiem ģeoloģiskiem nogulumiem, zemes lietojuma veidu un meliorācijas stāvokli, kā arī ir līdzīgi arī citu pētnieku publicētajiem ziņojumiem par augsnes mitruma modelēšanu: beznoteces ieplaku modelēšana mežā sasniedza 62% (Ivanovs et al., 2017), virszemes ūdensplūsmu modelēšana lauksaimniecības zemēs sasniedza viduvēju saistību ar lauka novērojumiem ($r^2=0,52$, Shore et al., 2013), savukārt zemi rezultāti ($r^2<25\%$) tika iegūti kartējot plašas meža teritorijas Kanādā ar TWI indeksu (Murphy et al., 2011). Analizēt mainīgos faktoros un veidot dažādas datu kopas ar līdzīgām lauksaimniecības zemēm būtu viens no iespējamajiem virzieniem, kā turpināt un attīstīt esošo pētījumu, lai iegūtu augstvērtīgus rezultātus un prognostisko modeli varētu pielietot praksē. Iespējamās arī dažādas izmaiņas metodikā un tehniskajās niansēs, kā arī papildus izmantot citus datu avotus kā radara vai termiskie dati, kuri mūsdienās arī ir pieejami augstā izšķirtspējā un pētījumos ir sasniegti daudzsoļi rezultāti.

Reljefa datu apstrāde pētījuma trešajā etapā

Iegūtie rezultāti pētījuma iepriekšējā etapa parādīja, ka optimālākā izšķirtspēja reljefa modelim ir 5 vai 10 metri. Trešajā pētījuma etapā par izejas datiem tika izmantots reljefa modelis 10 metru izšķirtspējā, lai uzlabotu datu apstrādes ātrumu atsevišķos soļos. Iegūtais labākais rādītājs, salīdzinot modelētās vērtības ar augsnes mitruma mērījumiem uz lauka, pētījuma otrajā etapā bija beznoteces ieplaku dziļums, kā rezultātā tika izvirzīts jautājums “kā panākt precīzāku un augstvērtīgāku beznoteces ieplaku modelēšanu?”, jo vairākās pētījuma teritorijās beznoteces ieplakas netika modelētas tur, kur ir reljefa pazeminājums (gan dabā, gan reljefa modeli) un paaugstināts augsnes mitrums.

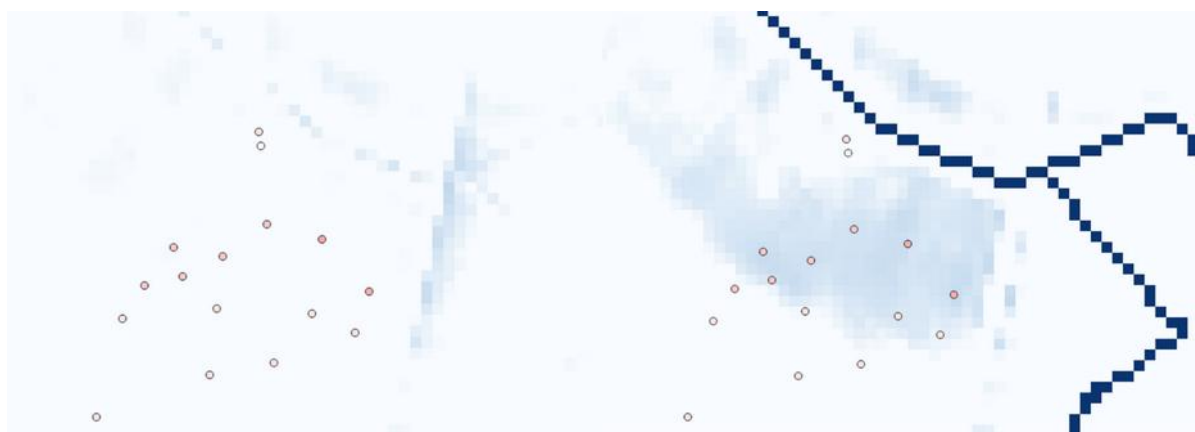
Mainot sliekšņa vērtības SAGA GIS rīkam Fill Sinks vai izvēles opcijas rīkam SAGA Wetness Indekss augstvērtīgāki rezultāti (augstāks korelācijas koeficients starp modelētajām vērtībām un mērījumiem uz lauka) netika iegūti. Palielinot minimālo nogāzes slīpumu pie kura ūdens sāk pārvietoties no šūnas uz šūnu Fill Sinks rīkā, iegūtais reljefa modelis atsevišķās pētījuma teritorijās parādīja precīzākus rezultātus (Att. 28), taču kopējā korelācija ar katru sliekšņa vērtības palielināšanu samazinājās –

labākais rezultāts starp visām 10 pētījuma teritorijām tika iegūts ar noklusējuma vērtību (0,01).



Att. 28: Iegūtie modeļa rezultāti pie dažādām sliekšņa vērtībām Fill Sinks rīkā.

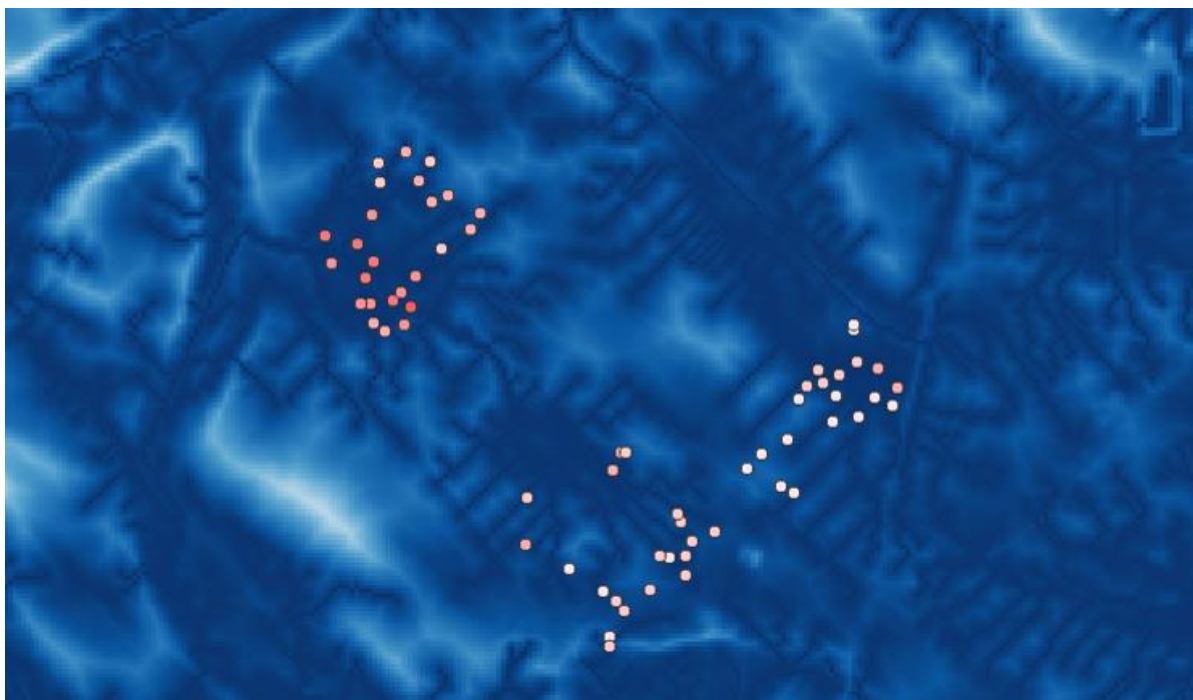
Izmantojot jaunu pieeju ievades datu sagatavošanai pirms mitruma apstākļu modelēšanas, kurā reljefa modeļa ūdenstece (grāvji un upes) tiek norādītas kā dziļi reljefa padziļinājumi (0 metri v.j.l.), tika iegūta visaugstākā korelācija: 0,506, kura ir par 0,09 augstākā nekā izstrādātā metodika pētījuma iepriekšējos etapos. Izveidotās izmaiņas izejas datos krietni precīzāk simulē apstākļus dabā, kur pie funkcionējošas meliorācijas virszemes ūdens notek līdz grāvim un tālāk tiek aizvadīts ārpus pētījuma teritorijas – papildus nesagatavoti reljefa modeļa izejas dati tālakai modelēšanai veidoja situācijas, kad digitālā vidē ūdens kādā no ūdensteču posmiem uzkrājas, veidojot līdz pat vairākiem lieliem uzpludinājumiem, kuri dabā nepastāv. Iegūto rezultātu uzlabojumu var novērtēt kā būtisku, lai varētu veikt daudz precīzākus augsnes mitruma apstākļu modelēšanu ar lāzerskenēšanas datiem (Att. 29).



Att. 29: Precīzāki augsnes mitruma apstākļu modelēšanas rezultāti ar uzlabotu metodiku izejas datu apstrādē (pa labi).

Izveidojot Depth-to-water rādītāja (dziļums līdz gruntsūdenim) kartes visām 10 pētījuma teritorijām, tika iegūts korelācijas koeficients 0,309, kas ir krietni zemāks

nekā ar citām metodēm iegūti rezultāti (Att. 30), taču literatūras avotos tiek uzsvērtas, ka šis rādītājs ir piemērots krietni plašākām un lielākām teritorijām un kā svarīgs elements ir apkārtējo upju un ezeru integrācija, kas kalpo par gruntsūdens līmeņa pamatu. Iegūtā korelācija nav arī ļoti zema, līdz ar to, šo rādītāju var arī izmēģināt atsevišķām teritorijām pētījuma turpinājumā – piemērotākos apstākļos šis rādītājs varbūt var uzrādīt augstvērtīgākus rezultātus.



Att. 30: Depth-to-water rādītāja vizualizācija Skrīveru pētījuma teritorijās.

Izdalot slapjās un mitrās zonas katrā pētījuma teritorijā un katrā zonā aprēķinot vidējo augsnes mitrumu, tika būtiski uzlaboti pētījuma rezultāti. Izmantojot pieeju reljefa izejas datu sagatavošanai, kur visas ūdenstece ir ievērojami reljefa padziļinājumi, korelācija starp modelētajiem lielumiem un 200 parauglaukumiem ir 0,506, savukārt salīdzinot starp 28 mērķtiecīgi sadalītiem parauglaukumiem, korelācijas koeficients ir 0,695, kas parāda ciešu sakarību starp modelētajām vērtībām un uz lauka iegūtajiem datiem. Nejaušs un blīvs parauglaukumu skaits nelielās pētījuma teritorijās (1-10 ha) iegūtajos datos atspoguļo pietiekami mainīgu augsnes mitruma procentu, kuru var ietekmēt ļoti daudzi un dažādi gan dabiski, gan tehniski faktori mikro reljefa mērogā (daži metri), taču modelējot datus plašākā mērogā šādus faktorus nav iespējams apzināt un pielāgot katrā šūnā individuāli, līdz ar to šādas platības modeli tiek atspoguļotas krietni vienmērīgākas un viendabīgākas, līdz ar to krietni plašāks un mērķtiecīgāks (sausī un mitri augsnes apstākļi) parauglaukumu tīkls būs piemērotāks objektīvākai datu analizēšanai pētījuma turpinājumā.

Secinājumi

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem lauka darbos, ĢIS vidē izstrādātiem un apstrādātiem dažādiem attālās izpētes datiem un to savstarpējās analīzes, ir izveidotas metodikas iestrādes pārmitro lauksaimniecības zemju identificēšanai un iegūti viduvēji rezultāti, taču vairāki augsnes mitruma ietekmējošie faktori netika ņemti vērā, līdz ar to ir pietiekami plašas iespējas šo pētījumu uzlabot un papildināt nākotnē. Galvenie secinājumi no šī pētījuma ir:

- Izmantojot šī pētījuma laikā iegūtus un izstrādātos rezultātus, tika izveidots augsnes mitruma apstākļu prognostiskais modelis ar kopējo pareizību 66%;
- Visciešāko sakarību ar augsnes mitruma mērījumiem uz lauka uzrādīja beznoteces ieplaku dziļuma rādītājs 5 metru izšķirtspējā no lāzerskenšanas datiem, savukārt no satelītainām NDVI augusta mēnesī;
- Aprobējot reljefa datu apstrādes metodiku, tika iegūts rādītājs, kurš precīzāk ataino augsnes mitruma prognozi (korelācijas koeficients 0,506);
- Prognostiskā modeļa precīzākai izvērtēšanai ir nepieciešams plašāks un mērķtiecīgāk izveidots parauglaukumu tīkls lauksaimniecības zemēs;
- Ar izstrādātajiem reljefa rādītājiem un indikatoriem var izskaidrot tikai mazāko daļu no lokālajiem topogrāfijas apstākļiem, kā rezultātā meliorācijas sistēmas stāvoklis un ģeoloģisko nogulumu veids ir būtiskāks faktoru kopums pārmitru augsnes apstākļu identificēšanai izvēlētajās pētījuma teritorijās;
- Dažādas zemes lietojuma veidi un augu kultūras atšķirīgi reaģē uz pārmitriem augsnes apstākļiem, kurus ir iespējams novērot no satelītainām. Prognostiskā modeļa kartogrāfiskajā materiālā veidojas dažādas augsnes mitruma prognožu klases pa attiecīgā zemes lietojuma vai kultūras robežām, ja šajās platībās neveidojas beznoteces ieplakas;
- Augsnes veidošanās un mainība ir dinamisks process, kuru ietekmē dažādu faktoru kopums, it īpaši cilvēka saimnieciskā darbība pēdējā laikā. Padomju laikos izstrādātās augšņu kartes vairs nav aktuālas un mūsdienās vien izmantojams kā aptuvenš informācijas avots. Izmantojot mūsdienās pieejamos datu avotus un programmatūru ir nepieciešams izstrādāt precīzu un augstas detalizācijas informācijas avotu par pārmitro augšņu izplatību telpā.

Priekšlikumi pētījuma uzlabošanai un tālākai attīstībai nākotnē ir:

- NDVI rādītāji, dažādi sadalot datu kopu, parāda mainīgus rezultātus atkarība no satelītainas uzņemšanas laika. Neskatoties uz to, ka labākos rezultātus uzrādīja NDVI augusta mēnesī, dažādas augu kultūras attīstās dažādos laika

periodos – rūpīgi izvēloties satelītainas dažādos laikos būtu iespējams izstrādāt vidējo NDVI rādītāju kādam laika periodam un iegūt vēl precīzāku augsnes mitruma indikatoru;

- Sadarbojoties ar Valsts augu aizsardzības dienestu, nākamā gada vasaras un rudens sezonā izveidot plašāku un mērķtiecīgāku parauglaukumu tīklu, lai situāciju dabā salīdzinātu ar modelētajiem lielumiem.
- Meliorācijas tīkla stāvoklis, ģeoloģisko nogulumu veids un zemes lietojuma veids ir trīs būtisku faktoru kopums, kurš savstarpēji mijiedarbojoties ietekmē augsnes mitruma apstākļus lokāli. Šī pētījuma laikā netika iegūti augstvērtīgi rezultāti, jo šie faktori netika ņemti vērā. Veidojot jaunas datu kopas, kurās ir iekļauti šie faktori, būtu iespējams krietni precīzāk identificēt būtiskākos rādītājus un veidot augstvērtīgāku prognostisko modeli, kombinējot dažādus ievades datu slāņus.

Galveno lauksaimniecības kultūru biomasas dati un biomasas pārrēķinu vienādojumi

Darba uzdevuma mērķis ir metodikas aprobācija oglekļa ieneses rādītāju izstrādāšanai saimnieciski nozīmīgākajiem kultūraugiem, ko audzē aramzemēs un ilggadīgajos zālajos.

Darba uzdevumi:

- Virszemes un pazemes biomasas pārrēķinu datu ieguve saimnieciski nozīmīgākajām kultūraugu sugām aramzemēs un ilggadīgajos sējumos VAAD augšņu monitoringa parauglaukumos.
- Sākotnējo biomasas pārrēķinu koeficientu izstrādāšana saimnieciski nozīmīgākajām kultūraugu sugām aramzemēs un ilggadīgajos sējumos (nākotnē biomasas pārrēķinu koeficienti jāprecizē, palielinot mērījumu datu kopu).
- Oglekļa ieneses ar virszemes un pazemes biomasu raksturošana saimnieciski nozīmīgākajām laukaugu kultūrām konvencionālajās un bioloģiskajās saimniecībās, tajā skaitā **ilggadīgie zālāji, ziemas kvieši, vasaras kvieši, vasaras mieži, ziemas rapsis, papuve, auzas un rudzi** konvencionālajās saimniecībās un **auzas, vasaras kvieši, griķi, ziemas kvieši, vasaras mieži, rudzi un sarkanais āboliņš** bioloģiskajās saimniecībās;
 - katrai laukaugu kultūrai, izņemot papuvi, paredzēti 2 mēslošanas režīmi, 2 šķirnes (vai sēkļu maisījumi) un 2 reģionāli atkārtojumi. Biomasas uzskaitē turpināsies 2 sezonas, lai iegūtu reprezentablas datu kopas.

Prioritārās laukaugu kultūras konvencionālajām un bioloģiskajām saimniecībām sargrupētas Tab. 7. 2019. gada pētījumos iekļautās kultūras ir iekrāsotas dzeltenā krāsā.

Tab. 7: Prioritārās laukaugu kultūras⁸

Konvencionālā lauksaimniecība		Bioloģiskā lauksaimniecība	
Nr. prioritārā secībā	Kultūra	Nr. prioritārā secībā	Kultūra
1.	Ilggadīgie zālāji (ganības) saknes veģetācijai atjaunojoties un jūnijā, virszemes – jūnijā un tad 3-4 reizes gadā, pirms veģetācijas	1.	Auzas

⁸ Ar dzeltenu krāsu iezīmētas laukaugu kultūras, kas ietvertas 2018. gada apsekojumā.

Galveno lauksaimniecības kultūru biomasas dati un biomasas pārrēķinu vienādojumi

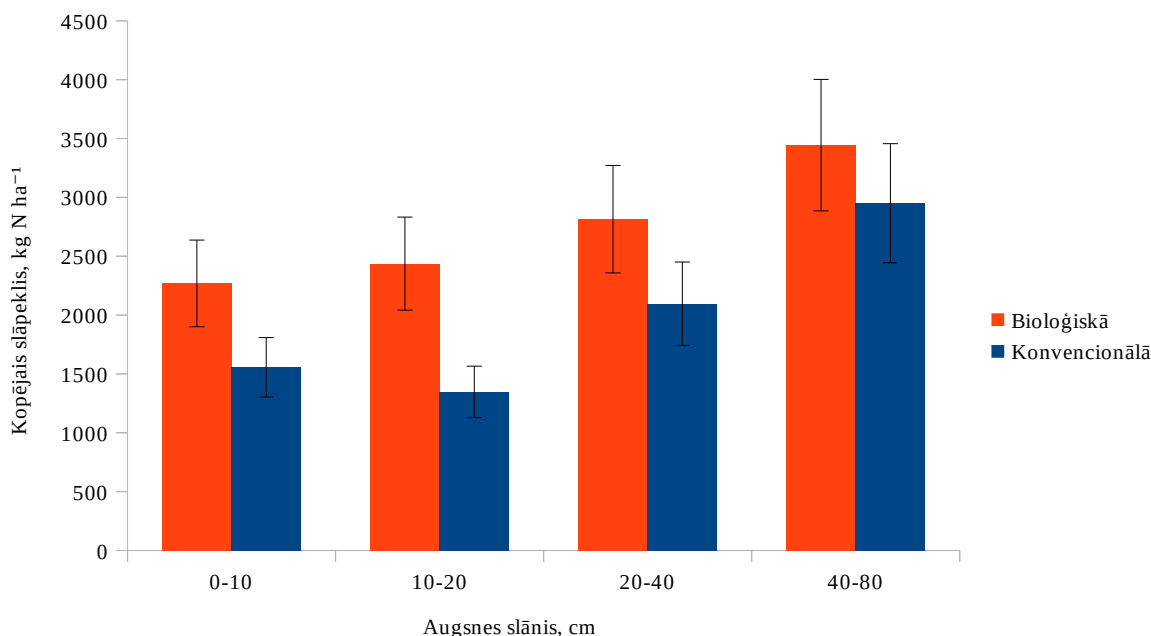
Konvencionālā lauksaimniecība		Bioloģiskā lauksaimniecība	
Nr. prioritārā secībā	Kultūra	Nr. prioritārā secībā	Kultūra
	pārtraukšanās. 3*3 m 4 laukumiņi		
2.	Kvieši, ziemas	2.	Kvieši, vasaras
3.	Aramzemē sēts stiebrzāļu un/vai lopbarības zālaugu (iesk. proteīnaugu) maisījums nākošgad, arī pazemes biomasas divreiz un virszemes biomasas atbilstoši pļaušanas reižu skaitam. Arī šeit virszemes biomasas pirms ziemošanas, bet pazemes biomasas ražas maksimumā.	3.	Griķi
4.	Kvieši, vasaras	4.	Kvieši, ziemas
5.	Mieži, vasaras	5.	Mieži, vasaras
6.	Rapsis, ziemas	6.	Rudzi
7.	Papuve (eļļas rutks, sinepes/griķis) Biomasas pirms aršanas, tad sēj ziemājus, kuriem nosaka biomasu nākošajā gadā.	7.	Sarkanais āboliņš (1 šķirne, 2. šķirne nākošgad)
8.	Auzas	8.	Auzas ar stiebrzāļu pasēju
9.	Rudzi	9.	Zirņi
10.	Rapsis, vasaras	10.	Facēlija
11.	Kukurūza	11.	Tritikāle, ziemas (iesēj 2018. gada rudenī)
12.	Griķi	12.	Amoliņš
13.	Tritikāle, ziemas (iesēj 2018. gada rudenī)	13.	Lucerna
14.	Lucerna (Lucernu citā laukā, iespējams Priekuļos)		Stiebrzāļu un tauriņziežu maisījums 50%
15.	Kartupeļi		
16.	Stiebrzāļu un tauriņziežu maisījums 50% (ierīko 2018. gada rudenī)		
17.	Lauku pupas (mēra 2019. gadā)		

Augsnes īpašības izmēģinājumu platībās

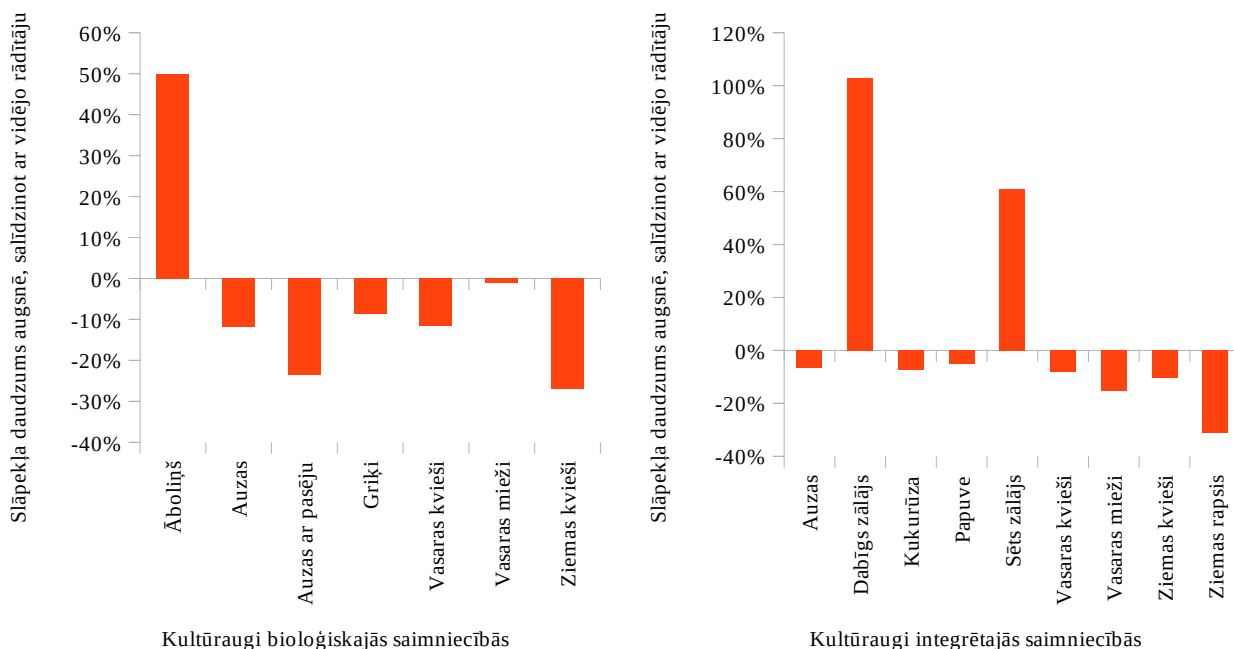
Augsnes paraugi analizēm ievākti 2018. gadā, no 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm un 40-80 cm dziļuma. Laboratoriski noteikts augsnes blīvums, slāpekļa, fosfora, kālija un oglekļa kopsaturs, pH un karbonātu saturs.

Slāpekļa daudzums augsnē 0-80 cm dziļumā platībās, kur izmantotas bioloģiskās saimniekošanas metodes, ir vidēji $11 \pm 0,9$ tonnas N ha⁻¹, bet platībās, kur izmantotas integrētas saimniekošanas metodes – $8,0 \pm 0,7$ tonnas N ha⁻¹. Atšķirība ir būtiska (Att.

31). Lielākais slāpekļa daudzums augsnē platībās, kur izmantotas bioloģiskas saimniekošanas metodes, ir āboliņa laukos, pārējos laukos tas svārstās 20% robežās, salīdzinot ar vidējiem rādītājiem (Att. 32). Integrētajās saimniecībās lielākais slāpekļa saturs augsnē ir sētajos zālajos un pļavās. Iespējams, ka tas saistīts ar lielām kūtsmēslu devām, kas pielietotas šajās platībās.

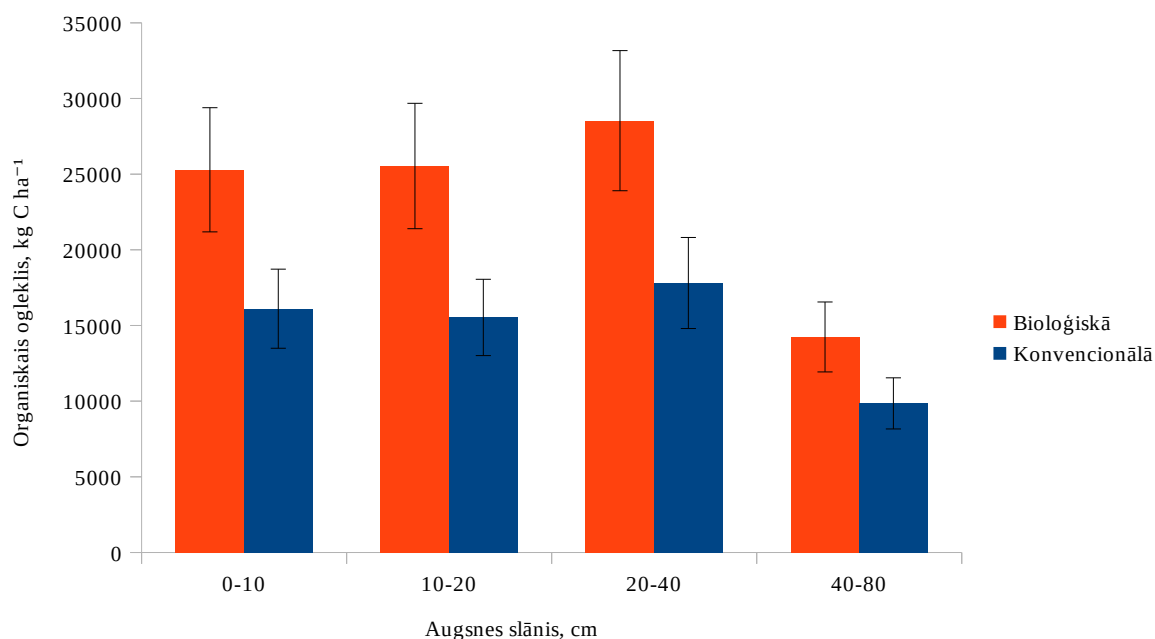


Att. 31: Slāpekļa daudzums augsnē.

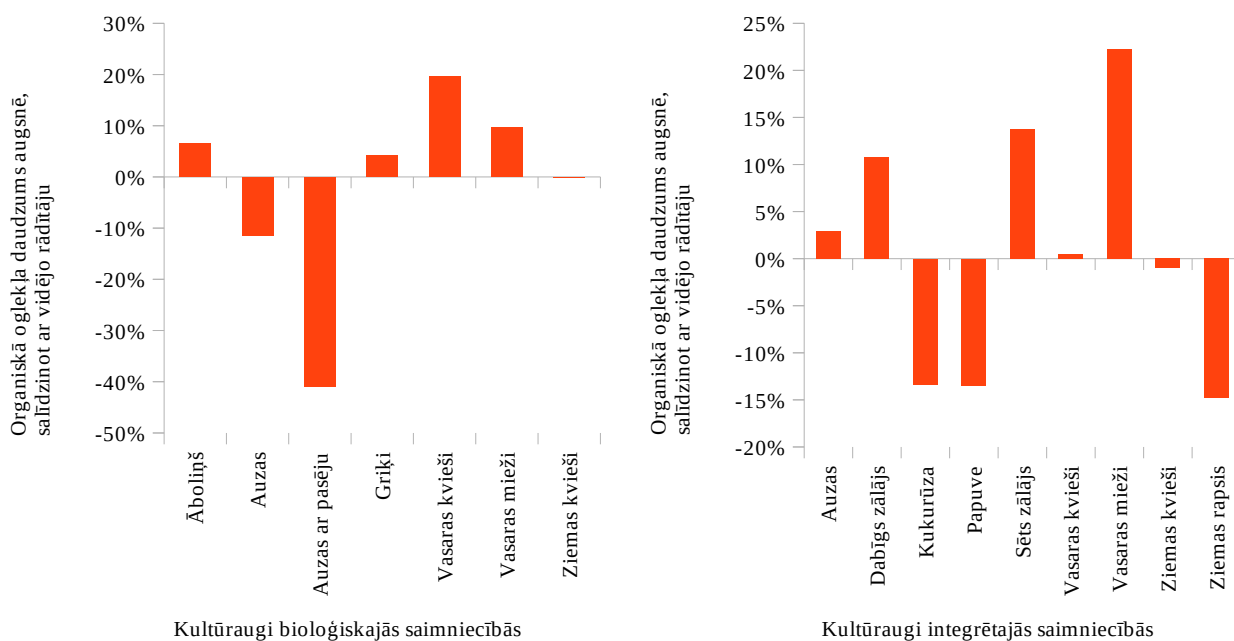


Att. 32: Slāpekļa daudzuma salīdzinājums dažādās platībās.

Organiskā oglekļa daudzums augsnē 0-80 cm dziļumā platībās, kur izmantotas bioloģiskās saimniekošanas metodes, ir par 30% lielāks, nekā integrētajās saimniecībās, attiecīgi, $93,6 \pm 7,8$ tonnas C ha⁻¹ bioloģiskajās saimniecībās, bet platībās, kur izmantotas integrētas saimniekošanas metodes – $59,3 \pm 5,0$ tonnas C ha⁻¹. Atšķirība ir būtiska visos augsnes slāņos (Att. 33), kas norāda uz būtiskām sākotnējām atšķirībām augsnes īpašības. Bioloģiski apsaimniekotajos laukos augsnes īpašības atšķiras šaurās robežās, izņemot laukus, kurās audzētas auzas ar pasēju (Att. 34). Integrētajās saimniecībās lielākais oglekļa saturs augsnē ir sētajos zālajos un pļavās. kā arī vasara miežu laukos, lai gan atšķirības nepārsniedz 20% no vidējiem rādītājiem.

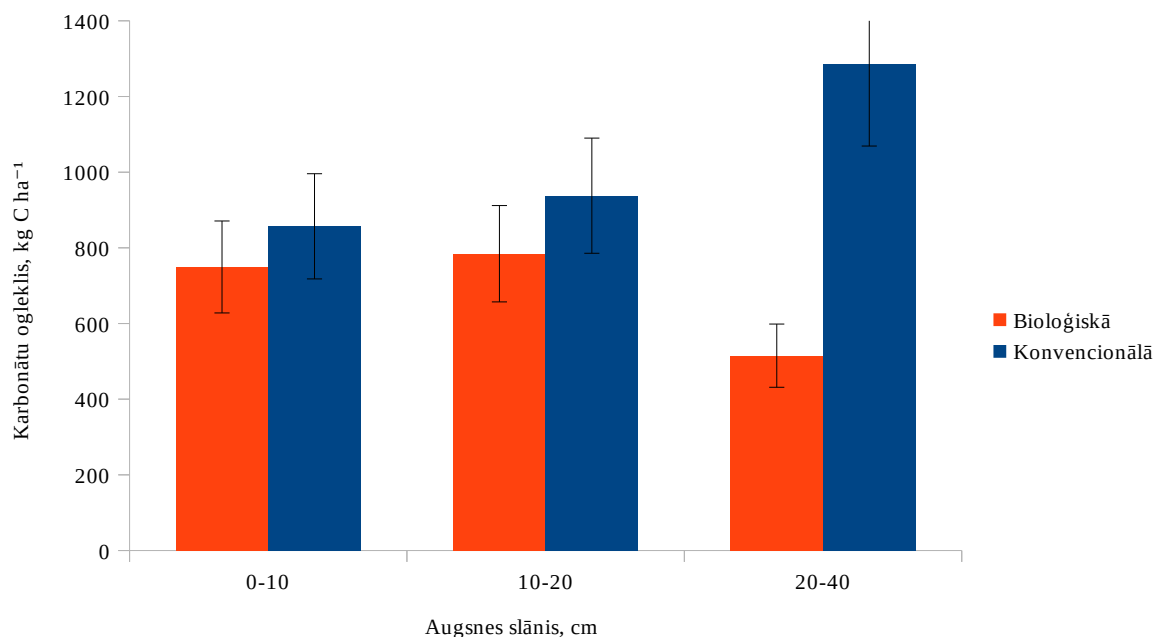


Att. 33: Organiskā oglekļa daudzums augsnē.

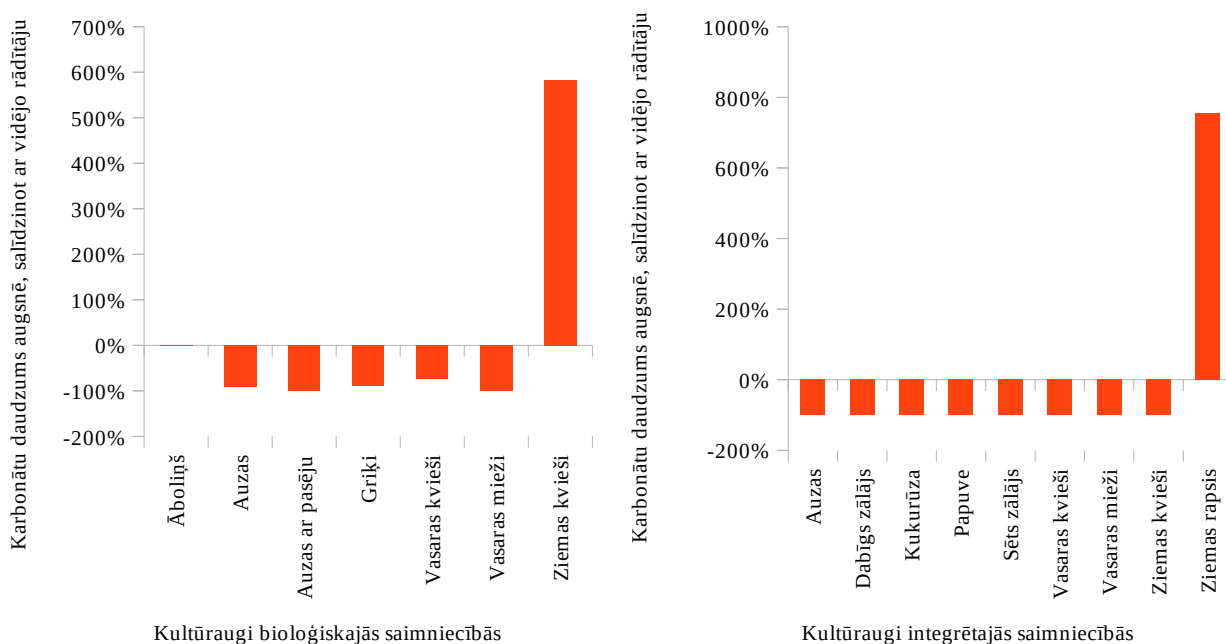


Att. 34: Organiskā oglekļa daudzuma salīdzinājums dažādās platībās.

Karbonātu oglekļa daudzums augsnē 0-80 cm dziļumā būtiski neatšķiras platībās, kur izmantotas bioloģiskās saimniekošanas metodes un integrētajās saimniecībās (Att. 35), attiecīgi, $2 \pm 0,2$ tonnas C ha⁻¹ bioloģiskajās saimniecībās, bet platībās, kur izmantotas integrētas saimniekošanas metodes – $3,1 \pm 0,3$ tonnas C ha⁻¹. Liels karbonātu oglekļa daudzums visos augsnes slāņos konstatēts tikai ziemas kviešu laukā bioloģiskajās saimniecībās un dziļākajos augsnes slāņos ziemas rapša laukos integrētajās saimniecībās (Att. 36).

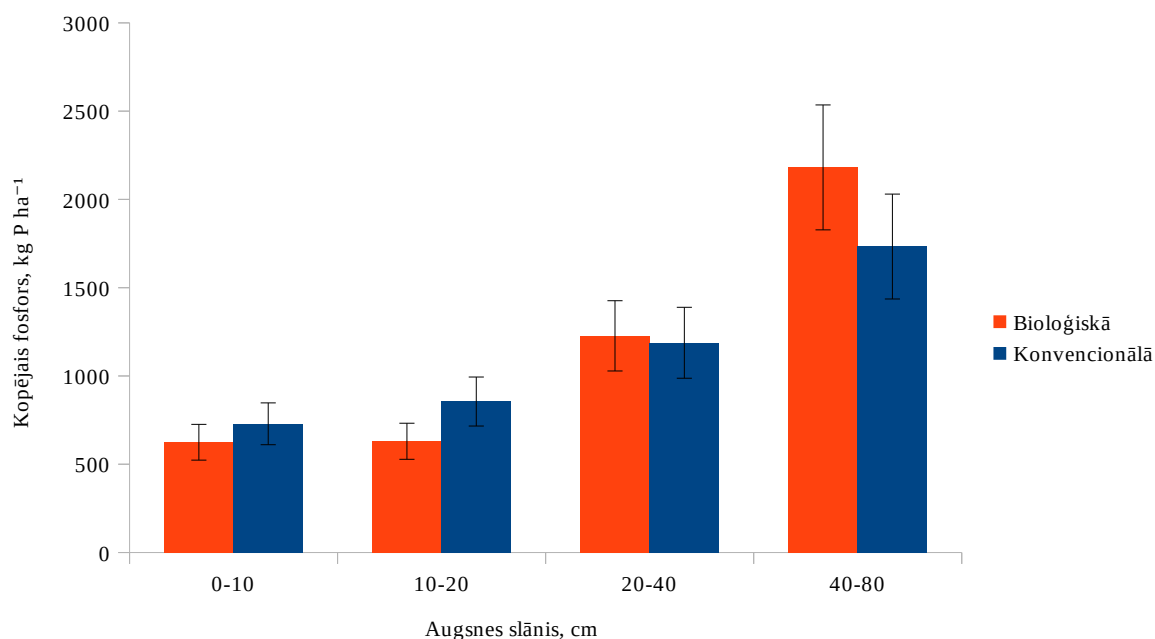


Att. 35: Karbonātu oglekļa daudzums augsnē.

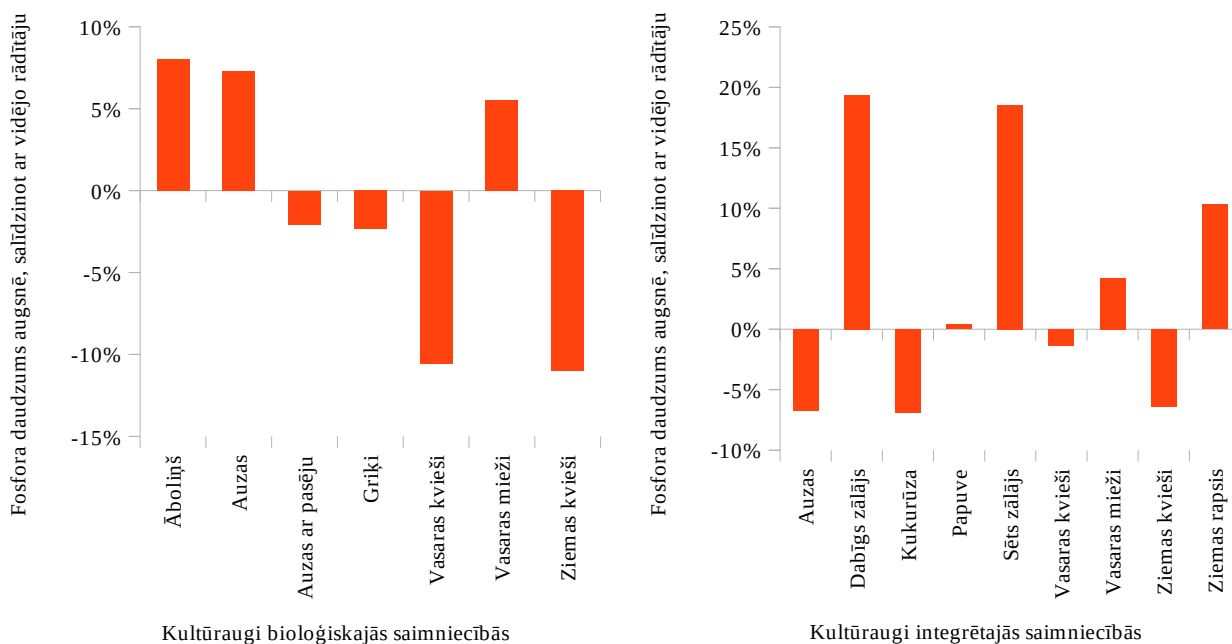


Att. 36: Karbonātu daudzuma salīdzinājums dažādās platībās.

Fosfora daudzums augsnē visos augsnes slānos būtiski neatšķiras laukos, kur izmantotas bioloģiskas un integrētas saimniekošanas metodes (Att. 37), attiecīgi, $4,7 \pm 0,4$ tonnas P ha⁻¹ un $4,5 \pm 0,4$ tonnas P ha⁻¹. Bioloģiski apsaimniekotajos laukos augsnes īpašības atšķiras šaurās robežās – 16% no vidējā, bet integrētajās saimniecības laukos – 25% robežās no vidējā (Att. 38).



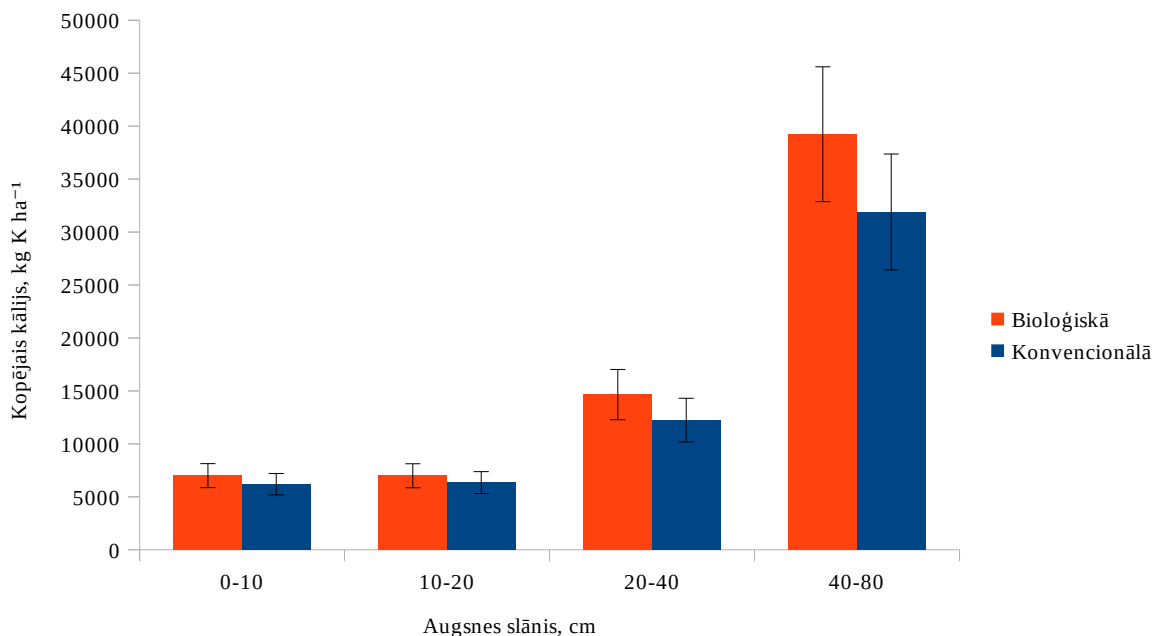
Att. 37: Fosfora daudzums augsnē.



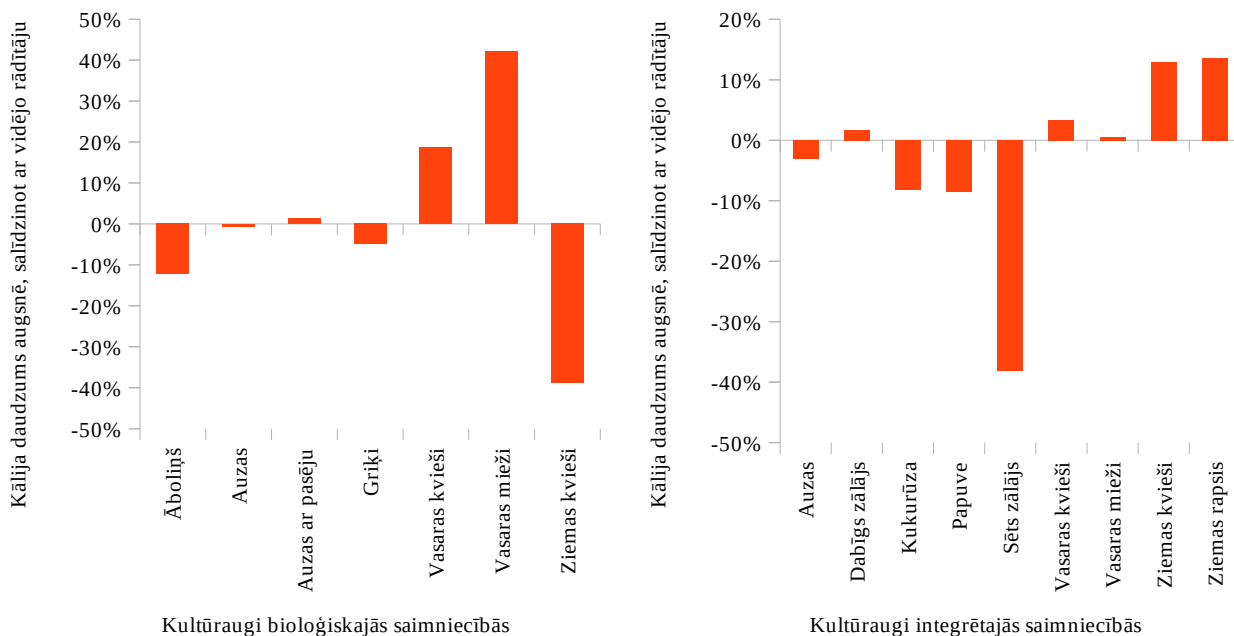
Att. 38: Fosfora daudzuma salīdzinājums dažādās platībās.

Kālija daudzums augsnē, tāpat kā fosfors, visos augsnes slānos būtiski neatšķiras laukos, kur izmantotas bioloģiskas un integrētas saimniekošanas metodes (Att. 39), un ir, attiecīgi, $67,9 \pm 7,0$ tonnas $K ha^{-1}$ un $56,7 \pm 6,0$ tonnas $K ha^{-1}$. Bioloģiski apsaimniekotajos laukos augsnes īpašības atšķiras plašās robežās – 90% no vidējā (visvairāk kālija ir laukos, kur audzē vasaras kviešu un miežus, vismazāk – platībās,

kur audzē ziemas kviešus). Integrētās saimniecības laukos atšķirības starp laukiem ir mazākas – 55% robežās no vidējā. Būtiski mazāks kālija daudzums augsnē ir sētajos zālajos, pārējās platībās atšķirību robežas nepārsniedz 15% no vidējā rādītāja (Att. 40).



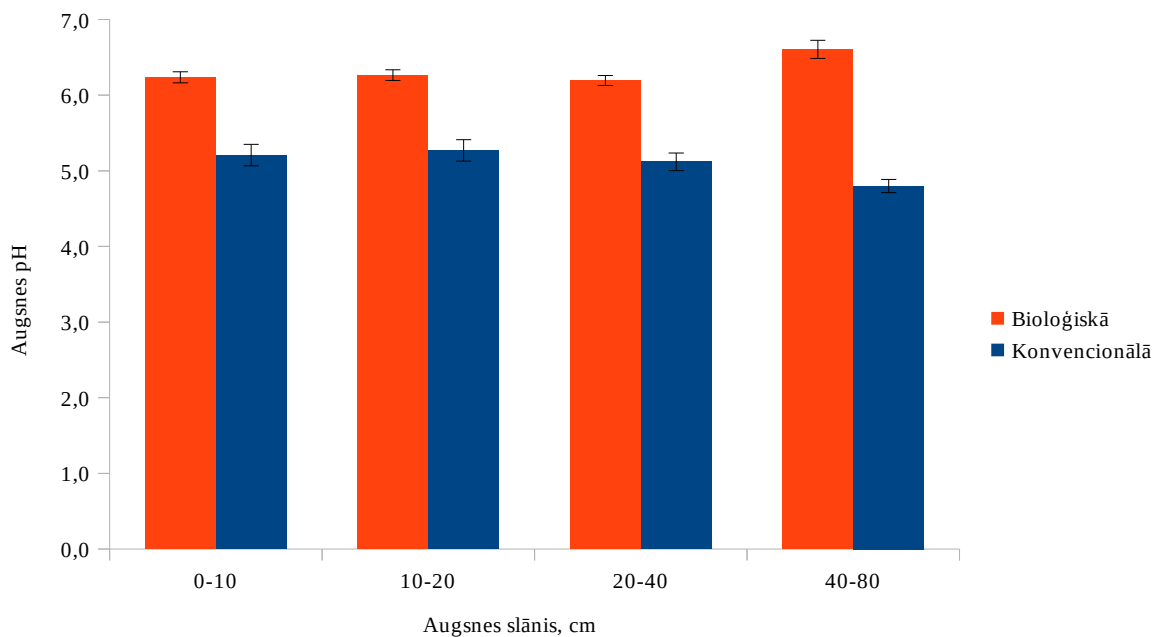
Att. 39: Kālija daudzums augsnē.



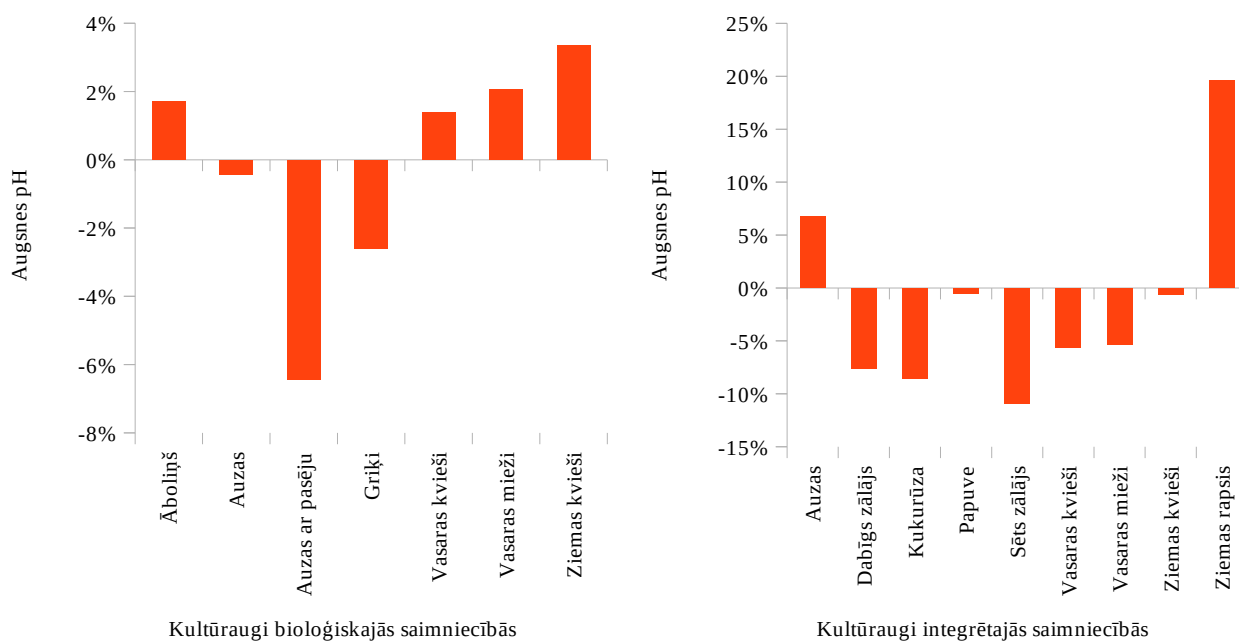
Att. 40: Kālija daudzuma salīdzinājums dažādās platībās.

Augsnes pH ir par 1 vienību bāziskāks bioloģiski apsaimniekotos laukos, nekā platībās, kur pielietotas integrētās saimniekošanas metodes. Atšķirība ir statistiski

būtiska visos augsnes slāņos (Att. 41). Augsnes pH aramkārtā (0-30 cm dziļumā) bioloģiski apsaimniekotos laukos ir $6,3 \pm 0,2$, bet platībās, kur izmantotas integrētās apsaimniekošanas metodes – $5,2 \pm 0,2$. Bioloģiski apsaimniekotos laukos aramkārtas pH atšķirības dažādām laukaugu kultūrām ir 9% robežās, bet integrētās saimniekošanas laukos – 30% robežās; bāziskākā augsne ir ziemas rapša laukos, kur konstatēts lielākais karbonātu saturs (Att. 42).

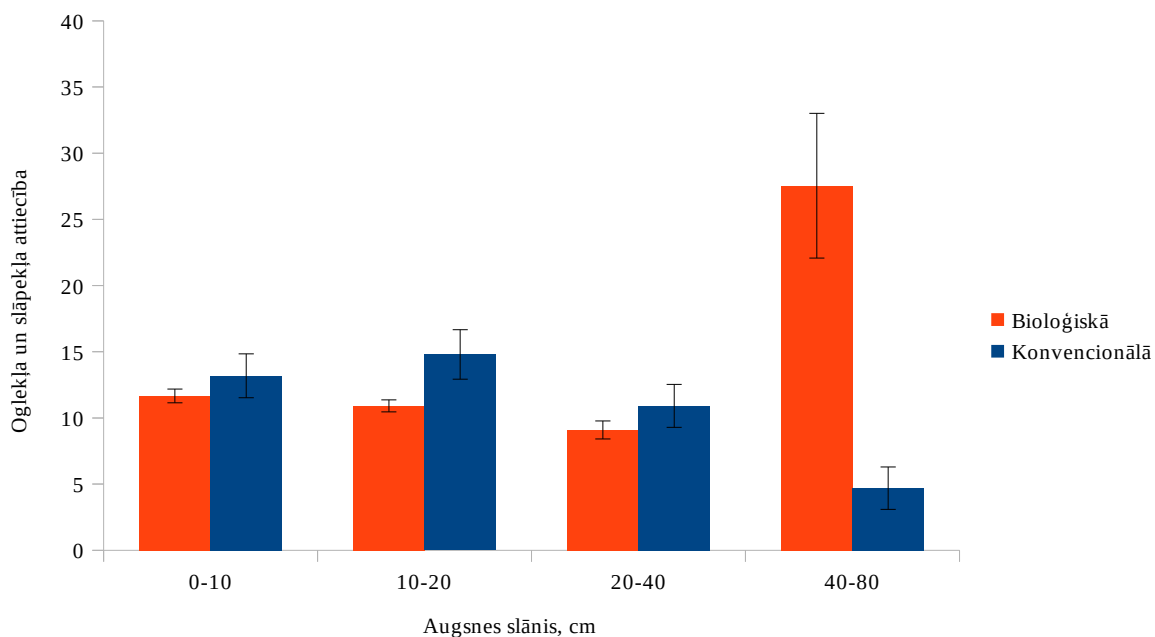


Att. 41: Augsnes pH.

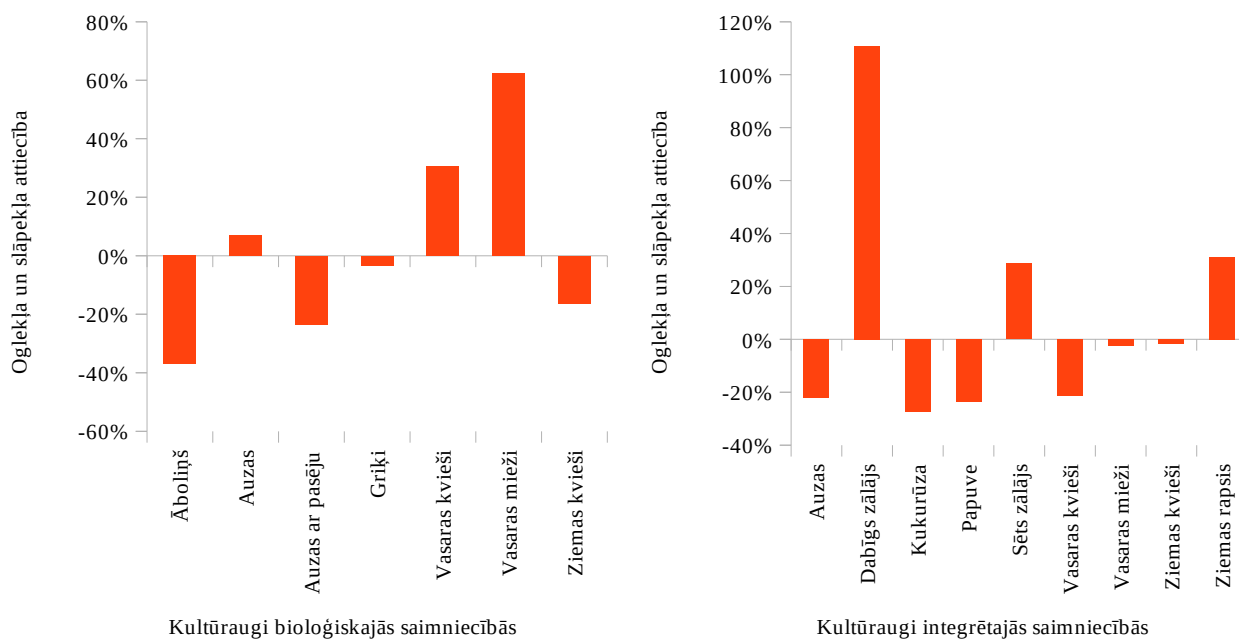


Att. 42: pH salīdzinājums dažādās platībās.

Oglekļa un slāpekļa satura attiecība augsnē ir viens no faktoriem, kas raksturo SEG emisijas no augsnes – 1:15-30 ir optimāla attiecība, kas nodrošina vislielāko mikroorganismu aktivitāti (Jimenez and Garcia, 1991). Vidēji visos augsnes slāņos laukos, kas apsaimniekoti ar bioloģiskām un integrētām metodēm, oglekļa un slāpekļa attiecība nepārsniedz 15, izņemot dziļākos augsnes slāņos (40-80 cm) bioloģiski apsaimniekotos laukos (Att. 43), taču šiem augsnes slāņiem var būt minimāla ietekme uz augsnes oglekļa apriti. Oglekļa un slāpekļa attiecība augsnes virskārtā dažādu kultūru laukos atšķiras plašās robežās – bioloģiski apsaimniekotos laukos lielākā oglekļa un slāpekļa attiecība ir vasaras kviešu un miežu laukos, bet integrētās saimniecības laukos – dabīgajos un sētajos zālajos Att. 44. Šajos laukos augsnes oglekļa mineralizācija varētu notikt visaktīvāk.



Att. 43: C:N attiecība augsnē.

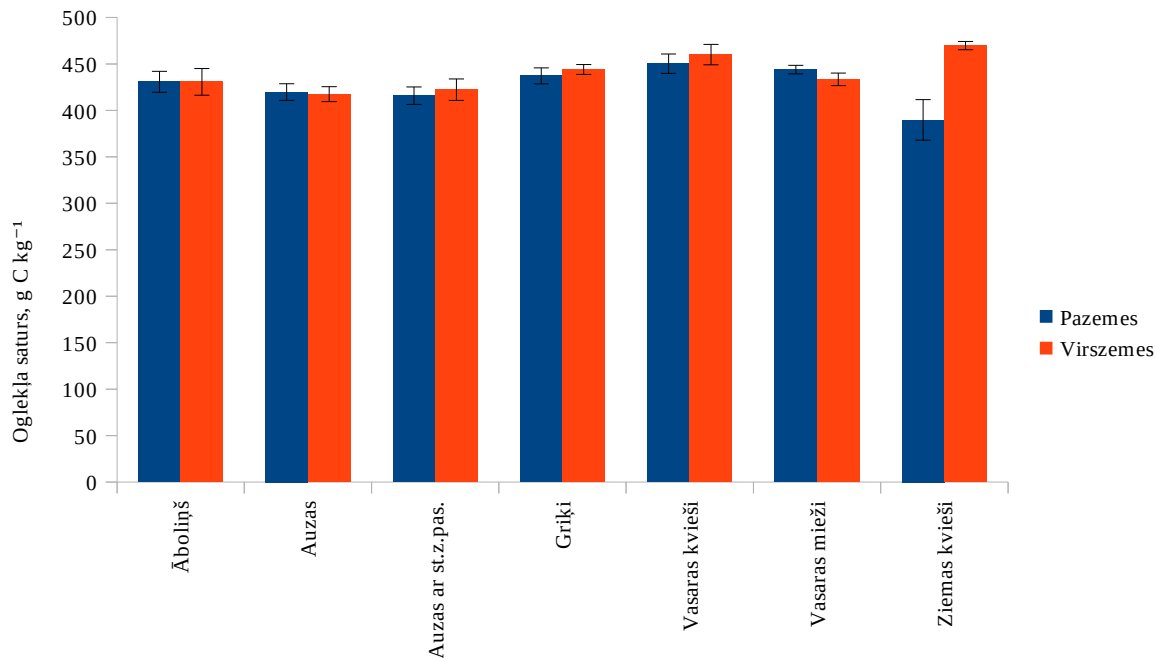


Att. 44: Oglekļa un slāpekļa attiecība augsnes virskārtā (0-30 cm) dažādās platībās.

Oglekļa un slāpekļa saturs biomasā

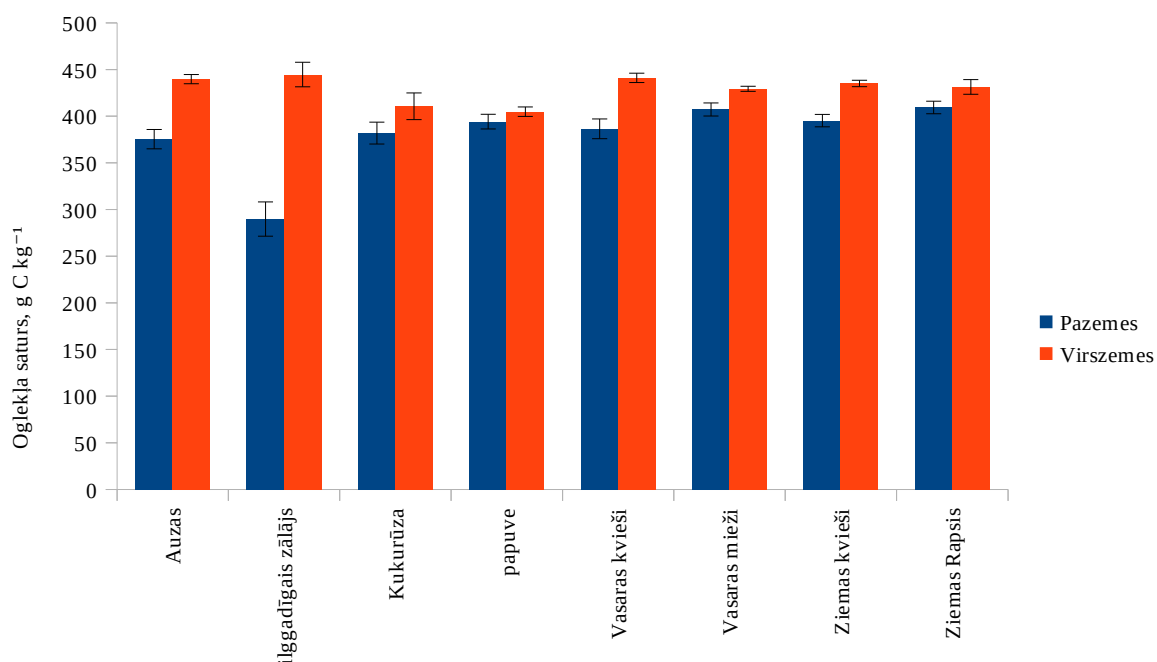
Oglekļa un slāpekļa saturs noteikts atsevišķi virszemes un pazemes biomasā. 2019. gadā pabeigtas 2018. gadā ievāktu paraugu analīzes. Vidējais oglekļa saturs pazemes biomasā bioloģiski audzētos kultūraugos ir $429,5 \pm 4,4 \text{ g C kg}^{-1}$, bet virszemes

biomasā – $437,4 \pm 4,3 \text{ g C kg}^{-1}$; atšķirība nav statistiski būtiska. Salīdzinot dažādus kultūraugus, būtiski mazāks oglekļa saturs konstatēts tikai bioloģiski audzētu ziemas kviešu pazemes biomasā, savukārt, ziemas kviešu virszemes biomasā oglekļa saturs ir būtiski lielāks, nekā citu kultūraugu sugu biomasā (Att. 45).



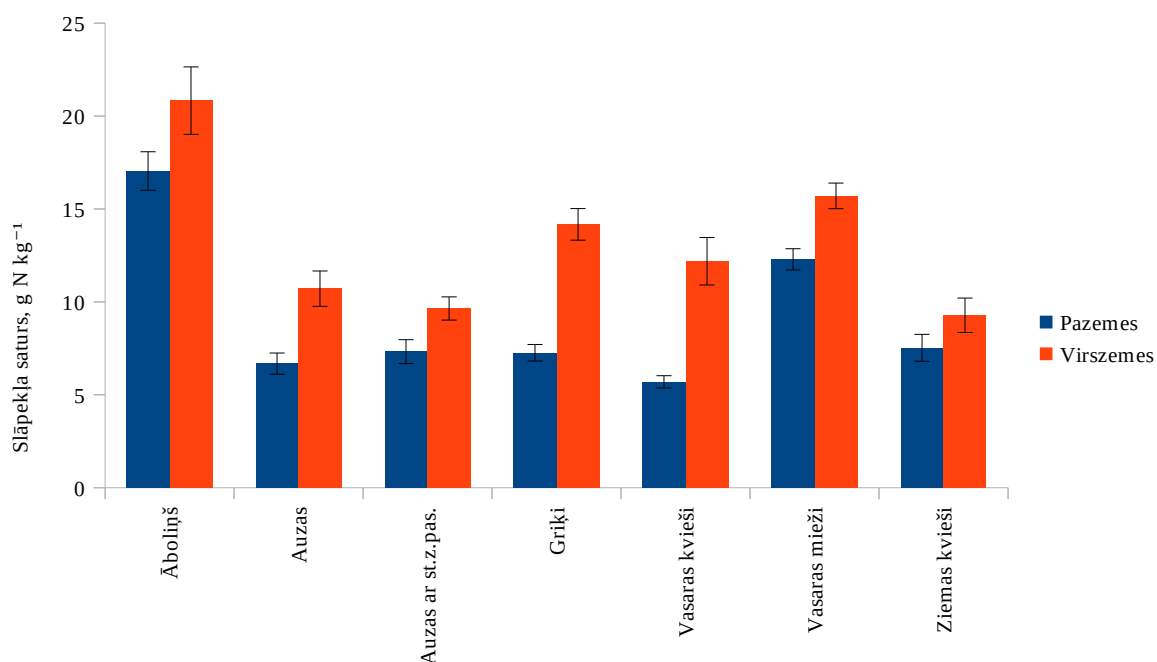
Att. 45: Oglekļa saturs virszemes un pazemes biomasā bioloģiskajās saimniecībās.

Vidējais oglekļa saturs pazemes biomasā integrētajās saimniecībās audzētos kultūraugos ir $388,7 \pm 3,9 \text{ g C kg}^{-1}$, bet virszemes biomasā – $429,4 \pm 2,7 \text{ g C kg}^{-1}$; atšķirība ir statistiski būtiska. Salīdzinot dažādus kultūraugus, būtiska atšķirība (mazāks oglekļa saturs pazemes biomasā) konstatēta visām sugām, izņemot sinepes un rutkus papuvē. Par vidējo būtiski mazāks oglekļa saturs pazemes biomasā konstatēts zālajos un auzu sējumā. Virszemes biomasā oglekļa satura atšķirības ir mazāk izteiktas, taču, piemēram, rutkos un sinepēs papuvē oglekļa saturs ir būtiski mazāks (Att. 46). Sākotnējie pētījuma rezultāti apstiprina, ka lietderīgi turpināt sugu specifisku oglekļa satura koeficientu izstrādāšanu, nodrošināt lielāku aprēķinu precizitāti dinamiskās augu maiņās, kas raksturīgas Latvijas lauksaimniecībai.



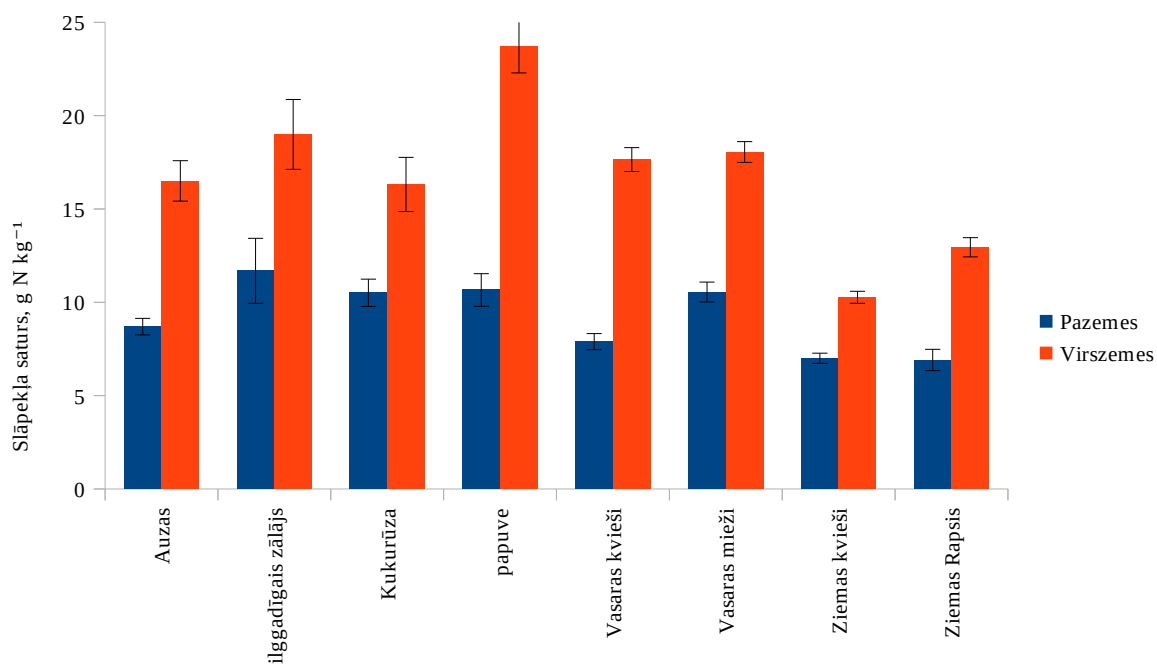
Att. 46: Oglekļa saturs virszemes un pazemes biomasā integrētajās saimniecībās.

Vidējais slāpekļa saturs pazemes biomasā bioloģiski audzētos kultūraugos ir $8,6 \pm 0,5$ g N kg⁻¹, bet virszemes biomasā – $13,5 \pm 0,7$ g N kg⁻¹; atšķirība ir statistiski būtiska gan vidējiem rādītājiem, gan dažādiem kultūraugiem. Lielākais slāpekļa saturs ir āboliņa virszemes un pazemes biomasā, kā arī griķu, vasaras kviešu un miežu virszemes biomasā (Att. 47). Pazemes biomasā slāpekļa saturs ir līdz pat 2 reizes mazāks, nekā virszemes biomasā.



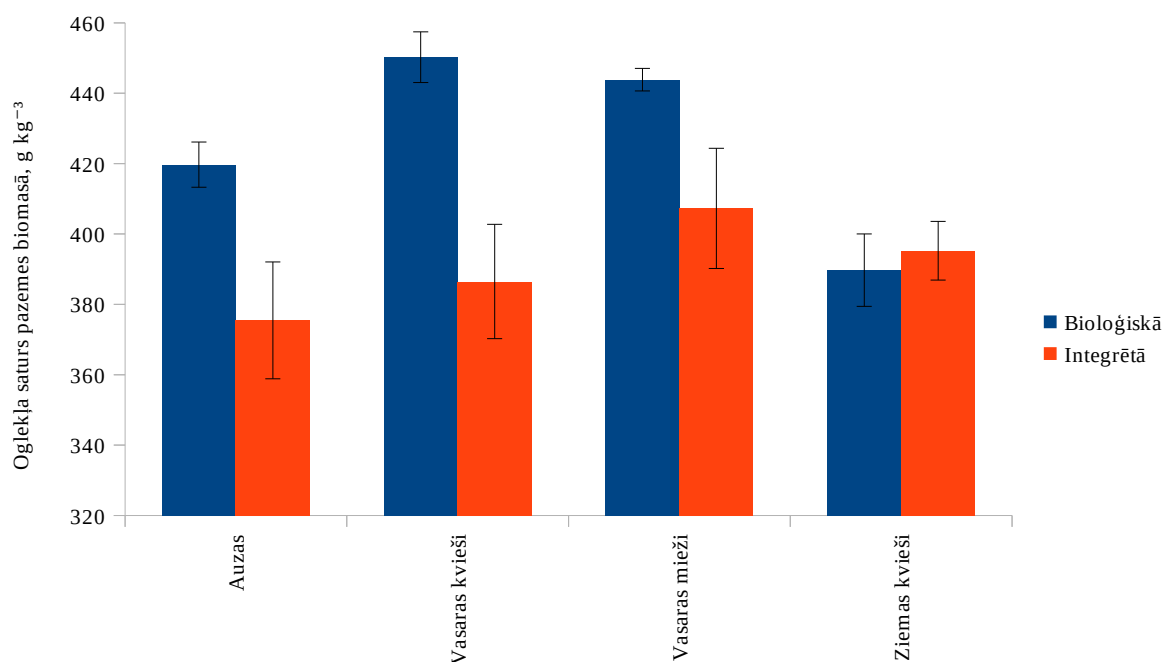
Att. 47: Slāpekļa saturs virszemes un pazemes biomasā bioloģiskajās saimniecībās.

Vidējais slāpekļa saturs pazemes biomasā integrētajās saimniecībās audzētos kultūraugos ir $9,1 \pm 0,3 \text{ g N kg}^{-1}$, bet virszemes biomasā – $16,8 \pm 0,5 \text{ g N kg}^{-1}$; tāpat kā bioloģiski audzētiem augiem, atšķirība ir statistiski būtiska gan vidējiem rādītājiem, gan dažādām kultūraugu sugām. Lielākais slāpekļa saturs ir sinepju un rutku virszemes biomasā, bet vismazākais slāpekļa saturs ir ziemas kviešu virszemes un pazemes biomasā (Att. 47). Pazemes biomasā slāpekļa saturs ir līdz pat 2,5 reizes mazāks, nekā virszemes biomasā.



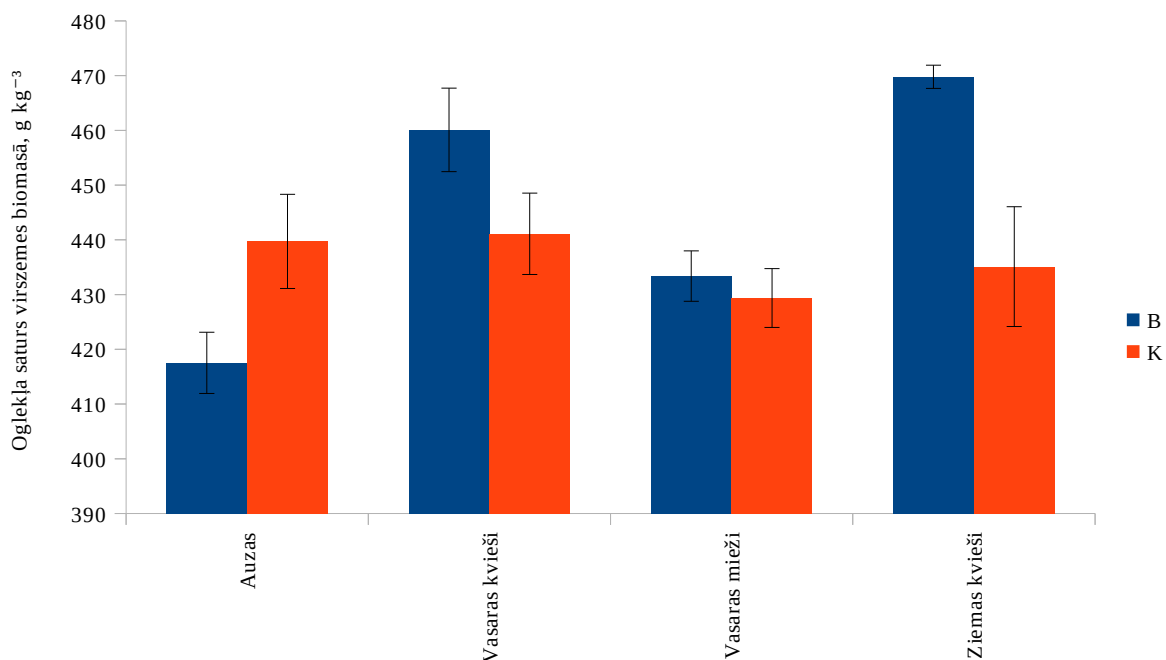
Att. 48: Slāpekļa saturs virszemes un pazemes biomasā integrētajās saimniecībās.

Oglekļa saturs virszemes un pazemes biomasā salīdzināts auzām, vasaras kviešiem, miežiem un ziemas kviešiem, kas audzēti gan bioloģiskajās, gan integrētajās saimniecībās. Oglekļa saturs pazemes biomasā bioloģiskajos laukos ir vidēji $431,1 \pm 4,1 \text{ g C kg}^{-1}$, bet integrētajās saimniecībās – $391,3 \pm 12,9 \text{ g C kg}^{-1}$. Atšķirība ir statistiski būtiska gan vidējiem rādītājiem, gan visām kultūraugu sugām, izņemot ziemas kviešus (Att. 49). Bioloģiskajos laukos konstatēta būtiski lielāka datu izkliede.



Att. 49: Oglekļa satura salīdzinājums pazemes biomasā integrētajās un bioloģiskajās saimniecībās.

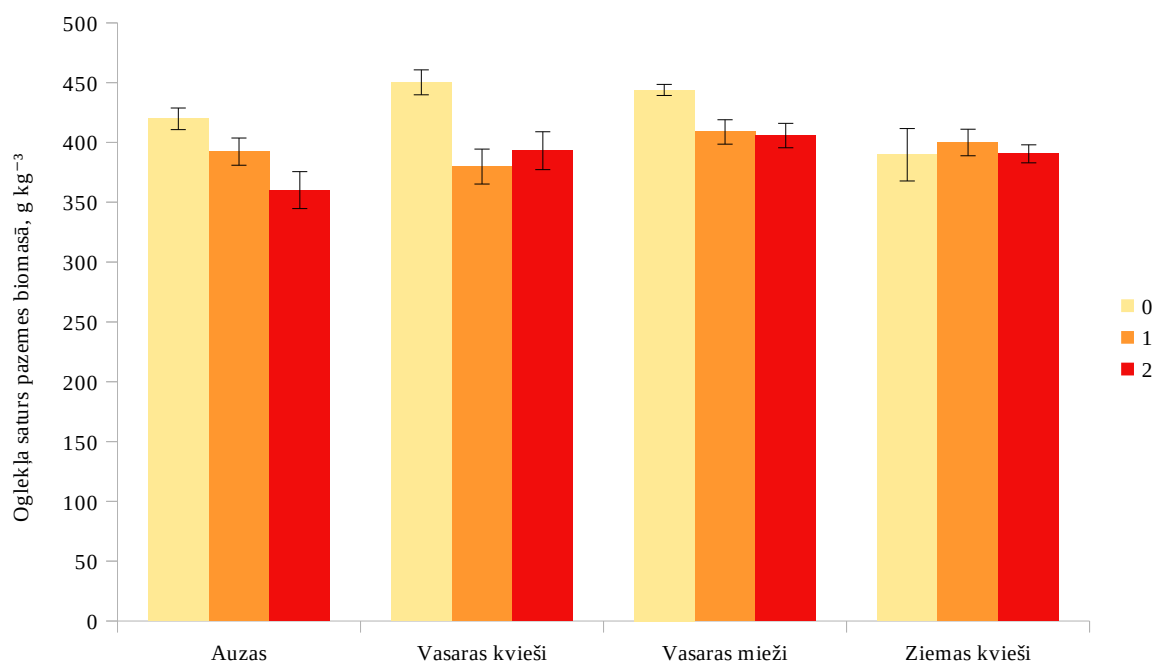
Oglekļa saturs virszemes biomasā bioloģiskajos laukos ir vidēji $441,8 \pm 3,7$ g C kg⁻¹, bet integrētajās saimniecībās – $436,3 \pm 6,4$ g C kg⁻¹. Vidējo rādītāju atšķirība nav statistiski būtiska, taču, salīdzinot dažādus kultūraugus, tikai miežiem oglekļa saturs virszemes biomasā bioloģiskajās un integrētajās saimniecībās audzētiem augiem būtiski neatšķiras (Att. 50).



Att. 50: Oglekļa satura salīdzinājums virszemes biomasā integrētajās un bioloģiskajās saimniecībās.

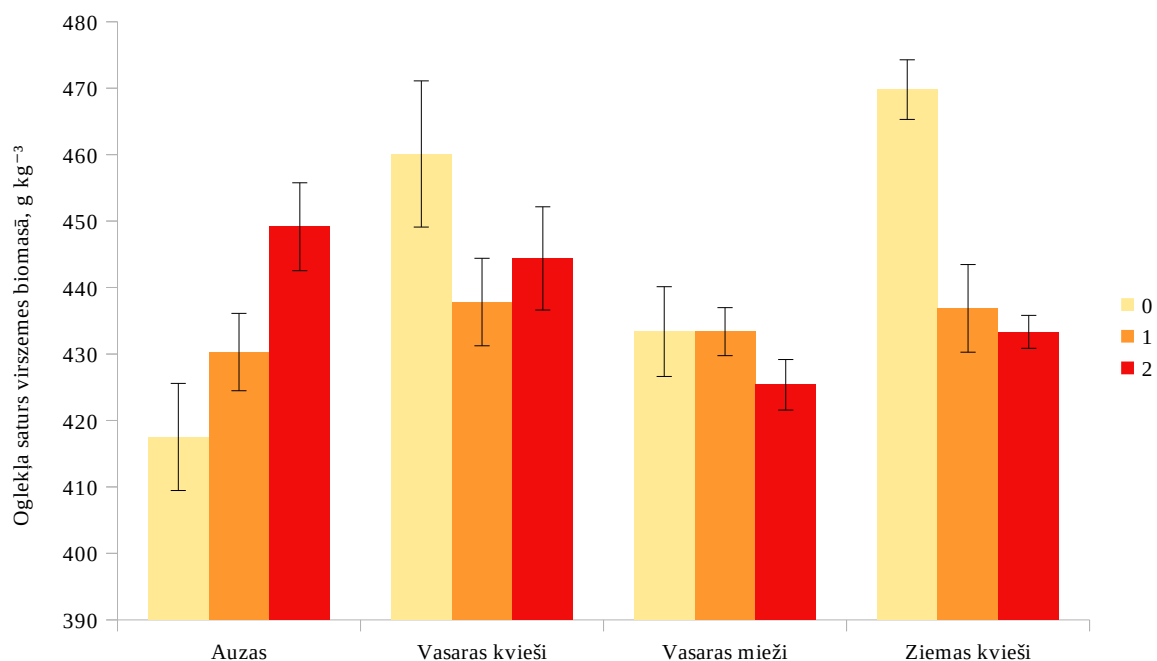
Arī mēslošanas intensitātes ietekme uz oglekļa un slāpekļa saturu virszemes un pazemes biomasā vērtēta auzām, vasaras kviešiem, miežiem un ziemas kviešiem, kas audzēti gan bioloģiskajās, gan integrētajās saimniecībās.

Oglekļa saturs ir būtiski lielāks bioloģiski audzētu augu pazemes biomasā, izņemot ziemas kviešus. Nav konstatēta mēslojuma devas ietekme uz oglekļa saturu pazemes biomasā (Att. 51).



Att. 51: Oglekļa satura salīdzinājums pazemes biomasā, atkarībā no mēslojuma devas⁹.

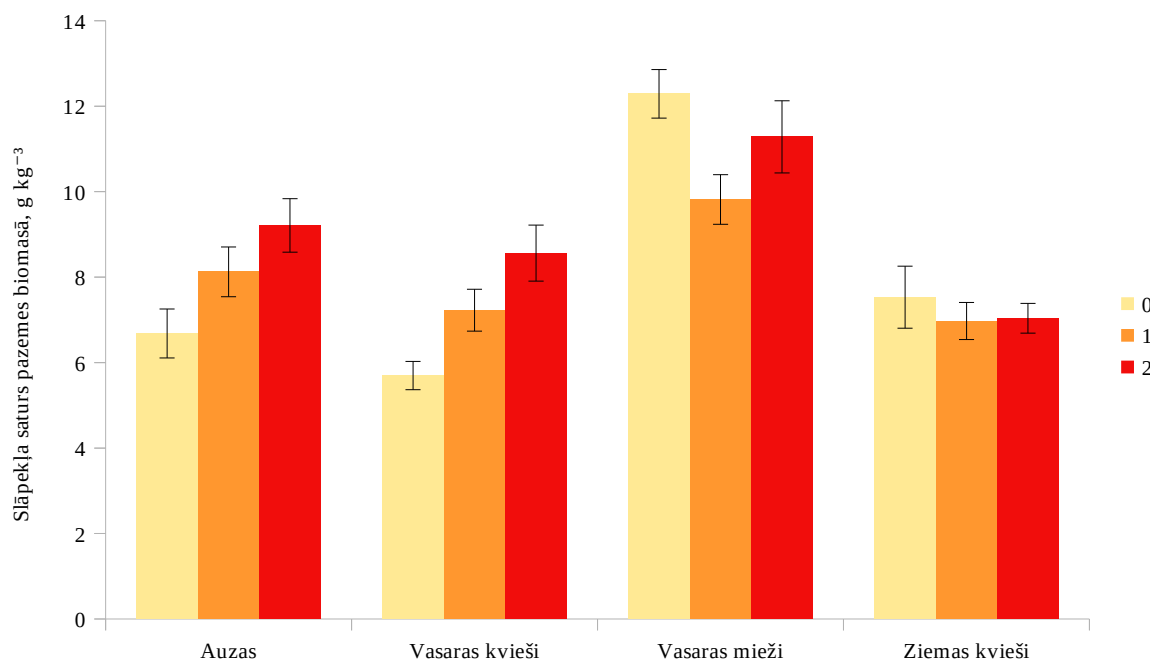
Virszemes biomasā tikai auzām konstatēts būtisks oglekļa satura palielinājums, izmantojot lielāku mēslojuma devu (Att. 52). Pārējām kultūraugu sugām būtiski atšķiras oglekļa saturs bioloģiski audzētos augos, bet mēslojuma devas ietekme uz oglekļa saturu virszemes biomasā integrētajās saimniecībās nav konstatēta.



Att. 52: Oglekļa satura salīdzinājums virszemes biomasā, atkarībā no mēslojuma devas.

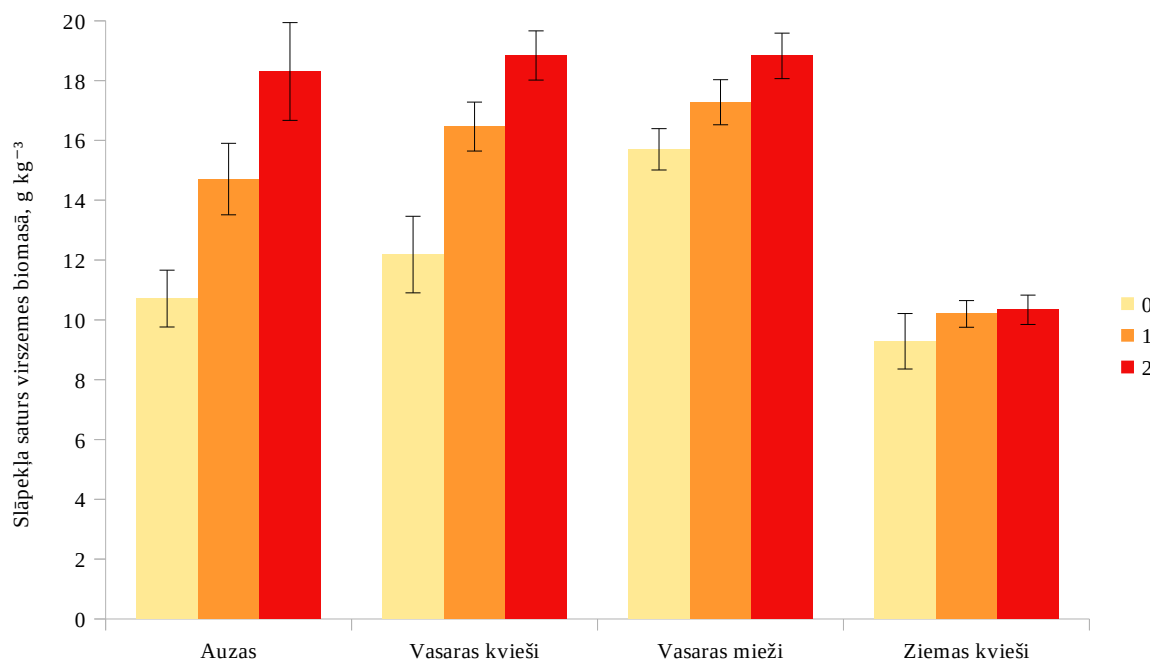
⁹ 0 - bioloģiskajās saimniecībās izaudzēta biomasa, 1 - mazākā mēslojuma deva, 2 - lielākā mēslojuma deva.

Slāpekļa satura izmaiņām pazemes biomasā novērojama izteikta pieauguma tendence, izmantojot lielāku mēslojuma devu. Izņēmums ir ziemas kvieši. Bioloģiski audzētos miežos slāpekļa saturs pazemes biomasā ir būtiski lielāks, nekā, pielietojot mazāko mēslojuma devu integrētajā saimniecībā. Tas var būt saistīts ar lielu sākotnējo slāpekļa saturu augsnē, izmantojot lielu kūtsmēsli devu iepriekšējā gadā (Att. 53).



Att. 53: Slāpekļa satura salīdzinājums pazemes biomasā, atkarībā no mēslojuma devas.

Virszemes biomasā visām kultūraugu sugām, izņemot ziemas kviešus, konstatēta slāpekļa satura pieauguma tendence, palielinot mēslojuma devu (Att. 54). Bioloģiski audzētajos augos slāpekļa saturs virszemes biomasā visām sugām ir mazāks, nekā integrētajās saimniecībās audzētiem augiem.



Att. 54: Slāpekļa satura salīdzinājums virszemes biomasā, atkarībā no mēslojuma devas.

Pētījums parāda arī potenciāli būtisku oglekļa satura atšķirību virszemes un pazemes biomasā, kas arī jāņem vērā pārrēķinu koeficientos. Iegūtos rezultātus varēja ietekmēt ekstremāli laika apstākļi 2018. gadā, tāpēc izstrādājamajos biomasas pārrēķinu vienādojumos jāiekļauj arī 2019. un 2020. gada dati.

Biomasas datu kopsavilkums

2018. gada sausums būtiski ietekmēja ražas rādītājus un, iespējams, arī biomasu, tāpēc biomasas pārrēķinu koeficientu izstrādāšanai nepieciešami vēl vismaz 2 gadu mērījumu dati. Sākotnējo rezultātu kopsavilkums saimniecību veidu un kultūraugu sugu griezumā dots Tab. 8.

Tab. 8: Sākotnējie biomasas aprēķinu dati

Saimniecības veids	Kultūraugi	Pazemes biomasas, tonnas ha ⁻¹	Virszemes biomasas, tonnas ha ⁻¹	Produkcija, tonnas ha ⁻¹	Pazemes biomasas sausna no produkcijas	Virszemes biomasas sausna no produkcijas
Bioloģiskā	Āboliņš	5,54	6,98	-	-	-
	Auzas	1,20	4,62	3,96	30%	117%
	Auzas ar pasēju	1,10	4,57	3,96	28%	115%
	Griķi	0,62	5,13	1,64	38%	312%
	Mieži	1,60	3,06	2,59	62%	118%

Galveno lauksaimniecības kultūru biomasas dati un biomasas pārrēķinu vienādojumi

Saimniecības veids	Kultūraugi	Pazemes biomasas, tonnas ha ⁻¹	Virszemes biomasas, tonnas ha ⁻¹	Produkcija, tonnas ha ⁻¹	Pazemes biomasas sausna no produkcijas	Virszemes biomasas sausna no produkcijas
	Vasaras kvieši	0,65	4,55	4,21	15%	108%
	Ziemas kvieši	1,65	7,80	5,85	28%	133%
Konvencionālā	Auzas	1,28	7,61	5,62	23%	135%
	Dabīgs zālājs	26,19	-	11,40	230%	0%
	Kukurūza	1,66	16,06	7,85	21%	205%
	Kult. zālājs	21,37	-	19,66	109%	0%
	Papuve	0,83	2,98	-	-	-
	Vasaras kvieši	0,96	6,99	4,37	22%	160%
	Vasaras mieži	0,81	6,18	4,66	17%	132%
	Ziemas kvieši	0,85	8,07	5,48	15%	147%
	ziemas rapsis	1,37	11,91	3,03	45%	393%

Izmantotā literatūra

1. A. Irmak, J. W. Jones, W. D. Batchelor, J. O. Paz, 2001. ESTIMATING SPATIALLY VARIABLE SOIL PROPERTIES FOR APPLICATION OF CROP MODELS IN PRECISION FARMING. *Transactions of the ASAE* 44. <https://doi.org/10/ggcvk9>
2. Ågren, A.M., Lidberg, W., Strömberg, M., Ogilvie, J., Arp, P.A., 2014. Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping – a Swedish case study. *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 3623–3634. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3623-2014>
3. arros-Levasseur, E., 2014. Remembering and transmitting flooding experiences through material traces, in: *Workshop IMAGINING THE FUTURE OF COLLECTIVE MEMORY*. Neuchâtel.
4. Bellian, J.A., Kerans, C., Jennette, D.C., 2005. Digital Outcrop Models: Applications of Terrestrial Scanning Lidar Technology in Stratigraphic Modeling. *Journal of Sedimentary Research* 75, 166–176. <https://doi.org/10.2110/jsr.2005.013>
5. Beven, K., Germann, P., 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research* 18, 1311–1325. <https://doi.org/10/bz923g>
6. Beven, K.J., Kirkby, M.J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Bulletin* 24, 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
7. Biedrības Zemnieku saeima” atskaite par Valsts lauku tikla pasākuma Nozaru ekspertu ziņojumi” izpildi 2014. gadā, 2018. , Biedrības Zemnieku saeima” atskaite par Valsts lauku tikla pasākuma Nozaru ekspertu ziņojumi” izpildi 2014. gadā. Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, Rīga.
8. Böhner, J., Koethe, R., Conrad, O., Gross, J., Ringeler, A., Selige, T., 2002. Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation.
9. Brown, C., Harder, C. (Eds.), 2016. *The ArcGIS Imagery Book: New View. New Vision.*, 1 edition. ed. Esri Press, Redlands, CA.
10. Buchanan, B.P., Fleming, M., Schneider, R.L., Richards, B.K., Archibald, J., Qiu, Z., Walter, M.T., 2014. Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes. *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 3279–3299. <https://doi.org/10/f6g9zb>
11. Burt, T.P., Butcher, D.P., 1985. Topographic controls of soil moisture distributions. *Journal of Soil Science* 36, 469–486. <https://doi.org/10/ft2df4>
12. Carlson, T.N., Gillies, R.R., Perry, E.M., 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote Sensing Reviews* 9, 161–173. <https://doi.org/10/dpbpkg>
13. Case, B.S., Meng, F.-R., Arp, P.A., 2005. Digital elevation modelling of soil type and drainage within small forested catchments. *Can. J. Soil. Sci.* 85, 127–137. <https://doi.org/10/b3tj4f>
14. Cazorzi, F., Fontana, G.D., Luca, A.D., Sofia, G., Tarolli, P., 2013. Drainage network detection and assessment of network storage capacity in agrarian landscape. *Hydrological Processes* 27, 541–553. <https://doi.org/10/fxtdrx>
15. Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes, 2019. GZ010m. Laika apstākļi Latvijā un atsevišķās Latvijas pilsētās [WWW Document]. URL http://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/vide/vide__geogr__isterm/GZ010m.px/?rxid=17912f12-7fbe-4396-8a3e-529760cf05ef (accessed 5.22.19).
16. Chen, D., Huang, J., Jackson, T.J., 2005. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment* 98, 225–236. <https://doi.org/10/bcq82s>
17. Corwin, D.L., Lesch, S.M., Oster, J.D., Kaffka, S.R., 2006. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *Geoderma, Hydrogeology: Bridging disciplines, scales and data* 131, 369–387. <https://doi.org/10/dhzh4h>

18. Dassot, M., Constant, T., Fournier, M., 2011. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science* 68, 959–974. <https://doi.org/10/cbzh3s>
19. Detenbeck, N.E., Galatowitsch, S.M., Atkinson, J., Ball, H., 1999. Evaluating perturbations and developing restoration strategies for inland wetlands in the Great Lakes basin. *Wetlands* 19, 789–820. <https://doi.org/10/dj9kcv>
20. European Space Agency, 2019. Sentinel-2 MSI Introduction. European Space Agency.
21. Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters, ROC Analysis in Pattern Recognition* 27, 861–874. <https://doi.org/10/bpsghb>
22. Fieuzal, R., Duchemin, B., Jarlan, L., Zribi, M., Baup, F., Merlin, O., Hagolle, O., Garatuza-Payan, J., 2011. Combined use of optical and radar satellite data for the monitoring of irrigation and soil moisture of wheat crops. *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 1117–1129. <https://doi.org/10/cs6df4>
23. Gao, B., 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58, 257–266. <https://doi.org/10/fpz3cf>
24. Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C., 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327, 812–818. <https://doi.org/10/bhb6zw>
25. Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P., Wardlow, B., 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters* 34. <https://doi.org/10/b5mzff>
26. Gwak, Y., Kim, S., 2017. Factors affecting soil moisture spatial variability for a humid forest hillslope. *Hydrological Processes* 31, 431–445. <https://doi.org/10/f9mbh3>
27. Heavy agricultural machinery can damage the soil, Nordic researchers find [WWW Document], 2011. . ScienceDaily. URL <https://www.sciencedaily.com/releases/2011/05/110505083737.htm> (accessed 11.13.19).
28. Holzman, M.E., Rivas, R., Piccolo, M.C., 2014. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 28, 181–192. <https://doi.org/10/f5vrmm>
29. Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C., 2016. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing* 8, 166. <https://doi.org/10/gdqctc>
30. Ivanovs, J., Lupikis, A., 2018. Identification of wet areas in forest using remote sensing data. *Agronomy Research* 16, 2049–2055. <https://doi.org/10.15159/AR.18.192>
31. Ivanovs, J., Sietina, I., Spalva, G., 2017. Identification of wet areas in forest by using LiDAR based DEM. *International scientific conference RURAL DEVELOPMENT 2017* 0, 611–615.
32. Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., Hunt, E.R., 2004. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment, 2002 Soil Moisture Experiment (SMEX02)* 92, 475–482. <https://doi.org/10/fmscq5>
33. Jimenez, E.I., Garcia, P.V., 1991. Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity. *Resources, Conservation and Recycling* 6, 45–60.
34. Kārklīnš, A., Gemste, I., Mežals, H., Nikodemuss, O., Skujāns, R., 2009. Latvijas augšņu noteicējs. Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, Jelgava.
35. Kim, H., Oki, T., 2015. The Pilot Phase of the Global Soil Wetness Project Phase 3. *AGU Fall Meeting Abstracts 2015*, GC24B-05.
36. Kogan, F.N., 1995. Droughts of the Late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite Data. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 76, 655–668. <https://doi.org/10/brgddz>
37. Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra, 2019. Aerolāzerskenēšana. LĢIA.
38. Lazdiņš, A., Bārdule, A., Stola, J., 2013. Preliminary results of evaluation of carbon stock in historical cropland and grassland, in: *Abstracts of International Baltic Sea Regional Scientific Conference*. LSFRI Silava, Riga, pp. 56–57.
39. Lidberg, W., Nilsson, M., Lundmark, T., Ågren, A.M., 2017. Evaluating preprocessing methods

- of digital elevation models for hydrological modelling. *Hydrological Processes* 31, 4660–4668. <https://doi.org/10/gcr9x2>
40. Lupikis, A., Bardule, A., Lazdins, A., Stola, J., Butlers, A., 2017. Carbon stock changes in drained arable organic soils in Latvia: results of a pilot study. *Agronomy Research* 15, 788–798.
41. LVGMC, 2018. 2018. gads - sausākais vēsturē. Latvijas Sabiedriskie Mediji, 28. decembris [WWW Document]. URL <https://www.lsm.lv/raksts/laika-zinas/laika-zinas/lvgmc-2018-gads-sausakais-vesture.a304338/> (accessed 1.10.19).
42. Mallick, K., Bhattacharya, B.K., Patel, N.K., 2009. Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1327–1342. <https://doi.org/10/d34xvz>
43. Maxa, M., Bolstad, P., 2009. Mapping northern wetlands with high resolution satellite images and LiDAR. *Wetlands* 29, 248. <https://doi.org/10/d39d3s>
44. McBratney, A.B., Pringle, M.J., 1999. Estimating Average and Proportional Variograms of Soil Properties and Their Potential Use in Precision Agriculture. *Precision Agriculture* 1, 125–152. <https://doi.org/10/dgv78x>
45. McNabb, D.H., Startsev, A.D., Nguyen, H., 2001. Soil Wetness and Traffic Level Effects on Bulk Density and Air-Filled Porosity of Compacted Boreal Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1238. <https://doi.org/10/fht4ck>
46. Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* 5, 3–30. <https://doi.org/10/d4mgtz>
47. Moore, I.D., Norton, T.W., Williams, J.E., 1993. Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes. *Journal of Hydrology* 150, 717–747. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90133-T](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90133-T)
48. Moskal, L.M., Erdody, T.L., Kato, A., Richardson, J.H., Zheng, G., Briggs, D.F., 2009. Lidar Applications in Precision Forestry.
49. Moussa, R., Voltz, M., Andrieux, P., 2002. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. *Hydrol. Process.* 16, 393–412. <https://doi.org/10/fgkmpc>
50. Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Arp, P., 2009. Topographic modelling of soil moisture conditions: a comparison and verification of two models. *European Journal of Soil Science* 60, 94–109. <https://doi.org/10/cp5f9k>
51. Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Castonguay, M., Meng, F.-R., Arp, P.A., 2007. Verifying calculated flow accumulation patterns of mapped and unmapped forest streams by culvert location. *The Forestry Chronicle* 83, 198–206. <https://doi.org/10/ggcvmf>
52. Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Castonguay, M., Zhang, C., Meng, F.-R., Arp, P.A., 2008. Improving forest operations planning through high-resolution flow-channel and wet-areas mapping. *The Forestry Chronicle* 84, 568–574. <https://doi.org/10/ggcvmg>
53. Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Meng, F.-R., White, B., Bhatti, J.S., Arp, P.A., 2011. Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: A case study. *Ecological Modelling* 222, 2314–2332. <https://doi.org/10/ck37h9>
54. Myers, R.H., 2000. *Classical and Modern Regression with Applications*, 2 edition. ed. Duxbury Press, Australia; Pacific Grove, CA.
55. Nemani, R., Pierce, L., Running, S., Goward, S., 1993. Developing Satellite-derived Estimates of Surface Moisture Status. *J. Appl. Meteor.* 32, 548–557. <https://doi.org/10/bc9c47>
56. Nikodemus, O., Melecis, V., Kļaviņš, M., Kārklīņš, A., 2008. Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība. Latvijas Universitāte.
57. O'Brien, R.M., 2007. A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. *Qual Quant* 41, 673–690. <https://doi.org/10/bkrhm3>
58. O'Callaghan, J.F., Mark, D.M., 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 28, 323–344. <https://doi.org/10/drcwbw>
59. Oltean, G.S., Comeau, P.G., White, B., 2016. Linking the Depth-to-Water Topographic Index to Soil Moisture on Boreal Forest Sites in Alberta. *for sci* 62, 154–165. <https://doi.org/10/f8jf5m>
-

60. Paloscia, S., Pettinato, S., Santi, E., Notarnicola, C., Pasolli, L., Reppucci, A., 2013. Soil moisture mapping using Sentinel-1 images: Algorithm and preliminary validation. *Remote Sensing of Environment* 134, 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.027>
61. Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C.J., Stenseth, N.Chr., 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution* 20, 503–510. <https://doi.org/10/bfqfzq>
62. Pidwirny, M., 2013. Soil. *Encyclopedia of Earth* topics.
63. Powers, D.M.W., 2011. Evaluation: from Precision, Recall and F-measure to ROC, Informedness, Markedness and Correlation.
64. Robson, A., Beven, K., Neal, C., 1992. Towards identifying sources of subsurface flow: A comparison of components identified by a physically based runoff model and those determined by chemical mixing techniques. *Hydrological Processes* 6, 199–214. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360060208>
65. Roelens, J., Rosier, I., Dondeyne, S., Van Orshoven, J., Diels, J., 2018. Extracting drainage networks and their connectivity using LiDAR data. *Hydrological Processes* 32, 1026–1037. <https://doi.org/10/gdpgpf>
66. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (No. PAPER-A20), GEOPHYSICS. NASA, United States.
67. Ryerson, T.B., Aikin, K.C., Angevine, W.M., Atlas, E.L., Blake, D.R., Brock, C.A., Fehsenfeld, F.C., Gao, R.-S., de Gouw, J.A., Fahey, D.W., Holloway, J.S., Lack, D.A., Lueb, R.A., Meinardi, S., Middlebrook, A.M., Murphy, D.M., Neuman, J.A., Nowak, J.B., Parrish, D.D., Peischl, J., Perring, A.E., Pollack, I.B., Ravishankara, A.R., Roberts, J.M., Schwarz, J.P., Spackman, J.R., Stark, H., Warneke, C., Watts, L.A., 2011. Atmospheric emissions from the Deepwater Horizon spill constrain air-water partitioning, hydrocarbon fate, and leak rate: DEEPWATER HORIZON ATMOSPHERIC EMISSIONS. *Geophysical Research Letters* 38, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2011GL046726>
68. Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J., 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment, Recent Advances in Remote Sensing of Biophysical Variables* 79, 213–224. <https://doi.org/10/frj22w>
69. Schmidt, F., Persson, A., 2003. Comparison of DEM Data Capture and Topographic Wetness Indices. *Precision Agriculture* 4, 179–192. <https://doi.org/10/b3kcvn>
70. Schwarz, B., 2010. Mapping the world in 3D. *Nature Photon* 4, 429–430. <https://doi.org/10/bcbs8z>
71. Shore, M., Murphy, P.N.C., Jordan, P., Mellander, P.-E., Kelly-Quinn, M., Cushen, M., Mehan, S., Shine, O., Melland, A.R., 2013. Evaluation of a surface hydrological connectivity index in agricultural catchments. *Environmental Modelling & Software* 47, 7–15. <https://doi.org/10/f459jp>
72. Sofia, G., Tarolli, P., Cazorzi, F., Dalla Fontana, G., 2011. An objective approach for feature extraction: distribution analysis and statistical descriptors for scale choice and channel network identification. *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 1387. <https://doi.org/10/d6nzq5>
73. Sørensen, R., Seibert, J., 2007. Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. *Journal of Hydrology* 347, 79–89. <https://doi.org/10/frmjf3>
74. Tester, M., Langridge, P., 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327, 818–822. <https://doi.org/10/dvwjz5>
75. Thomas, I.A., Jordan, P., Shine, O., Fenton, O., Mellander, P.-E., Dunlop, P., Murphy, P.N.C., 2017. Defining optimal DEM resolutions and point densities for modelling hydrologically sensitive areas in agricultural catchments dominated by microtopography. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 54, 38–52. <https://doi.org/10/ggcvmpp>
76. Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677. <https://doi.org/10/fhm78v>

77. Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, 127–150. <https://doi.org/10/d2t346>
78. Turlajs, J. (Ed.), 2007. *Latvijas ģeogrāfijas atlants*. Apgāds Jāņa sēta, Rīga.
79. Vereecken, H., Huisman, J.A., Bogena, H., Vanderborght, J., Vrugt, J.A., Hopmans, J.W., 2008. On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review. *Water Resources Research* 44. <https://doi.org/10/fj3sxp>
80. Wang, L., Liu, H., 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science* 20, 193–213. <https://doi.org/10.1080/13658810500433453>
81. White, B., Ogilvie, J., Campbell, D.M.H.M.H., Hiltz, D., Gauthier, B., Chisholm, H.K.H., Wen, H.K., Murphy, P.N.C.N.C., Arp, P.A.A., 2012. Using the Cartographic Depth-to-Water Index to Locate Small Streams and Associated Wet Areas across Landscapes. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques* 37, 333–347. <https://doi.org/10/ggcvmq>
82. White, J.D., Running, S.W., 1994. Testing scale dependent assumptions in regional ecosystem simulations. *Journal of Vegetation Science* 5, 687–702. <https://doi.org/10.2307/3235883>
83. Yang, P., Ames, D.P., Fonseca, A., Anderson, D., Shrestha, R., Glenn, N.F., Cao, Y., 2014. What is the effect of LiDAR-derived DEM resolution on large-scale watershed model results? *Environmental Modelling & Software* 58, 48–57. <https://doi.org/10/f59h3m>
84. Zemnieku saeima, 2014. *Biedrības Zemnieku saeima'' atskaite par Valsts lauku tikla pasākuma Nozaru ekspertu ziņojumi'' izpildi 2014. gadā, 2019.*
85. Zinko, U., Seibert, J., Dynesius, M., Nilsson, C., 2005. Plant Species Numbers Predicted by a Topography-based Groundwater Flow Index. *Ecosystems* 8, 430–441. <https://doi.org/10.1007/PL00021513>

1. Pielikums: Minimālas augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte



Zemkopības ministrija



ATSKAITE

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTU

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

Līguma nr.:

3.2.-10/2019/LLU/224

Izpildītāji:

Inga Grīnfelde

Laima Bērziņa

Kristīne Valujeva

Jovita Pilecka

Olga Frolova

Projekta vadītājs:

Ainis Lagzdiņš

Jelgava 2019

Saturs

Izmantotie saīsinājumi.....	91
Ievads.....	92
SEG emisijas no minerālaugsnes.....	94
Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām.....	94
Graudaugi.....	96
Tauriņzieži.....	97
Eļļaugi.....	98
Augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām.....	99
Materiāli un metodes.....	101
Pētījuma objekta raksturojums.....	101
Mērījumu veikšana ar Picarro.....	105
Iekārtas un aprīkojums.....	105
Datu analīzes metodes.....	107
Rezultāti.....	109
SEG mērījumu rezultāti.....	109
Augsnes apstrādes un kultūru ietekme uz SEG emisijām.....	117
Augsnes temperatūras, augsnes mitruma un SEG emisiju savstarpējā ietekme.....	120
Nokrišņu daudzuma ietekme uz SEG emisijām.....	122
Secinājumi.....	126
Literatūras avoti.....	127

Attēlu saraksts

Att. 1: Augsnes analīžu rezultāti.....	9
Att. 2: Digitālais reljefa modelis.....	12
Att. 3: Ar <i>Fill Sinks</i> pārveidots DEM.....	12
Att. 4: Ar <i>Breach depressions</i> pārveidots DEM.....	13
Att. 5: Caurtekas identificēšanas piemērs.....	15
Att. 6: Ūdens plūsmas tīkls balstoties uz DEM, kas pārveidots ar <i>Fill Sinks</i> algoritmu.....	15
Att. 7: Ūdens plūsmas tīkls balstoties uz DEM, kas pārveidots ar <i>Breach Depressions</i> algoritmu.....	16
Att. 8: LiDAR darbības princips no lidmašīnas (Shih et al. 2008 ar autora papildinājumiem).....	23
Att. 9: Sentinel-2 darbības princips (ESA 2019 ar autora papildinājumiem).....	25
Att. 10: Augsnes glejošanās veidi (Nikodemus u.c. 2008).....	27
Att. 11: Pārmitrie apstākļi pētījuma teritorijās.....	29
Att. 12: Pētījumu teritoriju novietojums (autora izstrādāta karte ar Latvijas kontūru).....	29
Att. 13: Nokrišņu daudzuma mēneša summas 2018. – 2019. gadā meteostacijās "Skrīveri", "Stende" un "Rucava" salīdzinājumā ar klimatisko normu Latvijā.....	30
Att. 14: Augšņu daudzveidība pētījuma objektā "Pūre2" (ar dzeltenu marķējumu attēlā norādīts parauglaukuma nosaukums).....	32
Att. 15: Lauka darbos izmantotie instrumenti un mēriekārtas.....	32
Att. 16: Grāvju un ceļa krustpunktu piemērs Stendes pētījuma teritorijā.....	37
Att. 17: Reljefa modeļa apstrādes process.....	39
Att. 18: Sentinel-2 multispektrālo satelītainu kopskats.....	40
Att. 19: Sentinel-2 multispektrālo attēlu piemērs augusta mēnesī.....	41
Att. 20: Uztvērēja darbības raksturlīknes ilustrācija.....	44
Att. 21: Shematiska ilustrācija – parauglaukumu skaits pētījuma teritorijā "Skrīveri2" tiek samazināts no 20 uz 3, izdalot divas sausās, vienu slapjo zonu aprēķinot vidējās vērtības katrā zonā.....	46
Att. 22: Galveno komponentu analīzes rezultāti rudens datu kopai.....	47

Att. 23: Galveno komponentu analīzes rezultāti rudens datu kopai.....	50
Att. 24: Augsnes mitruma prognostiskā modeļa karte pētījuma teritorijā "Rucava3".....	52
Att. 25: Augsnes mitruma prognostiskā modeļa karte pētījuma teritorijā "Skrīveri3".....	53
Att. 26: Augsnes mitruma prognozes modeļa histogramma pētījuma teritorijai "Rucava3".....	54
Att. 27: Uztvērēja darbības raksturlīkne. Punktu vērtības ar dažādām sliekšņa vērtībām.....	55
Att. 28: Iegūtie modeļa rezultāti pie dažādām sliekšņa vērtībām Fill Sinks rikā.....	57
Att. 29: Precīzāki augsnes mitruma apstākļu modelēšanas rezultāti ar uzlabotu metodiku izejas datu apstrādē (pa labi).....	57
Att. 30: Depth-to-water rādītāja vizualizācija Skrīveru pētījuma teritorijās.....	58
Att. 31: Slāpekļa daudzums augsnē.....	63
Att. 33: Organiskā oglekļa daudzums augsnē.....	64
Att. 35: Karbonātu oglekļa daudzums augsnē.....	66
Att. 36: Karbonātu daudzuma salīdzinājums dažādās platībās.....	66
Att. 37: Fosfora daudzums augsnē.....	67
Att. 39: Kālija daudzums augsnē.....	68
Att. 41: Augsnes pH.....	69
Att. 43: C:N attiecība augsnē.....	71
55. att. 2018. gada sējumu platība, tūkst. ha (CSP, 2019).....	95
56. att. SEG emisiju mērījumu vieta Poķu stacionārā.....	101
57. att. Picarro G2508.....	106
58. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai.....	106
59. att. Augsnes mitruma mērītājs.....	107
60. att. Diver barometriskā spiediena mērītāji.....	107
61. att. Gāzu koncentrāciju mērījumu transformācijas aprēķina algoritma shematisks attēlojums.....	107
62. att. CH ₄ emisiju novērojumi stacionārā 2019. gadā.....	111
63. att. N ₂ O emisiju novērojumi stacionārā pēc audzētās kultūras 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	112
64. att. CO ₂ emisiju novērojumi stacionārā pēc audzētās kultūras 2019. gadā.....	113
65. att. NH ₃ emisiju novērojumi stacionārā pēc audzētās kultūras 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	114
66. att. CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ un NH ₃ emisiju salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	116
67. att. CH ₄ salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	117
68. att. N ₂ O salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	118
69. att. CO ₂ salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	119
70. att. NH ₃ salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).....	120
71. att. N ₂ O emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.....	122
72. att. CH ₄ emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.....	123
73. att. CO ₂ emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.....	124
74. att. NH ₃ emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.....	125

Tabulu saraksts

Tab. 1: Dažādu augsnes cilmiņu infiltrācijas īpašības ("Hydraulic Conductivity and Permeability of Various Soil Types," n.d.).....	13
Tab. 2: Pētījuma teritoriju raksturojums.....	28
Tab. 3: Pētījumu teritorijām atbilstošo karšu lapu atlase.....	34
Tab. 4: Sentinel-2 satelītainu izmantotās karšu lapas un to datumi.....	40
Tab. 5: Rezultātu apkopošanas princips uztvērēja darbības raksturlīknes izveidošanai.....	43
Tab. 6: Prognostiskā modeļa kļūdu matrica.....	55
9. tab. Izmēģinājumu shēma 2009.-2022. g.....	102
10. tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu lauciņos.....	103

11. tab. Agronomiskās darbības vasaras miežu lauciņos.....	104
12. tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu lauciņos.....	104
13. tab. N ₂ O, CO ₂ , NH ₃ un CH ₄ emisiju statistiskie rādītāji 2019. gadā.....	109
14. tab. CH ₄ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.....	110
15. tab. N ₂ O emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.....	111
16. tab. CO ₂ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.....	112
17. tab. NH ₃ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.....	113
18. tab. Kendala korelācijas koeficienti aršanas augsnes apstrādes metodei 2018. un 2019. gadā.....	121

Izmantotie saīsinājumi

SEG – siltumnīcefekta gāzes;

CO₂ – oglekļa dioksīds;

N₂O – dislāpekļa oksīds;

CH₄ – metāns;

NH₃ – amonjaks;

NO – slāpekļa oksīds;

NO₃ – nitrāti;

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

N – slāpeklis;

C – ogleklis;

ppm – tilpuma miljondaļas;

LVĢMC – Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs;

SOC – augsnes organiskais ogleklis.

Levads

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 (IPCC 2006) un 2013. gada pārstrādātajiem papildus metodiskajiem norādījumiem un labas prakses vadlīnijām, kas izriet no Kioto protokola prasībām (IPCC 2014).

Par uzskaites periodu, kas sāksies 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 “Divgadu ziņojumā un nacionālajā ziņojumā”, kas sagatavojams atbilstoši EK Regulas 749/2014 18. pantu; Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu; “Ziņojumā par politiku un pasākumiem”, kas sagatavojams saskaņā ar Eiropas Komisijas un Parlamenta Regulas 525/2013 13. pantu; “Ziņojums, kurā aprakstīts zemes izmantošanas, zemes

izmantošanas maiņas un mežsaimniecības darbību īstenošanā panāktais progress” saskaņā ar regulas 529/2013 10. pantu un citos ziņojumos, kas izriet no prasībām nacionālā SEG inventarizācijas ziņojuma sagatavošanai un dažādos ziņojumos iesniedzamo datu integritātes nodrošināšanai.

Pētījuma ietvaros risināsim jautājumus, kas saistīti ar prognožu ziņojumu pilnveidošanu, izstrādājot un integrējot LVMI Silava sadarbībā ar Zemkopības ministriju, Latvijas 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 minimālas augsnes apstrādes ietekmi uz SEG emisijām veģetācijas sezonas laikā.

Projekta uzdevumi:

1. noteikt CO₂, CH₄, N₂O emisijas no LIZ, atkarībā no augsnes apstrādes veida un kultūraugu sugas;
2. izmēģinājumos iekļaut vismaz 3 kultūraugu sugas un 2 augsnes apstrādes paņēmienus (minimāla apstrāde un aršana)
3. pētījumā izmantojot Picarro G2508 gāzu analizatoru, veicot mērījumus vidēji 2 reizes mēnesī no aprīļa līdz oktobrim, šos mēnešus ieskaitot;
4. nodrošināt iespēju Pētījuma koordinatoram iegūt augsnes paraugus izmēģinājumu objektos;
5. veikt 2018. un 2019. gadā iegūto datu analīzi un sagatavot sākotnējo par augsnes apstrādes veida un kultūraugu sugas ietekmes uz SEG emisijām raksturojumu izpētes teritorijā, t.sk. novērtēt augsnes mitruma, ķīmiskā sastāva, gaisa temperatūras, nokrišņu un mēslojuma izkliedēšanas ietekmi uz SEG emisijām.

SEG emisijas no minerālaugsnes

Lauksaimniecībā izmantojamās platībās SEG emisijas no augsnēm ir atkarīgas no biofizikālajiem procesiem un organisko vielu uzņemšanas/sadalīšanās augsnē. CO₂ veidojas aerobos apstākļos, un to ietekmē sakņu aktivitāte, mikrobioloģiskie procesi, augu atliekas, kā arī mikroklimats, reljefs un katalītiskās īpašības māla koloīdos šķīdumos (Muñoz et al., 2010). N₂O veidojas minerālā slāpekļa nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu rezultātā.

Augsnes mitrums ir viens no svarīgākajiem augsnes parametriem SEG emisiju noteikšanai no augsnes, jo mitrums kontrolē mikroorganismu aktivitāti un visus ar tiem saistītos procesus. 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 et al., 2016). CH₄ veidošanās notiek stingri anaerobos apstākļos un pozitīvi korelē ar augsnes mitrumu.

Visaugstākais CO₂ emisiju daudzums tiek novērots pie pH neitrāla līmeņa (Cuhel et al., 2010). N₂O emisijas samazinās pie skābiem augsnes apstākļiem (Nugroho et al., 2007). CO₂, CH₄ emisiju daudzumam un C/N attiecībai pastāv pozitīva korelācija (Shi, et al, 2014; Weslien, et al, 2009).

Augsnes temperatūrai un augsnes mitrumam ir liela nozīme nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu norisē, jo tie nosaka mikroorganismu aktivitāti augsnē. N₂O emisijas strauji pieaug, palielinoties augsnes temperatūrai (Signor et al., 2013). N₂O un CO₂ emisijas eksponenciāli palielinās, pieaugot temperatūrai.

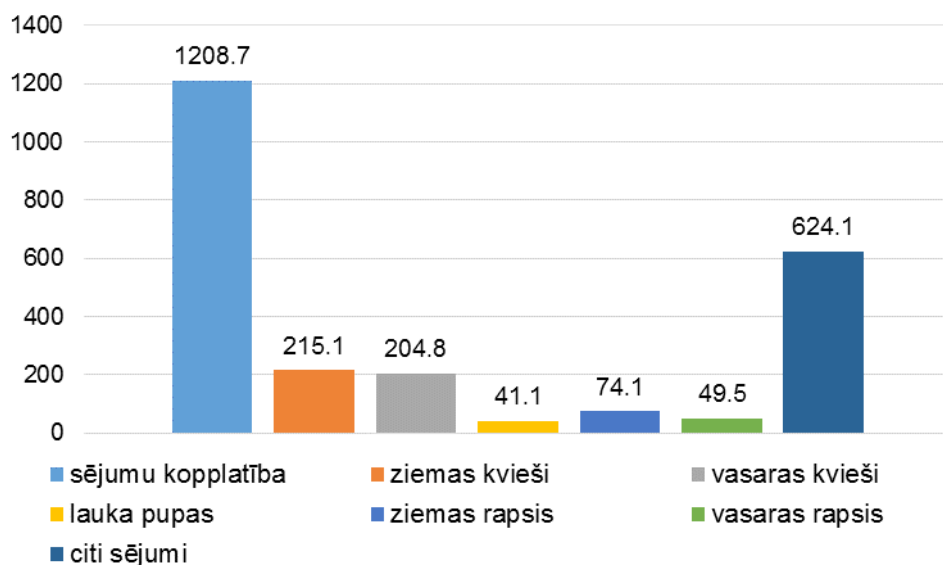
Nokrišņi pēc ilgāka sausuma periodi izraisa pulsveida jeb „*Birch effect*” emisiju pieaugumu. Emisijas palielinās dažu minūšu vai stundu laikā pēc nokrišņu sākšanās. Pēc lietus perioda beigām, emisijas nokrītas sākotnējā stāvoklī tikai pēc dažām dienām (Oertel et al., 2016).

Lai samazinātu N₂O emisijas no lauksaimniecības zemēm, mēslošanas līdzekļu lietošanas daudzums jāpielāgo augu vajadzībām (McSwiney, Robertson, 2005). Slāpekļis, kas nav pieejams augiem, izraisa N₂O emisiju pieaugumu (McSwiney, Robertson, 2005). Kontrolēta mēslošanas devu lietošana novērš N₂O emisiju palielināšanos (Shoji, et al., 2001), tomēr ir jāņem vērā, ka lietusgāžu un lietus periodu laikā N₂O emisijas var pieaugt (Venterea et al., 2012).

Kultūraugu ietekme uz SEG emisijām

2018. gadā sējumu kopplatība bija 1208.7 tūkst. ha, no kuriem 215.1 tūkst. ha ziemas kvieši, 204.8 tūkst. ha vasaras kvieši, 41.1 tūkst. ha lauka pupas, 74.1 tūkst. ha ziemas

rapsis un 49.5 tūkst. ha. vasaras rapsis. Pārējie sējumi sastāda 624.1 tūkst. ha (CSP, 2019) (55. att.).



55. att. 2018. gada sējumu platība, tūkst. ha (CSP, 2019).

Lauksaimniecības augsnes ir atbildīgas par 18% emisiju no kopējām siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijām pasaulē. Galvenie SEG avoti ir emisijas no organiskā un sintētiskā mēslojuma izmantošanas. Slāpekļa mēslojums ir svarīgs augkopībā, bet pārmērīga tā lietošana var palielināt SEG emisijas. Neorganiskie mēslošanas līdzekļi ietekmē SEG emisijas no augsnes, ietekmējot mikrobu darbību un sakņu elpošanas procesus, kas ietekmē nitrifikācijas un denitrifikācijas procesus (Ozlu et al., 2018).

Daudzos pasaules reģionos lauksaimniecība ir kļuvusi specializēta, līdz ar to samazinot kultūru daudzveidību. Šo apstākļu dēļ graudkopība ir kļuvusi atkarīga no sintētiskajiem slāpekļa (N) mēslojumiem. Sintētiskais N mēslojums ir lēts un viegli pieejams, tas ir saasinājis vides degradāciju. Nepareizai N mēslojuma lietošanai graudu audzēšanas ciklā ir nelabvēlīga ietekme uz apkārtējo vidi, piemēram, gruntsūdeņu piesārņojums ar nitrātiem, atmosfēras piesārņojums ar amonjaku un tā veicina globālo sasilšanu slāpekļa oksīda emisiju dēļ (Plaza-Bonilla et al., 2017).

Aramzemes īpatsvars ar pākšaugiem Eiropā ir samazinājies no 4.7% 1961. gadā līdz 1.8% 2011. gadā. Šo samazinājumu var skaidrot ar labu graudaugu ražīguma potenciālu Eiropas mērenajos reģionos. Biežāk sastopamā stratēģija, lai samazinātu N minerālmēsļu pieprasījumu augkopības sistēmās, ir tauriņziežu kultūru iekļaušana augsekas rotācijā (Plaza-Bonilla et al., 2017).

Lauksaimniecība rada ievērojamu daļu siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju pasaulē, bet var arī piedalīties klimata pārmaiņu mazināšanā, jo, ievērojot augseku, ir potenciāls samazināt vai vismaz neradīt vairāk SEG emisijas no lauksaimniecības (Plaza-Bonilla et al., 2018).

Graudaugi

Latvijā graudaugu kopējās sējplatības 2018. gadā sastādīja 690.9 tūkst. ha ar vidējo ražību 29.8 cnt uz 1 ha. Ziemas kviešu sējplatība bija 215.1 tūkst. ha ar vidējo ražību 41.7 cnt no 1 ha. Vasaras kviešu sējplatība bija 204.8 tūkst. ha, ar vidējo ražību 26.1 cnt uz 1 ha. Latvijā graudaugu kopējās sējplatības 2019. gadā sastāda 732.8 tūkst. ha ar vidējo ražību 43.1 cnt uz 1 ha. Ziemas kviešu sējplatība ir 377.6 tūkst. ha ar vidējo ražību 48.8 cnt no 1 ha. Vasaras kviešu sējplatība ir 115.6 tūkst. ha, ar vidējo ražību 45.4 cnt uz 1 ha (CSP, 2019).

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

Graudaugu kultūru audzēšanas sistēmas veicina siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju. Šīs emisijas rodas, ražojot, pārstrādājot un lietojot mēslojumu un pesticīdus, izmantojot tehniku lauka darbiem - augsnes kultivēšanai, agroķīmisko vielu izkliedēšanai, ražas novākšanai. Lielākā daļa no šīm SEG emisijām rodas slāpekļa mēslojuma izmantošanas laikā. Ar N mēslošanas līdzekļu ražošanu saistītas ne tikai SEG emisijas, bet arī tiešās un netiešās SEG emisijas, ko rada N mēslojums augsnē. Tiešās N₂O emisijas rodas, kad notiek nepilnīga N mēslojuma denitrifikācija. Netiešās N₂O emisijas var rasties ārpus saimniecības robežām, ja nitrāti, kas no lauka izskalošanās rezultātā ir aizskalojušies un tiek nepilnīgi denitrificēti (Wójcik-Gront, 2018).

No galvenajām graudaugu kultūrām kvieši veido vienu no lielākajiem N mēslojuma patēriņiem pasaulē. Augstāks N daudzums dod iespēju palielināt kviešu ražu. No otras puses, slāpekļa mēslojuma lietošana ir atzīta par galveno faktoru N₂O emisiju palielināšanai lauksaimniecības nozarē (Wójcik-Gront, 2018).

Kad pākšaugi tiek audzēti pirms kviešiem, tie dod vēl vienu būtisku ieguvumu - slāpekļi pākšaugu atliekās samazina nepieciešamību kviešu kultūrai lietot slāpekļa mēslojumu (FAO, 2016).

Rudenī un ziemā būtu ieteicams audzēt graudaugus, kas spēj uzņemt no augsnes pāri palikušo N un samazinātu N izskalošanos (Poeplau et al., 2015). Augsnes organiskā oglekļa (SOC) lielāka uzkrāšanās ir tur, kur ir mazāka augsnes apstrāde un daudzgadīgie kultūraugi, bet nepārtrauktākā graudaugu audzēšanā un konvencionālā lauksaimniecībā SOC uzkrājas mazāk (Maillard et al., 2016). Tiek lēsts, ka visā pasaulē aptuveni 190 miljoni ha pākšaugu augsnēs rada apmēram 5-7 miljonus t slāpekļa. Pateicoties šai "dabiskajai mēslošanai", pēc pākšaugiem audzētie kvieši dod augstāku graudu ražu un tajos ir lielāks olbaltumvielu saturs nekā kviešos, kas audzēti pēc citas kviešu ražas. Pākšaugi palielina arī citu barības vielu uzņemšanu kviešiem, ja tie audzēti pēc tiem. Kviešiem, kas audzēti pēc pākšaugiem, parasti ir veselīgāka sakņu sistēma nekā kviešiem pēc kviešiem (FAO, 2016).

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

Pie apsaimniekošanas tiek ieteikts optimizēt N mēslojuma lietošanu un iekļaut salmu atgriešanu, lai panāktu agronomiski un ekonomiski ilgtspējīgu ziemas kviešu ražošanu (Zhuang et al., 2019). Augu atliekas no lopbarības pākšaugiem augsnei dod līdz 300 kg slāpekļa uz hektāru (FAO, 2016).

Tauriņzieži

Pākšaugi tiek vērtēti lauksaimniecības sistēmās, jo tie var veicināt ilgtspējīgāku zemes izmantošanu, tomēr to ekonomiskā vērtība ir zema. Neskatoties uz ieguvumiem veselībai un videi, ražotājiem ir grūti paskaidrot patērētājiem par pākšaugu vērtību (Lemken et al., 2017a). Starp ekonomiski nozīmīgiem pākšaugiem var pieskaitīt – zirņus, fava pupiņas un lupīnas (Lemken et al., 2017b). Pākšaugi piesaista baktērijas, kas fiksē atmosfēras slāpekli, izmanto slāpekli un padara to pieejamu augsekā. Vairāki ieguvumi ir cieši saistīti ar slāpekļa mēslojuma izmantošanu un pākšaugiem. Slāpekļa fiksācija samazina ūdensteču eutrofikāciju, samazina N₂O emisiju un novērš oglekļa dioksīda emisijas, kas saistītas ar mēslošanas līdzekļu ražošanu (Lemken et al., 2017a, Plaza-Bonilla et al., 2018).

Lai samazinātu slāpekļa (N) zudumus vidē un mazinātu siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas, tiek veicinātas alternatīvas augkopības sistēmas, vērtējot gan sistēmu, gan audzējamo kultūru (Autret et al., 2019). Tauriņzieži spēj ietekmēt atmosfēru un augsnes kvalitāti. Pākšaugu ieviešana lauksaimniecības augsekas maiņā palīdz samazināt izmantoto mēslošanas līdzekļu daudzumu un resursus, kas tiek izmantoti aramzemēs, un tādējādi tiek samazinātas SEG emisijas (Lemken et al., 2017b). Pākšaugi 70-80% slāpekļa iegūst no atmosfēras, to fiksējot sakņu gumos, pateicoties šim efektam optimālai ražībai nav nepieciešams papildus slāpekļa mēslojums (FAO, 2016).

Pākšaugu kultūru audzēšana ir ierosināta kā veids, kā samazināt siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas, jo tās spēj fiksēt atmosfēras N un tādējādi samazina nepieciešamību pēc ārējiem jeb citiem slāpekļa (N) mēslošanas līdzekļiem. Turklāt bioloģiskās lauksaimniecības izveidošana ir ierosināta kā ilgtspējīga stratēģija, lai uzlabotu ekosistēmas pakalpojumu sniegšanu, kaut arī labības raža parasti ir zemāka nekā tradicionālajā lauksaimniecībā. Tomēr augsta mikrobu aktivitāte pākšaugu rizosfērā var arī palielināt augsnes organiskās vielas mineralizāciju un līdz ar to arī CO₂ izmešus (Sánchez-Navarro et al., 2020). Neitrālā un sārmainā augsnē pākšaugi palielina neorganiskā P pieejamību ar rizosfēras paskābināšanos N₂ fiksācijas dēļ, kas dod labumu starpkultūru labībai, kad graudaugi un pākšaugi, tiek audzēti kopā vai arī veidojot augseku (Betencourt, 2012).

Būtiskākie ieguvumi audzējot pākšaugus:

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

Ir konstatēts, ka pākšaugu un graudaugu maisījums uzlabo bioloģisko kaitēkļu apkarošanu, samazina sintētiskā mēslojuma vajadzības un tādējādi samazina ar ķīmisko vielu izmantošanu saistītos riskus. (Lemken et al., 2017b).

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

Augsnes apstrāde ar dažādu pākšaugu kultūrām ir efektīvs ilgtermiņa pasākums SOC uzglabāšanai un iespējamai globālās sasilšanas mazināšanai (Plaza-Bonilla et al., 2018). Dziļi iesakņojušies pākšaugi, piemēram, cūku zirņu (*Cajanus cajan*) un hiacinšu pupas (*Lablab purpureus*), palīdz veidot augsnes struktūru un bioporas, kas uzlabo drenāžu un aerāciju augsnē (FAO, 2016).

Faba pupiņu un kviešu rotācijas sistēmās rezultātā kviešu raža var tikt palielināta līdz 70%, vienlaikus samazinot vajadzību pēc slāpekļa mēslojuma (FAO, 2016). Pākšaugi spēj fiksēt N no 124-279 kg no hektāra. Audzējot kukurūzu pēc pākšaugiem, ražas palielinājums bija 0.5 t no ha, salīdzinot ar kukurūzu pēc kukurūzas (Plaza-Bonilla et al., 2018).

Eļļaugi

Rapsis ir izplatītākā eļļas augu kultūra Latvijā. Kultivētās platības ir palielinājušās, sākot ar 2004. Gadu. 2018. gadā rapša kultūra aizņēma 123.6 tūkst. ha (ziemas rapsis – 74.1 tūkst. ha un vasaras rapsis – 49.5 tūkst. ha). 2019. gadā rapša kultūra aizņēma 140.1 tūkst. ha (ziemas rapsis – 116.3 tūkst. ha un vasaras rapsis – 23.8 tūkst. ha) (CSP, 2019). Platību pieaugums ir saistāms ar biodīzeļdegvielas ražošanas attīstību. Rapsi izmanto arī pārtikas eļļas ražošanai, un ražošanas atlikums ir izmantojams lopbarībā. Dzīves cikla analīzes pētījumu rezultāti ir izvirzījuši pieņēmumu, ka kopumā tiešās N₂O emisijas sastāda no 20 līdz 40% no biodīzeļdegvielas ražošanas un patēriņa emisijām (Ruser et al., 2017).

Slāpekļa mēslojums rada vairāk nekā 75% no SEG emisijām, kas saistītas ar augkopību. Ļoti vēlama ir spēja palielināt ražu, nepalielinot (un ideālā gadījumā samazinot) slāpekļa (N) mēslošanas līdzekļu daudzumu (Storer et al., 2018). Ziemas rapsim ir nepieciešamas lielas ikgadējās slāpekļa (N) mēslojuma devas, kā arī augam ir

dažādas slāpekļa uzņemšanas tendences gada griezumā, salīdzinot ar graudaugiem. Ir zināms, ka slāpekļa oksīda (N₂O) tiešās emisijas lauka apstākļos parasti veido 33 – 55% no kopējām SEG emisijām, kas saistītas ar eļļas rapša audzēšanu (Thers et al., 2019). Rudenī ziemas rapsis intensīvi piesaista slāpekli no augsnes, taču augu atliekas pēc kulšanas satur ievērojamu daudzumu slāpekli, jo rapša sēklu slāpekļa akumulācija ir neliela. Tas norāda uz aktuālo problēmu - slāpekļa zudumiem pēc kultūras ražas novākšanas. Salīdzinot ar graudaugiem, ziemas rapša ikgadējās N₂O emisijas ir par 22% lielākas, izmantojot vienādas mēslošanas devas (Walter et al., 2015).

Rapša iekļaušanai augu sekā ir pozitīva ietekme, jo tas pārtrauc augu patogēnu ciklu, samazinot pesticīdu nepieciešamību nākamo kultūru audzēšanā. Rapšu lielā sakņu sistēma uzlabo augsnes struktūru. Viena no piemērotākajām sekojošajām kultūrām ir ziemas kvieši, jo tie spēj izmantot augsnē uzkrāto slāpekli pēc rapša kultivācijas, palielinot ražas produktivitāti (Vinzent et al., 2017).

Pasaulē tiek veikti lauka pētījumi, lai potenciāli samazinātu N₂O emisijas (Thers et al., 2019). ES valstīs šo stimulu pastiprina ES Atjaunojamo energoresursu direktīva (RED), kurā noteikts, ka SEG emisijām, ko rada atjaunojamo biodegvielu, piemēram, biodīzeļdegvielas, ražošanā jābūt vismaz par 50% zemākām, salīdzinot ar fosilā kurināmā izmantošanu (European Parliament, 2009). Kokogles, kas ražotas no biomasas, veicot pirolīzi, izmanto kā vielu, kas var samazināt N₂O tiešās lauka emisijas. Veiktie pētījumi pasaulē norāda uz to, ka kokogles N₂O emisijas vidēji samazina par 54% laboratorijas apstākļos un par 28% lauka apstākļos (Thers et al., 2019).

Augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām

Aršana palielina CO₂ emisiju gaisā. Pastāv uzskats, ka līdz ar bezaršanas metodes ieviešanu, samazinās arī CO₂ emisija no augšņu apsaimniekošanas. Maksimālais efekts tiek sasniegts, ja augsne netiek apstrādāta (Reicosky, 1997). Galvenokārt, bezaršanas apsaimniekošana tiek pielietota, lai samazinātu augsnes eroziju, tomēr ir arī citi pozitīvie ieguvumi: uzlabota barības vielu aprīte, tiek uzlabota augsnes mitruma uzturēšana, kas ir būtiski arī klimata apstākļos, kā arī iespēja samazināt siltumnīcefekta gāzes (Ogle et al., 2019). Vairāk nekā 10 gadu periods ir nepieciešams, lai pilnīgi novērtētu bezaršanas augsnes apsaimniekošanas ietekmi (Cusser et al., 2019). Galvenokārt bezaršanas metode tiek pielietota Amerikā. Eiropā šī metode tiek pielietota apmēram 10-12% no aramzemes. Lielākās platības Eiropā, kas apsaimniekotas ar bezaršanas metodi, ir Francijā (3 miljoni hektāru jeb 17% no aramzemes), Vācijā (2.4 miljoni hektāru jeb 20% no aramzemes) un Spānijā (2 miljoni hektāru jeb 14% no aramzemes) (Abdalla, et al., 2013).

Reicosky un Archer, (2007) savā pētījumā secināja, ka pēc aršanas pieaug CO₂ emisija, un līdz ar aršanas dziļuma palielināšanu CO₂ emisijas apjoms ievērojami palielinās, tāpēc pastāv pieņēmums, ka, samazinot augsnes apstrādes dziļumu, CO₂ emisijai no

augsnes būtu jāsamazinās. N₂O emisijas ir palielinātas pie minimālās augsnes apstrādes, taču rezultāti nav viennozīmīgi, jo daži zinātnieki apgalvo, ka palielinājums ir nebūtisks vai atšķirības vispār nepastāv (Abdalla, et al., 2013). Peterson et al., (2019) pētījumā pēc aršanas novērots, ka CO₂ un N₂O emisijas dubultojas. Badagliacca et al., (2018) pētījuma rezultāti parādīja, ka N₂O emisija pieaug, ja tiek pielietota bezaršanas metode. N₂O emisiju palielinājums varētu būt saistāms ar palielinātu nitrifikācijas intensitāti, lielāku augsnes mitrumu un blīvumu (Abdalla, et.al., 2013).

Viens no faktoriem, kas ietekmē N₂O emisiju, ir izmantotais mēslojuma veids. Venterea et al., (2005) pētījuma rezultāti parādīja, ka, izmantojot šķidro minerālmēslojumu, bija novērojamas dažādas tendences. Inžekcijas veidā iestrādājot urīnvielu, augstākas N₂O emisijas bija novērojamas pie minimālās augsnes apstrādes un bezapstrādes metodēm. Inžekcijas veidā iestrādājot bezūdens amonjaku, augstāka N₂O emisija augsnē bija pie minimālās apstrādes un aršanas, bet zemākas pie bezapstrādes. Izklieājot uz virsmas urīnvielas amonija nitrāta šķidro minerālmēslojumu, N₂O emisija neatšķīrās starp augsnes apstrādes veidiem (Venterea et.al., 2005).

Šobrīd pastāv uzskats, ka augsnes bezaršanas apstrādes veids samazina CH₄ emisiju, taču nav atklātas būtiskas atšķirības (Abdalla, et.al., 2013). Augsne var būt gan CH₄ emisijas avots, gan arī tā spēj asimilēt CH₄. Metāna emisija gaisā no augsnes galvenokārt ir saistāma ar pārmitrām augsnēm (mitrumu virs 60%), bet CH₄ asimilācija notiek sausākās augsnēs, kur ogleklis ir nepieciešams biomasas ražošanai. Augsnes apstrāde samazina augsnes spēju asimilēt CH₄ (Peterson et.al., 2019).

Nav noteiktas būtiskas atšķirības, lai apgalvotu, ka augsnes minimālā apstrāde, salīdzinot ar aršanas tehnoloģiju, veicina augsnes organiskā oglekļa uzkrāšanos dziļāk augsnes profilā, salīdzinot ar bezapstrādes tehnoloģiju (Ogle et.al., 2019). Steinbach un Alvarez, (2006) izvērtēja augsnes apstrādes veida ietekmi uz siltumnīcefekta gāzēm vienam no Argentīnas reģioniem. Viņi secināja, ka nepastāv būtiskas atšķirības starp aršanas un minimālās apstrādes ietekmi uz augsnes organisko oglekli. Tika aprēķināts, ka N₂O emisija no augsnes, kas apsaimniekotas ar bezaršanas metodi, 35 gadu periodā pārsniegs oglekļa piesaisti un kļūs par emisiju avotu (Steinbach, Alvarez, 2006).

Materiāli un metodes

Pētījuma objekta raksturojums

2019. gadā projekta īstenošanas gaitā N_2O , CH_4 , CO_2 , NH_3 , un H_2O mērījumi lauka apstākļos tika veikti Poķu stacionārā, kur lauksaimnieciskā darbība notiek uz minerālaugsnēm. SEG emisiju mērījumu atrašanās vieta norādīta 56. att. un stacionāra augu seka ir izklāstīta 9. tab. SEG emisiju mērījumi tika veikti ziemas kviešu, vasaras miežu un pupu izmēģinājumu laucīņos, kur laucīņi tiek apstrādāti ar aršanas un diskošanas augsnes apstrādes metodēm. Agronomiskās darbības izmēģinājuma laucīņos ir aprakstītas 10. tab., 11. tab. un 12. tab.



56. att. SEG emisiju mērījumu vieta Poķu stacionārā.

9. tab. Izmēginājumu shēma 2009.-2022. g.

Gads	1 sleja Diskots	2 sleja Arts	3 sleja Arts	4 sleja Diskots
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2011	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2014	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
1015	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši
2016	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2017	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2018	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2020	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2021	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2022	Z. kvieši Z. kvieši Z. kvieši 1. lauks	Z. kvieši Z. kvieši Z. kvieši 2.	Z. kvieši Z. kvieši Z. rapsis 3.	Z. rapsis Z. kvieši Z. rapsis 4.
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. rapsis	V. rapsis	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	V. rapsis	V. rapsis
2014	V. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
1015	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2016	V. rapsis	V. rapsis	V. mieži Pupas	V. mieži Pupas
2017	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2018	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. rapsis
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	V. mieži Pupas	V. mieži Pupas
2020	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2021	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. rapsis 7.	Z. rapsis 8.
2022	Z. kvieši Z. kvieši 5.	Z. kvieši Z. kvieši 6.		
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	V. rapsis	V. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. mieži	V. mieži	V. mieži	V. mieži
2012	V. rapsis	V. rapsis Z kvieši Pupas	Z. mieži	Z. mieži
2013	Z. kvieši Pupas	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2014	Z. kvieši	Z. rapsis	V. kvieši Pupas	V. kvieši Pupas
1015	Z. rapsis	V. mieži Pupas	Z. kvieši	Z. kvieši
2016	V. mieži Pupas	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2017	Z. kvieši	Z. rapsis	V. mieži Pupas	V. mieži Pupas
2018	Z. rapsis	V. mieži Pupas	Z. kvieši	Z. kvieši
2019	V. mieži Pupas	10.	Z. rapsis	Z. rapsis
2020	9.		V. mieži 11.	V. mieži 12.
2021				
2022				
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2011	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2013	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2014				
1015				

Gads	1 sleja Diskots	2 sleja Arts	3 sleja Arts	4 sleja Diskots
2016	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši	V. kvieši
2017	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2018	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2019	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2020	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2021	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2022	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
	Z. kvieši	Z. kvieši 14.	Z. rapsis 15.	Z. rapsis 16.
	13. lauks			
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. rapsis	V. rapsis	V. kvieši	V. kvieši
2012	Z. kvieši	Z. kvieši	V. rapsis	V. rapsis
2013	V. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2014	V. mieži	V. mieži	Z. rapsis	Z. rapsis
2015	V. rapsis	V. rapsis	V. mieži Pupas	V. mieži Pupas
2016	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. kvieši
2017	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. rapsis
2018	Z. kvieši	Z. kvieši	V. mieži Pupas	V. mieži Pupas
2019	Z. rapsis	Z. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2020	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis 19.	Z. rapsis 20.
2021	Z. rapsis	Z. rapsis		
2022	Z. kvieši	Z. kvieši		
	Z. kvieši 17.	Z. kvieši 18.		
2009	Z. kvieši	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2010	V. rapsis	V. rapsis	Z. kvieši	Z. kvieši
2011	V. mieži	V. mieži	V. mieži	V. mieži
2012	V. rapsis	V. rapsis Z kvieši Pupas	Z. mieži	Z. mieži
2013	Z. kvieši Pupas	Z. kvieši	Z. rapsis	V. rapsis
2014	Z. kvieši	Z. rapsis	V. kvieši Pupas	V. kvieši Pupas
2015	Z. rapsis	V. mieži Pupas	Z. kvieši	Z. kvieši
2016	V. mieži Pupas	Z. kvieši	Z. rapsis	Z. rapsis
2017	Z. kvieši	Z. rapsis	V. mieži Pupas	V. mieži Pupas
2018	Z. rapsis	V. mieži Pupas	Z. kvieši	Z. kvieši
2019	V. mieži Pupas	22.	Z. rapsis	Z. rapsis
2020	21.		V. mieži 23.	V. mieži 24.
2021				
2022				

10. tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu laucīņos.

Ziemas kvieši, 2018./2019. gads					
Priekšaugi	dažādi				
Augsne	Viršēji velēnglejtā augsne				
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobīšana pēc priekšauga novākšanas				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Artajā variantā</th> <th>Lobītajā variantā</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aršana 27.08.2018 Aruma šļūksana - 29.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018</td> <td>Disku lobīšana 2 reizes 24.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018</td> </tr> </tbody> </table>	Artajā variantā	Lobītajā variantā	Aršana 27.08.2018 Aruma šļūksana - 29.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018	Disku lobīšana 2 reizes 24.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018
Artajā variantā	Lobītajā variantā				
Aršana 27.08.2018 Aruma šļūksana - 29.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018	Disku lobīšana 2 reizes 24.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 04.09.2018				

Ziemas kvieši, 2018./2019. gads	
Pamatmēslojums	NPK 10-26-26 250 kg ha ⁻¹ (reizē ar sēju)
Sēkla	Šķirne – `Skagen` Kodne - Kinto Plus, deva 1.5 L t-1
Izsējas norma	450 dīgstošas sēklas m ²
Sējas laiks	06.09.2018
Papildmēslojums	Amonija nitrāts (N 34.4 %) 250 kg ha ⁻¹ 29.03.2019 Amonija nitrāts (N 34.4 %) 200 kg ha ⁻¹ 08.05.2019
Smidzinājumi	Herbicīds – Tombo WG 200 g ha ⁻¹ + Dash 0.5 L ha ⁻¹ 30.04.2019 Retardants: Cycocel 750 1 L ha ⁻¹ 30.04.2019 Medax Max 0.5 kg ha ⁻¹ 22.05.2019 Fungicīds: Opera N 1 L ha ⁻¹ 12.06.2019 Ārpussakņu mēslojumi: YaraVita® GRAMITREL 2 L ha ⁻¹ 30.04.2019 YaraVita® GRAMITREL 2 L ha ⁻¹ 22.05.2019

11. tab. Agronomiskās darbības vasaras miežu laucīņos.

Vasaras mieži, 2019. gads		
Priekšaugšs	z. rapsis	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobišana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Lobītajā variantā
	Aršana – 27.08.2018 Aruma šļūkšana – 29.08.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā un 16.04.2019	Disku lobišana 2 reizes 24.08. 2018 un 18.10.2018 Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā – 16.04.2019
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15 + 10S 250 kg ha ⁻¹ (reizē ar sēju)	
Sēkla	Šķirne – `Tocada` Kodne – Maxim Star 025FS, deva 2 L t-1	
Izsējas norma	450 dīgstošas sēklas m ²	
Sējas laiks	17.04.2019	
Papildmēslojums	YaraBela® Axan NS 27-4 200 kg ha ⁻¹ (15.05.2019)	
Smidzinājumi	Herbicīds: Biatlon 4D 60 g ha ⁻¹ + DASH 0.5 L ha ⁻¹ (23.05.2019) Fungicīds: Tango Super 1 L ha ⁻¹ (13.06.2019) Insekticīds: Fastac 50 0.25 L ha ⁻¹ (23.05.2019) Ārpussakņu mēslojumi: YaraVita® GRAMITREL 2 L ha ⁻¹ (23.05.2019)	

12. tab. Agronomiskās darbības ziemas kviešu laucīņos.

Pupas, 2019. gads		
Priekšaugšs	v. mieži	
Augsne	Viršēji velēnglejotā augsne	
Augsnes apstrāde	Aršana vai lobišana pēc priekšauga novākšanas	
	Artajā variantā	Lobītajā variantā
	Aršana – 27.08.2018 Aruma šļūkšana – 29.08.2018	Disku lobišana 2 reizes 24.08. 2018 un 18.10.2018

Pupas, 2019. gads		
	Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā un 16.04.2019	Apstrāde ar kompaktoru 4 – 5 cm dziļumā - 16.04.2019
Pamatmēslojums	NPK 15-15-15 + 10S 250 kg ha ⁻¹ (reizē ar sēju)	
Sēkla	Šķirne – `Tocada` Kodne – Maxim Star 025FS, deva 2 L t-1	
Izsējas norma	450 dīgstošas sēklas m ²	
Sējas laiks	17.04.2019	
Papildmēslojums	YaraBela® Axan NS 27-4 200 kg ha ⁻¹ (15.05.2019)	
Smidzinājumi	Herbicīds: Biatlon 4D 60 g ha ⁻¹ + DASH 0.5 L ha ⁻¹ (23.05.2019) Fungicīds: Tango Super 1 L ha ⁻¹ (13.06.2019) Insekticīds: Fastac 50 0.25 L ha ⁻¹ (23.05.2019) Ārpussakņu mēslojumi: YaraVita® GRAMITREL 2 L ha ⁻¹ (23.05.2019)	

Mērījumu veikšana ar Picarro

Iekārtas un aprīkojums

Lauksaimniecības augšņu emitēto gāzu mērījumi tika veikti izmantojot mobilo spektrofotometru Picarro G2508 (57. att.), 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 (58. att.). Pamatne ir veidota no metāla, un tās apakšējā mala ir noasināta, lai to būtu vieglāk ievietot augsnē. Uz pamatnes novieto necaurspīdīgu kupolu. Lai nodrošinātu blīvu saslēgumu starp pamatni un kupolu, starp tiem ir rūpnieciski uzstādīta blīvgumija. Kameras savienojumus ar iekārtu Picarro G2508 tika izveidots, izmantojot rūpnieciski ražotus nerūsējošā tērauda savienojumus, kas savienots ar 9 metrus garu teflona caurulīti, kuras iekšējais diametrs ir 1/16 collas un ārējais diametrs 1/8 collas, savukārt savienojums ar kameru tika veidots, izmantojot ātro savienojumu, kas izolēts ar gumijas blīvi.



57. att. Picarro G2508¹⁰.



58. att. Kamera gāzu mērījumu veikšanai¹¹.

Pirms augsnes gāzu emisiju mērījumiem tika veikti augsnes mitruma mērījumi, izmantojot Lutron augsnesmitruma mērītāju PMS-714, kas veic augsnes mitruma mērījumus augsnes virsējā slānī (59. att.). 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 (60. att.). Kameras gaisa temperatūras un gaisa spiediena mērītājs tika novietots kamerā tieši pirms kupola nostiprināšanas.

¹⁰ autors: K.Valujeva.

¹¹ autors: J.Pilecka.



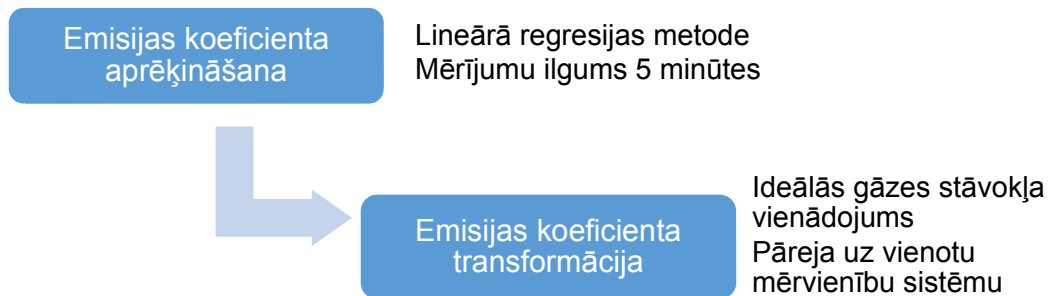
59. att. Augšnes mitruma mēritājs¹².



60. att. Diver barometriskā spiediena mēritāji¹³.

Datu analīzes metodes

Lai iekārtas Picarro G2508 koncentrācijas mērījumus transformētu siltumnīcas efekta gāzu emisijās no hektāra, aprēķinam tika izmantots vairāku pakāpju algoritms (61. att.).



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

Siltumnīcas efekta gāzu emisiju raksturo koncentrācijas izmaiņas ātrums un virziens izolētā kamerā. Emisiju koeficienta aprēķina pamatā ir lineārā regresija (10. formulu), izmantojot mazāko kvadrātu metodi, kur emisiju apjomu raksturo regresijas koeficients (11. formulu), savukārt brīvais loceklis (12. formulu) raksturo mērījumu sākuma koncentrāciju. Precizitāti raksturo determinācijas koeficients R^2 (13. formulu). Lineārās regresijas aprēķinam tika izmantotas pirmās piecas mērījumu minūtes.

¹² autors: K.Valujeva

¹³ autors: J.Pilecka

$$y = mx + b, \text{ kur} \quad (10)$$

y – koncentrācija ppm s^{-1} ;
 x – laiks sekundēs;
 m – regresijas koeficients;
 b – brīvais loceklis.

$$m = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{n \sum (x^2) - (\sum x)^2}, \text{ kur} \quad (11)$$

m – regresijas koeficients;
 y – koncentrācija, ppm s^{-1} ;
 x – laiks sekundēs;
 n – mērījumu skaits.

$$b = \frac{\sum y - m \sum x}{n}, \text{ kur} \quad (12)$$

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

$$R^2 = \left(\frac{\sum (x * y) - \sum x * \sum y}{\sqrt{[n \sum (x^2) - (\sum x)^2] * [n \sum (y^2) - (\sum y)^2]}} \right)^2, \text{ kur} \quad (13)$$

R^2 – determinācijas koeficients;
 y – koncentrācija;
 x – laiks sekundēs;
 n – mērījumu skaits.

Emisiju koeficienta pārrēķinam uz koncentrāciju diennaktī no hektāra tika izmantots ideālās gāzes stāvokļa vienādojums (skatīt 14. formulu).

$$F = p \cdot \frac{V}{A} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta T} \cdot \frac{273}{T + 273}, \text{ kur} \quad (14)$$

F – emisijas apjoms no augsnes, ($\text{gha}^{-1} \text{dnn}^{-1}$);
 p – gāzes blīvums, mg m^{-3} ;
 V – kameras tilpums, m^3 ;
 A – kameras laukums, m^2 ;
 $\frac{\Delta c}{\Delta T}$ – vidējā koncentrācijas izmaiņa laikā, ppm s^{-1} ;
 T – kameras temperatūra, $^{\circ}\text{C}$.

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

Rezultāti

Šajā nodaļā pirmajā apakšnodaļā ir apkopoti SEG mērījumu rezultāti, kur sniegts ieskaits N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju apjomu statistiskajos rādītājos. Otrajā apakšnodaļā analizēta augsnes apstrādes metožu ietekme uz N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju apjomu. Trešajā apakšnodaļā analizēta augsnes apstrādes un audzēto kultūru kompleksā ietekme uz N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju apjomu. Ceturtajā apakšnodaļā izvērtēta augsnes temperatūras un augsnes mitruma ietekme uz gāzu emisijām un N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 savstarpējās sakarības. Piektajā apakšnodaļā sniegta padziļināta summāro nokrišņu ietekme uz N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju apjomu.

SEG mērījumu rezultāti

Līdz 2019. gada 30. novembrim Poļu stacionārā mērījumi ir veikti 11 mērījumu kampaņās ziemas kviešu, vasaras miežu un pupu izmēģinājuma laucīņos, kuros augsnes apstrāde veikta ar aršanas un diskošanas metodēm. Katrā objektā tika veikti N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 mērījumi 3 kamerās, augsnes mitruma un augsnes temperatūras mērījumi. Kopā Poļu stacionārā ir veikti 140 mērījumi. 2019. gada mērījumu rezultātos ir vērojama būtiska mediānas un aritmētiskās vidējās vērtības nesakritība, kas liecina par izteiktu maksimālo vērtību ekstrēmo dabu N_2O un CO_2 emisijām, kas arī liecina par emisiju mainīgo dabu. Iegūto datu aprakstošās statistiskās analīzes rezultāti attēloti 13. tab.

13. tab. N_2O , CO_2 , NH_3 un CH_4 emisiju statistiskie rādītāji 2019. gadā.

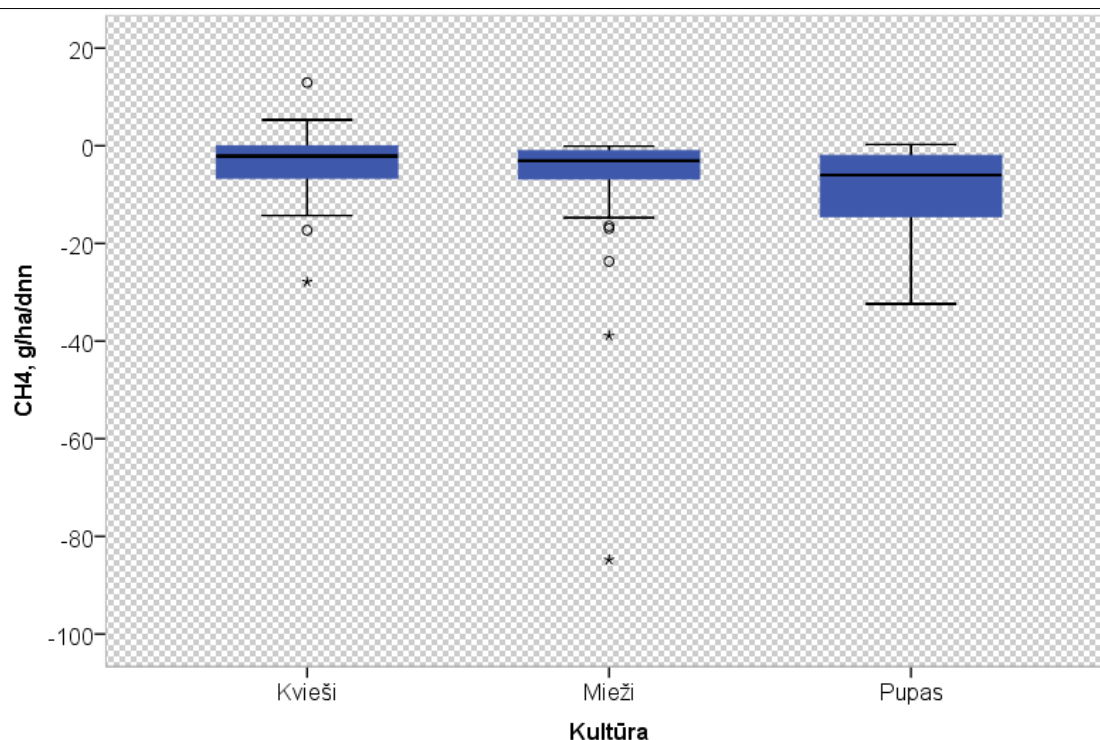
Variables		CH_4 , $g\ ha^{-1}\ dnn^{-1}$	N_2O , $g\ ha^{-1}\ dnn^{-1}$	CO_2 , $kg\ ha^{-1}$ dnn^{-1}	NH_3 , $g\ ha^{-1}\ dnn^{-1}$
N	Valid	140	140	140	140
	Missing	0	0	0	0
Mean		-6.420	25.249	123.680	-0.194
Std. Error of Mean		0.857	10.238	12.154	0.118
Median		-3.290	3.783	84.058	-0.056
Std. Deviation		10.146	121.138	143.808	1.401
Variance		102.957	14674.488	20680.783	1.965
Minimum		-84.799	-1.596	-5.704	-8.479
Maximum		12.928	1395.592	1026.730	9.734
Percentiles	25	-9.269	0.960	40.917	-0.313
	50	-3.290	3.783	84.058	-0.056
	75	-0.508	14.431	154.998	0.071

Lai veicinātu izpratni par gāzu emisiju dabu un izprastu katras gāzes emisiju atšķirības audzējamo kultūru kontekstā, turpmāk katra gāze tiek analizēta trijās grupās: mieži, kvieši un pupas, neņemot vērā pārējos faktorus.

Metāna (CH₄) emisijas ir pārsvarā ar negatīvu zīmi, kas apstiprina literatūrā pieejamo informāciju, ka labi aerētas augsnes apstākļos baktērijas izmanto metānu kā enerģijas avotu (14. tab. un 62. att.). Pupu gadījumā novērota lielākā emisiju amplitūda kā arī šajos lauciņos metāns tiek piesaistīts visizteiktāk, ko raksturo viszemākā mediānas vērtība. Vasaras mieži nevienā no mērījumu reizēm nav radījuši metāna emisiju, savukārt ir vērojamas izteikti ekstrēmas minimālās vērtības, kas sasniedz negatīvo vērtību 84 g ha⁻¹ dnn⁻¹.

14. tab. CH₄ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.

CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
N	Valid	42	42	42
	Missing	0	0	0
Mean		-3.652	-7.426	-8.924
Std. Error of Mean		0.850	2.124	1.315
Median		-2.112	-3.080	-5.990
Std. Deviation		6.248	14.092	8.524
Variance		39.048	198.612	72.672
Minimum		-27.873	-84.799	-32.400
Maximum		12.928	-0.084	0.285
Percentiles	25	-6.713	-6.825	-14.745
	50	-2.112	-3.080	-5.990
	75	-0.025	-1.027	-1.831



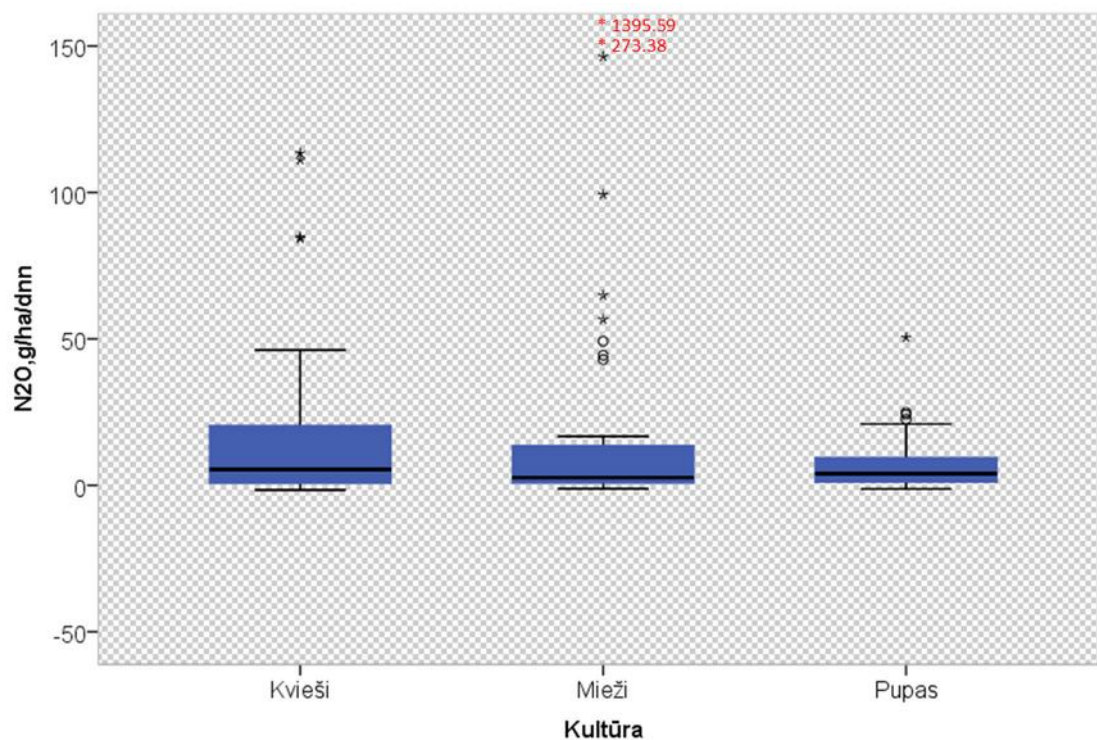
62. att. CH₄ emisiju novērojumi stacionārā 2019. gadā.

Salīdzinoši augstāka dislāpekļa oksīda (N₂O) emisiju mediānas vērtība visā mērījumu laikā novērota ziemas kviešu izmēģinājumu lauciņos, bet zemāka – vasaras miežu lauciņos (15. tab. un 63. att.). Jāatzīmē, ka dislāpekļa oksīda emisiju vērtību mediāna un aritmētiskā vērtība būtiski atšķiras kviešu un miežu sējumos (7. tab.). Analizējot ekstrēmās vērtības, ir redzams, ka miežu sējumos dominē ekstrēmas vērtības, kur maksimālā ekstrēmā vērtība sasniedz 1395 g ha⁻¹ dnn⁻¹. Ekstremāla rakstura paaugstinātas dislāpekļa oksīda vērtības varētu būt skaidrojams ar intensīvāku denitrifikācijas procesu norisi pēc lietus epizodēm. Īpaši izteiktas ekstremālās vērtības novērotas vasaras miežu lauciņos (63. att.).

15. tab. N₂O emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.

N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
N	Valid	54	54	54
	Missing	0	0	0
Mean		17.468	52.116	7.107
Std. Error of Mean		3.647	32.095	1.500
Median		5.418	2.623	3.954
Std. Deviation		26.799	212.895	9.721
Variance		718.236	45324.634	94.517
Minimum		-1.596	-1.140	-1.255
Maximum		113.433	1395.592	50.462
Percentiles	25	0.684	0.627	1.046
	50	5.418	2.623	3.954

N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
	75	20.705	14.022	9.678



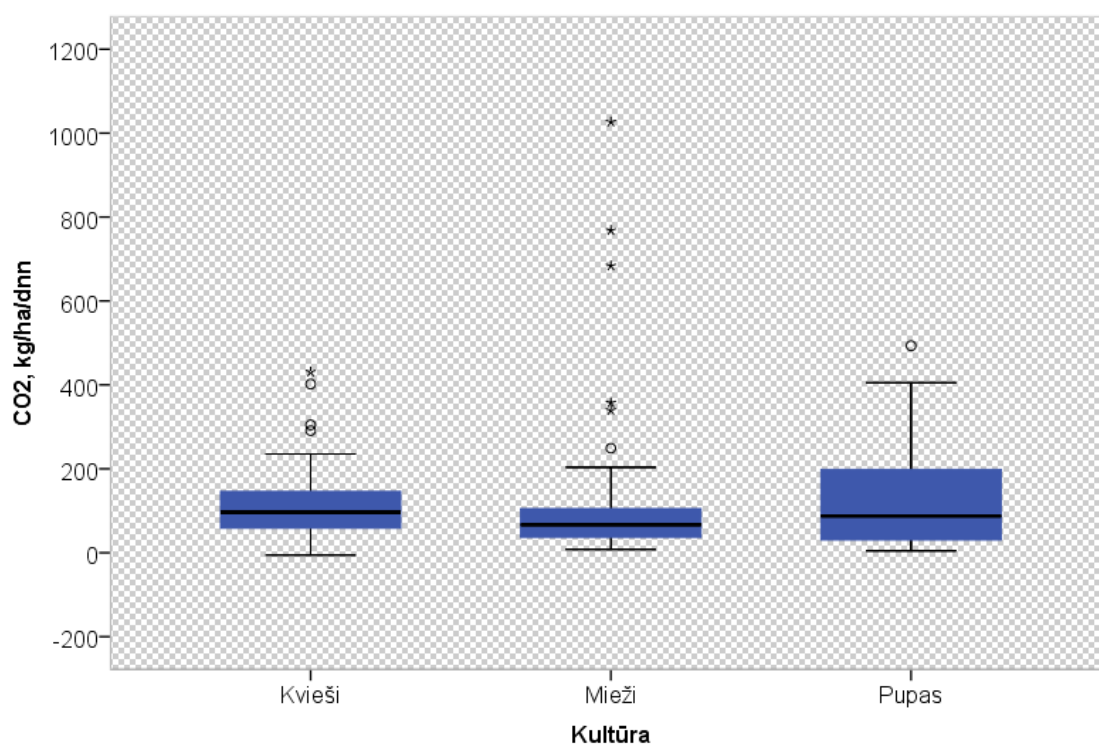
63. att. N₂O emisiju novērojumi stacionārā pēc audzētās kultūras 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

Mediānu vērtības ziemas kviešiem un pupām ir līdzvērtīgas, kas kopumā norāda par šo kultūraugu nenozīmīgo ietekmi uz ogļskābās gāzes (CO₂) emisiju veidošanos, savukārt vasaras miežu lauciņos ir novērojamas ekstremālās vērtības, kur maksimālā ekstrēmā vērtība sasniedz 208 kg ha⁻¹ dnn⁻¹, kas liecina par intensīvu organiskās vielas noārdīšanās procesu, kas var būt saistīts ar paaugstinātu rizoferas aktivitāti kā arī priekškultūras ietekmi uz augsnes mikroorganismu aktivitāti. Pupu lauciņos CO₂ emisija ir bijusi svārstīgāka, salīdzinot ar citām kultūrām (16. tab. un 64. att.).

16. tab. CO₂ emisijas statistiskie rādītāji 2019. gadā.

CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
N	Valid	54	54	54
	Missing	0	0	0
Mean		113.860	132.154	127.428
Std. Error of Mean		12.185	31.497	18.092
Median		96.512	66.756	87.405
Std. Deviation		89.542	208.929	117.254
Variance		8017.941	43651.732	13748.701
Minimum		-5.704	7.974	4.213
Maximum		430.846	1026.730	493.210
Percentiles	25	58.390	36.439	29.147

CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
	50	96.512	66.756	87.405
	75	146.356	107.768	198.976



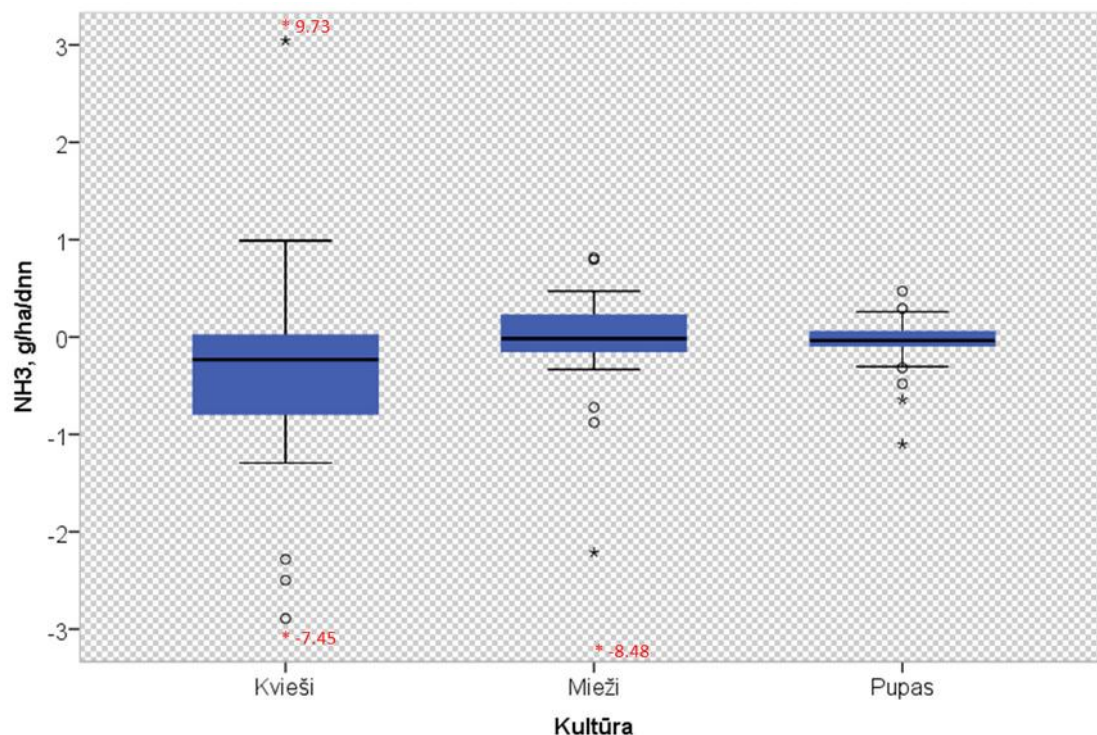
64. att. CO₂ emisiju novērojumi stacionārā pēc audzētās kultūras 2019. gadā.

Amonjaka (NH₃) emisijas ir novērotas tikai dažās mērījumu reizēs, visbiežāk amonjaks ir ticis absorbēts no gaisa. Vislielākā amonjaka emisija ir novērota ziemas kviešu lauciņos, bet vismazākā – pupu lauciņos (17. tab. un 65. att.). Ekstrēmi negatīvas vērtības ir novērotas ziemas kviešu un miežu sējumos, kur amonjaks absorbēts attiecīgi $-7.4 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ un $-8.4 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$. Savukārt, izteikti ekstrēmas pozitīvas amonjaka emisijas vērtības, ir konstatētas ziemas kviešu sējumos, kur novērota $9.7 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kas desmitkārtīgi pārsniedz pārējās kultūrās novērotās maksimālās vērtības.

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

NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
N	Valid	54	54	54
	Missing	0	0	0
Mean		-0.285	-0.209	-0.060
Std. Error of Mean		0.257	0.204	0.038
Median		-0.232	-0.015	-0.036
Std. Deviation		1.894	1.356	0.248
Variance		3.589	1.841	0.062
Minimum		-7.454	-8.479	-1.101
Maximum		9.734	0.813	0.470

NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹		Kvieši	Mieži	Pupas
Percentiles	25	-0.796	-0.148	-0.097
	50	-0.232	-0.015	-0.036
	75	0.020	0.226	0.057



65. att. NH₃ emisiju novērojumi stacionārā pēc audzētās kultūras 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

Augsnes apstrādes ietekme uz SEG emisijām

CO₂, CH₄, N₂O un NH₃ emisiju salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida (66. att.) parāda, ka augsnes apstrādes veidam nav būtiska ietekme uz vidējām CO₂ un CH₄ emisijām no augsnes. Pavisam neliela augsnes apstrādes ietekme ir vērojama uz NH₃ emisiju. Diskošana rada vislielāko ietekmi uz N₂O emisiju.

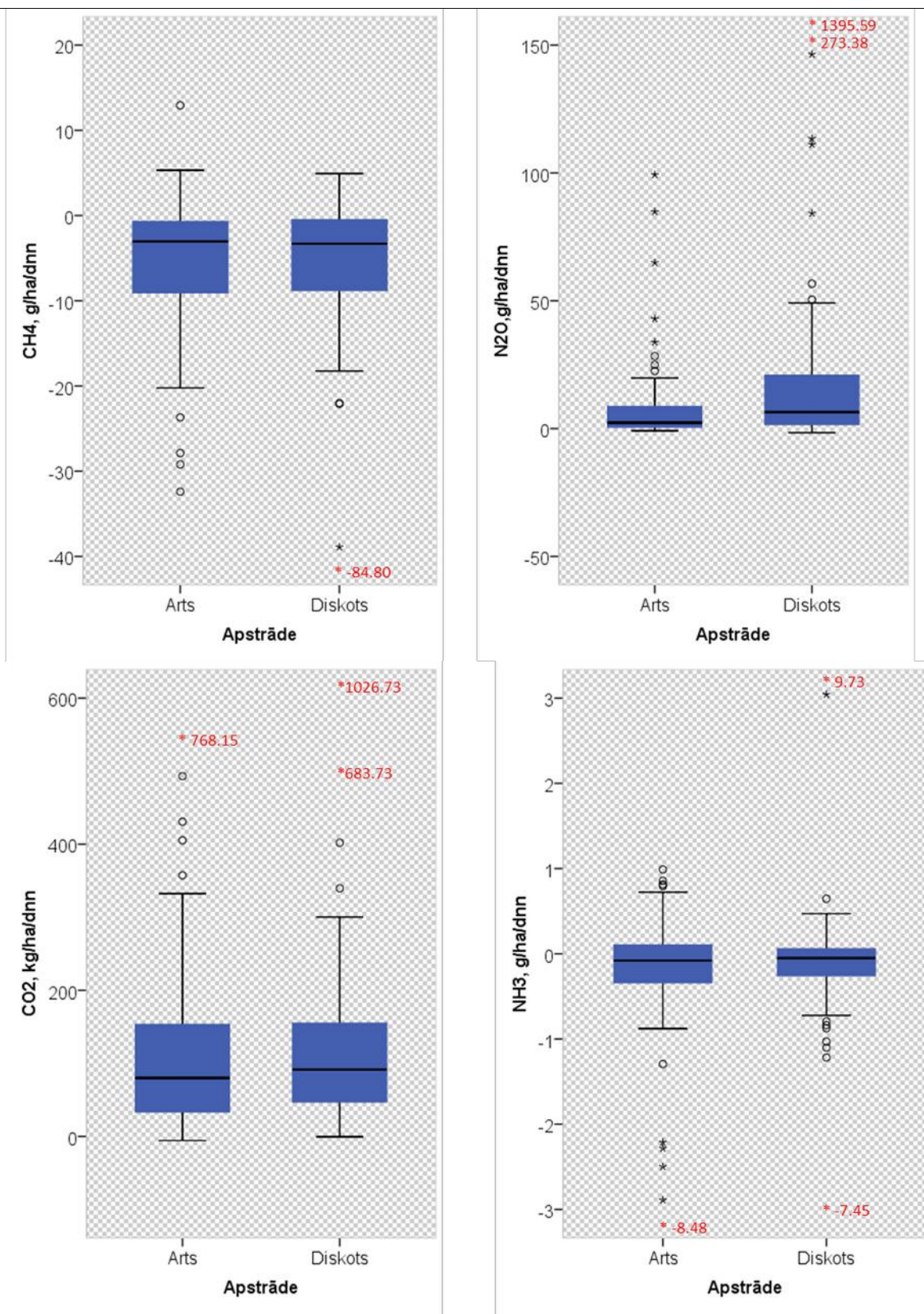
Analizējot CH₄ ekstrēmās vērtības, ir redzams, ka diskotā augsnē ir izteiktāki negatīvie ekstrēmi, kas liecina par metāna piesaisti augsnē, kur diskotā augsnē novērotā vērtība $-84.80 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ divkārt pārsniedz apartā augsnē novēroto vērtību.

Analizējot CO₂ emisiju ekstrēmās vērtības diskotā un artā augsnē, diskotā augsnē novērotā ekstrēmālā vērtība $1026 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ ir 1.3 reizes lielāka par artā augsnē novēroto maksimālo vērtību $768 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$.

N₂O ekstrēmālās vērtības vēl izteiktāk izgaismo augsnes apstrādes veida ietekmi uz emisijām, kur diskotā augsnē novērotā ekstrēmālā vērtība $1395 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$ vairāk nekā 13 reizes pārsniedz artā augsnē novēroto N₂O emisiju vērtību, kas var but

izskaidrojams ar diskotā augsnē novērojamo pazemināto poru veidošanos un aerobu un anaerobu apstākļu mainīgo dabu, kas veicina nepilnīgu denitrifikācijas procesu un veicina N₂O emisiju.

Amonjaka ekstrēmo vērtību analīze parāda, ka abos augsnes apstrādes veidos ir līdzīgas negatīvās amonjaka emisiju ekstrēmās vērtības, kur artajā augsnē negatīvā ekstrēmā vērtība ir -8.4 g ha⁻¹ dnn⁻¹ un diskotajā augsnē negatīvā ekstrēmā vērtība -7.4 g ha⁻¹ dnn⁻¹, taču maksimālā pozitīvās ekstrēmā vērtība 9.7 g ha⁻¹ dnn⁻¹ diskotā augsnē, kas deviņkārtīgi pārsniedz artajā augsnē novērotās maksimālās vērtības.

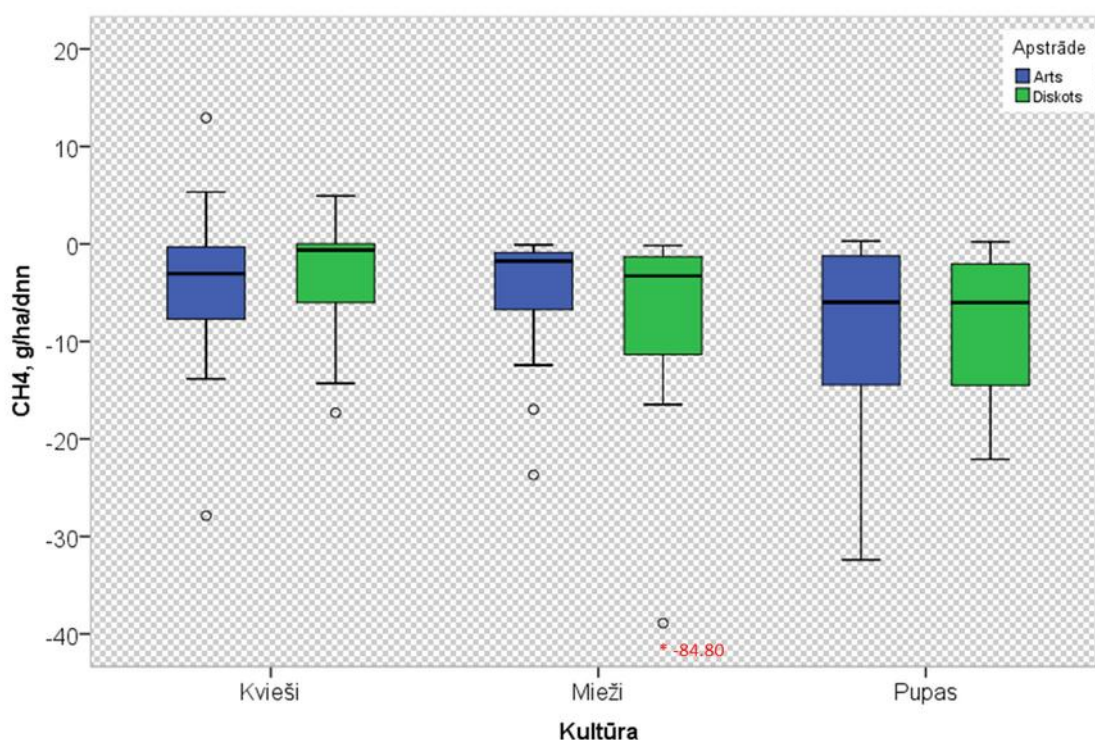


66. att. CH₄, N₂O, CO₂ un NH₃ emisiju salīdzinājums pēc augsnes apstrādes veida 2019. gadā (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

Augsnes apstrādes un kultūru ietekme uz SEG emisijām

CH₄ emisiju salīdzinājums pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (67. att.) parāda, ka ziemas kviešu un pupu izmēģinājuma lauciņos, kuros tiek izmantota augsnes aršana, novērojamas izteiktākas metāna emisiju vērtību svārstības. Ja vērtē mediānu vērtības, tad vasaras miežu diskotajā lauciņā ir konstatēts augstāks metāna piesaistīšanas potenciāls nekā artajā vasaras miežu lauciņā, jo mediānas vērtība atrodas tālāk no 0 vērtības. Pretēja situācija novērota ziemas kviešu gadījumā, kur diskotajam lauciņam mediānas vērtība ir tuvāk 0 vērtībai, kas nozīmē, ka šis lauciņš piesaista mazāk metāna.

Analizējot ekstrēmās vērtības kviešu sējumos, tika konstatētas gan pozitīvas, gan negatīvas ekstrēmās vērtības artajā lauciņā, kur pozitīvā metāna vērtība bija divas reizes augstāka nekā pārējo novērojumu maksimālās vērtības. Minimālās ekstrēmās vērtības tika konstatētas diskotos kviešu lauciņos, artos un diskotos miežu lauciņos, kur īpaši jāatzīmē maksimālā ekstrēmā vērtība -84.8, kas ir vairāk nekā divas reizes zemāka par pārējiem novērojumiem. Lai gūtu padziļinātu izpratni par procesiem, nepieciešams izvērtēt gāzu savstarpējās sakarības, jo palielinātais metāna patēriņš ir saistīts ar augsnes mikroorganismu aktivitāti, kas izraisa paaugstinātu CO₂ emisiju.

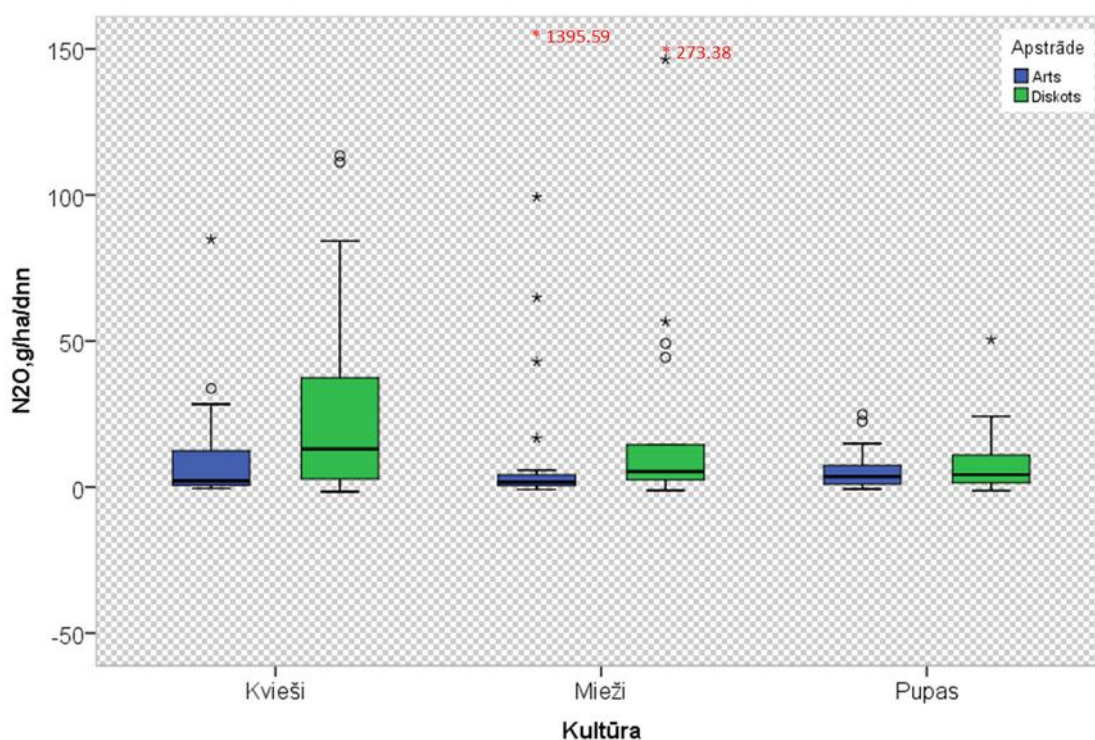


67. att. CH₄ salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

N₂O emisiju salīdzinājums pēc audzētā kultūrauga un augsnes apstrādes veida ir attēlots 68. att. N₂O emisiju mediānu vērtības ir līdzvērtīgas abu augsnes apstrādes veidu gadījumos, kur tiek audzētas pupas. Salīdzinoši augstāka mediānas vērtība un

izteiktāka visu vērtību izkliede, neņemot vērā ekstremālās vērtības, novērota diskotos ziemas kviešu un vasaras miežu izmēģinājuma lauciņos. Kopumā mazāks ekstremālo vērtību skaits novērots ziemas kviešu un pupu izmēģinājuma lauciņos.

Ekstrēmo vērtību īpatsvars N_2O emisijās ir augst, kas liecina par līdzšinējos pētījumos novēroto, ka N_2O emisijas pieaug pēc mēslošanas un pēs lietus. Jāatzīmē, ka dislāpekļa oksīda emisiju vērtību pozitīvās ekstrēmās vērtības visvairāk ir novērotas miežu sējumos. Analizējot ekstrēmās vērtības, ir redzams, ka artos miežu sējumos dominē ekstrēmas vērtības, kur maksimālā ekstrēmā vērtība sasniedz $1395 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$. Savukārt diskotajos miežu sējumos ir novērota otra augstākā ekstrēmā vērtība $273.3 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kas varētu būt sasitīts ar miežu audzēšanas tehnoloģisko shēmu, kur pavasara augsnes apstrāde un papildmēslojums veicina paaugstinātas N_2O emisijas rašanos. Taču ir nepieciešams veikt novērojumus ilgstošā laika periodā, kas aptver vismaz divu augu seku rotācijas ciklu, lai varētu izdarīt secinājumus par N_2O emisiju apjomiem no katras augu sekas, ņemot vērā N_2O emisiju mainīgo dabu.

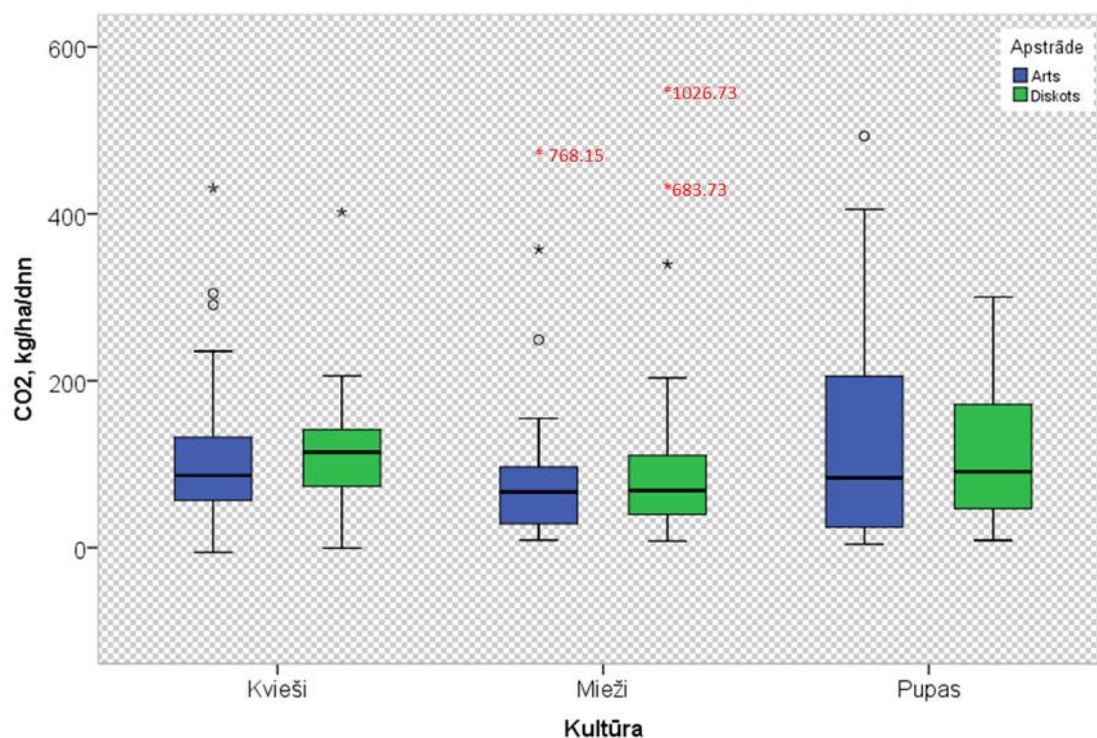


68. att. N_2O salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

CO_2 emisiju salīdzinājums pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (69. att.) parāda, ka pupu artajam lauciņam raksturīgas plašākas vērtību svārstības. Ziemas kviešu un vasaras miežu izmēģinājuma lauciņos oglekļa dioksīda emisijas ir līdzvērtīgas abu augsnes apstrādes veidu gadījumos. Augstāka CO_2 emisiju mediānas vērtība novērota diskotos ziemas kviešu lauciņos.

Ekstrēmo vērtību īpatsvars CO_2 emisijās ir augsts, kas liecina par līdzšinējos pētījumos novēroto, ka CO_2 emisijas pieaug, paaugstinoties augsnes temperatūrai un augsnes mitrumam. Jāatzīmē, ka CO_2 emisiju vērtību pozitīvās ekstrēmās vērtības

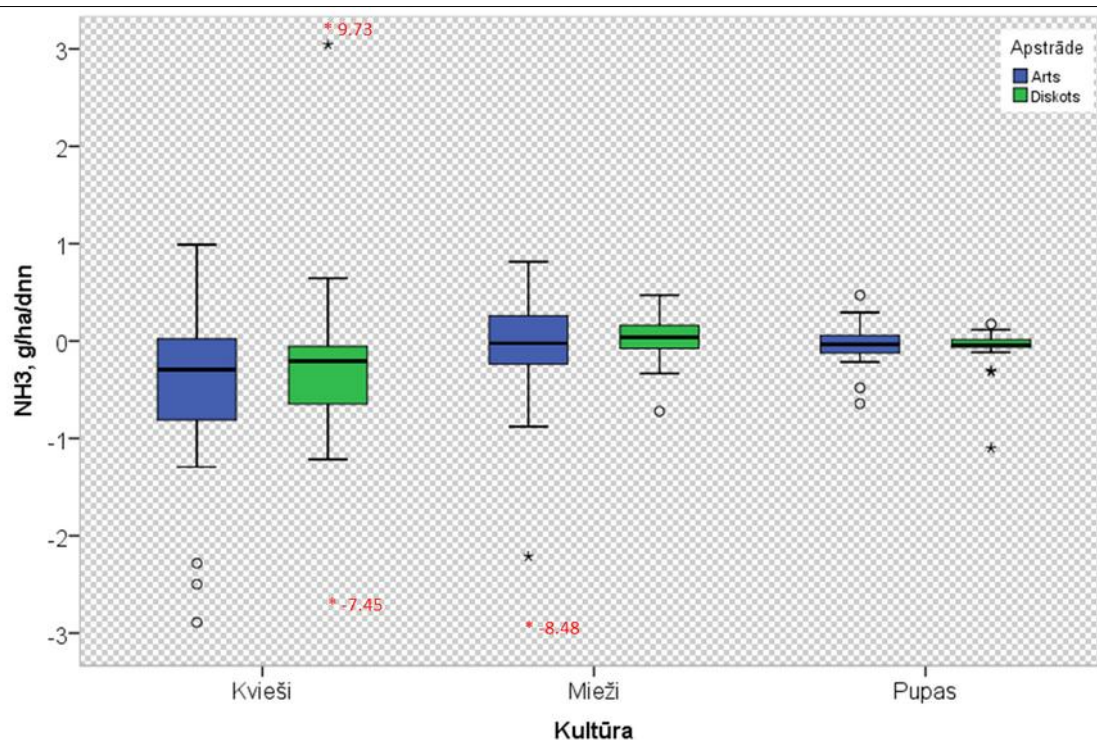
visvairāk ir novērotas miežu sējumos. Analizējot ekstrēmās vērtības, ir redzams, ka artos miežu sējumos dominē ekstrēmas vērtības, kur maksimālā ekstrēmā vērtība sasniedz $768 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$. Savukārt diskotajos miežu sējumos ir novērota pati augstākā ekstrēmā vērtība $1026 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kas varētu būt sasitīts ar miežu audzēšanas tehnoloģisko shēmu, kur pavasara augsnes apstrāde un papildmēslojums veicina paaugstinātas CO_2 emisijas rašanos. Taču ir nepieciešams veikt novērojumus ilgstošā laika periodā, kas aptver vismaz divu augu seku rotācijas ciklu, lai varētu izdarīt secinājumus par CO_2 emisiju apjomiem no katras augu sekas, kā arī papildus izanalizēt CO_2 emisiju un CH_4 emisiju savstarpējās sakarības.



69. att. CO_2 salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstrēmālās vērtības).

NH_3 emisiju salīdzinājums pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (70. att.) parāda, ka artajos izmēģinājuma laucīņos visiem kultūraugiem ir augstākas amonjaka emisijas no augsnes, salīdzinot ar diskotajiem laucīņiem.

Ekstrēmi negatīvas vērtības ir novērotas ziemas kviešu un vasaras miežu sējumos, kur diskotos kviešu sējumos amonjaks absorbēts $-7.4 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, bet artos miežu sējumos $-8.4 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$. Savukārt izteikti ekstrēmas pozitīvas amonjaka emisijas vērtības ir konstatētas ziemas kviešu sējumos diskotā augsnē, kur novērotā emisija bija $9.7 \text{ g ha}^{-1} \text{ dnn}^{-1}$, kas desmitkārtīgi pārsniedz pārējās kultūrās novērotās maksimālās vērtības. Jāatzīmē, ka amonjaka emisiju vērtības sasniedz maksimālo vērtību tūlīt pēc mēslojuma iestrādes un strauji samazinās nākamo piecu dienu laikā, tādēļ būtu nepieciešams veikt papildus pētījumus pirms un pēc minerālmēslojuma iestrādes.



70. att. NH₃ salīdzinājums 2019. gadā pēc audzētās kultūras un augsnes apstrādes veida (ar sarkanu atzīmētas ekstremālās vērtības).

Augsnes temperatūras, augsnes mitruma un SEG emisiju savstarpējā ietekme

Gāzu savstarpējā sakarība, un sakarība starp gāzēm un augsnes mitrumu un gāzēm un augsnes temperatūru tika noteikta, izmantojot Kendala korelācijas koeficientu (Chen, Popovich, 2002; Coffman et al., 2008) visiem mērījumu rezultātiem 2018. un 2019. gadā (18. tab. un 19. tab.).

Starp augsnes temperatūru un augsnes mitrumu un augsnes temperatūru un CH₄ un N₂O, kā arī starp CO₂ un CH₄, NH₃ un CH₄, NH₃ un N₂O aršanas metodei ir statistiski nozīmīga negatīva korelācija, kas nozīmē, ka, palielinoties vienam, otrs samazinās. Statistiski nozīmīga pozitīva korelācija, kad vienam palielinoties, arī otrs palielinās, ir novērojama starp augsnes temperatūru un CO₂, augsnes temperatūru un NH₃, augsnes mitrumu un CH₄, augsnes mitrumu un N₂O, N₂O un CO₂.

Datu analīzes rezultāti apstiprina iepriekšējās nodaļas izvirzīto hipotēzi, ka CO₂ un CH₄ emisijām ir negatīva statistiski nozīmīga korelācija.

18. tab. Kendala korelācijas koeficienti aršanas augsnes apstrādes metodei 2018. un 2019. gadā¹⁴.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1	-0.185**	-0.236**	-0.209**	0.201**	0.201**
Augsnes mitrums, %	-0.185**	1	0.214**	0.269**	0.050	-0.070
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.236**	0.214**	1	0.025	-0.482**	-0.122*
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.209**	0.269**	0.025	1	0.119*	-0.258**
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.201**	0.050	-0.482**	0.119*	1	0.050
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.201**	-0.070	-0.122*	-0.258**	0.050	1

Savukārt, diskošanas lauciņos statistiski nozīmīga negatīva korelācija ir starp augsnes temperatūru un CH₄, augsnes temperatūru un N₂O, augsnes mitrumu un NH₃, CO₂ un CH₄, NH₃ un CH₄, NH₃ un N₂O, bet statistiski nozīmīga pozitīva korelācija ir starp augsnes temperatūru un CO₂ augsnes temperatūru un NH₃, augsnes mitrumu un CH₄, augsnes mitrumu un N₂O, CO₂ un N₂O (19. tab.).

Diskotos lauciņos veiktā gāzu savstarpējo sakarību analīze, tāpat kā artos lauciņos, apstiprina iepriekšējās nodaļas izvirzīto hipotēzi, ka CO₂ un CH₄ emisijām ir negatīva statistiski nozīmīga korelācija

Diskotajos lauciņos parādās statistiski nozīmīga negatīva korelācija starp NH₃ un augsnes mitrumu, kas apstiprina līdzšinējās teorijas, ka mitrums samazina amonjaka emisiju apjomu, ieskalojot minerālmēslojumu dziļāk augsnes porās.

¹⁴ ** p vērtība <0.01; * p vērtība <0.05

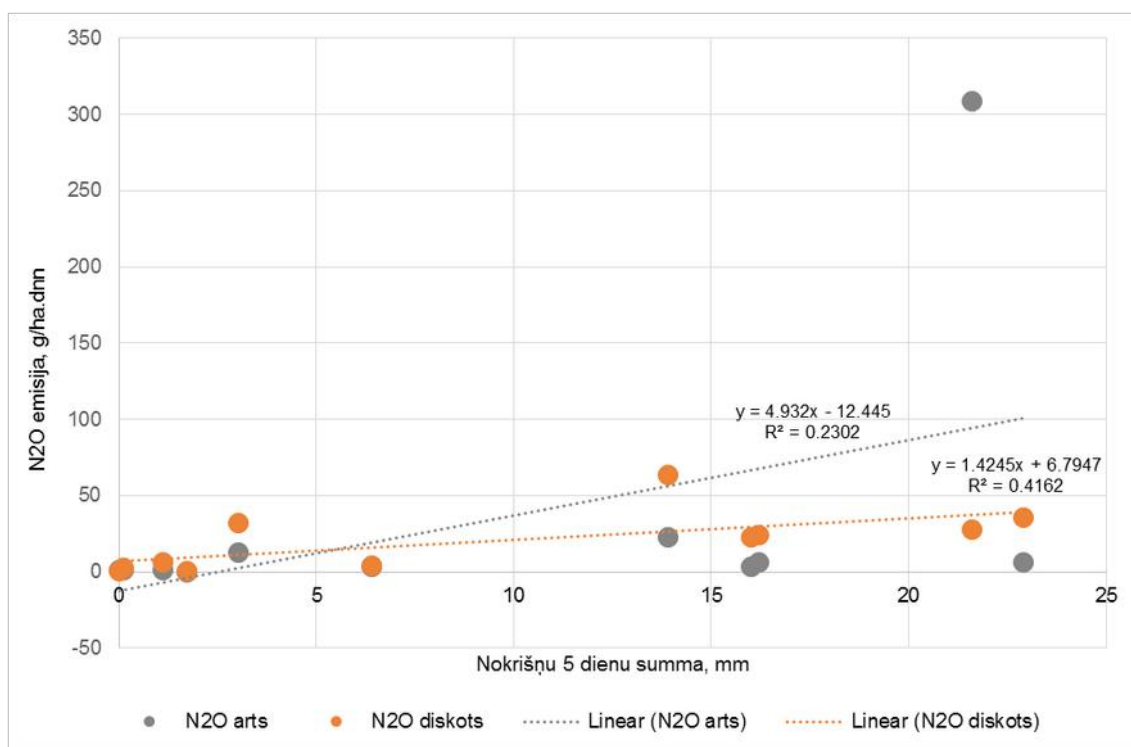
19. tab. Kendala korelācijas koeficienti diskošanas augsnes apstrādes metodei 2018. un 2019. gadā.

Emisiju koeficienti	Augsnes temperatūra, °C	Augsnes mitrums, %	CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹
Augsnes temperatūra, °C	1	-0.047	-0.189**	-0.140*	0.221**	0.171**
Augsnes mitrums, %	-0.047	1	0.193**	0.255**	0.084	-0.132*
CH ₄ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.189**	0.193**	1	0.050	-0.473**	-0.118*
N ₂ O, g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	-0.140*	0.255**	0.050	1	0.205**	-0.278**
CO ₂ , kg ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.221**	0.084	-0.473**	0.205**	1	0.001
NH ₃ , g ha ⁻¹ dnn ⁻¹	0.171**	-0.132*	-0.118*	-0.278**	0.001	1

Nokrišņu daudzuma ietekme uz SEG emisijām

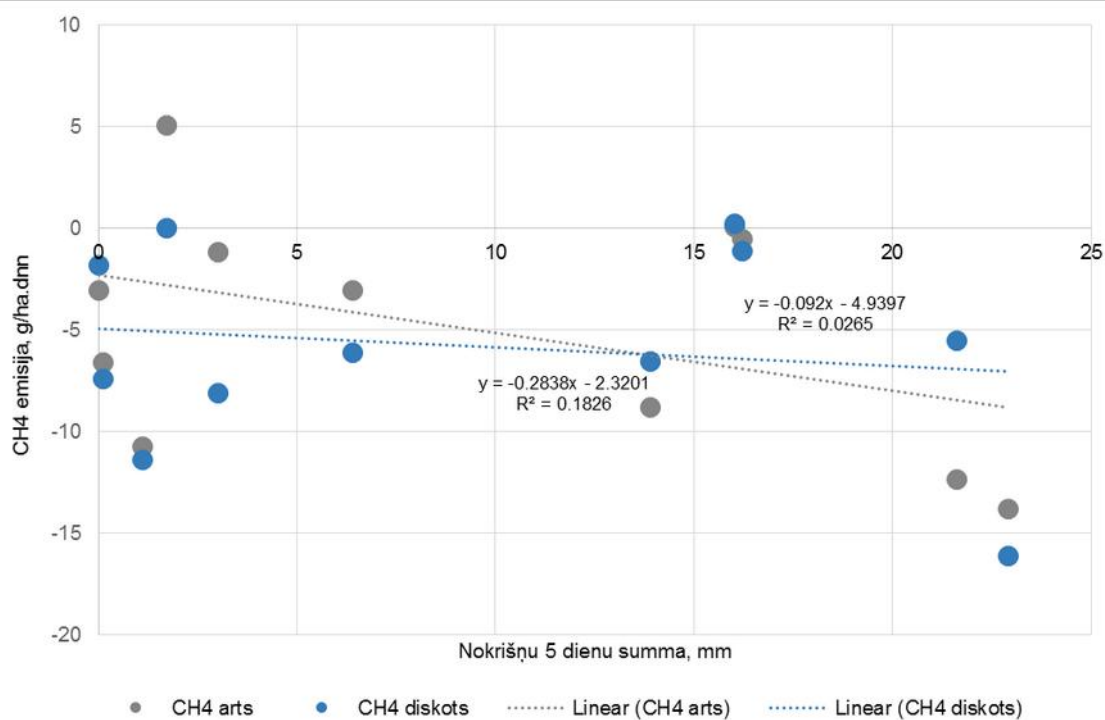
Nokrišņu ietekmes novērtējumam izmantota nokrišņu 5 dienu summa pirms mērījumu veikšanas. Dati par nokrišņiem ir iegūti no LVĢMC pārvaldībā esošās Jelgavas meteoroloģiskās stacijas. Artajos izmēģinājuma laucīņos ir novērojama lielāka saistība starp emisijām un nokrišņu 5 dienu summu (71. att., 72. att., 73. att., 74. att.)

Dislāpekļa oksīda sakarība ar 5 dienu summārajiem nokrišņiem rāda pozitīvu korelāciju, taču novērojumu vērtības ir pārāk maz, lai sakarību varētu atzīt par statistiski nozīmīgu, tādēļ nepieciešams veikt papildus pētījumus summāro nokrišņu un slāpekļa mēslojuma ietekmes izvērtēšanai (71. att.).



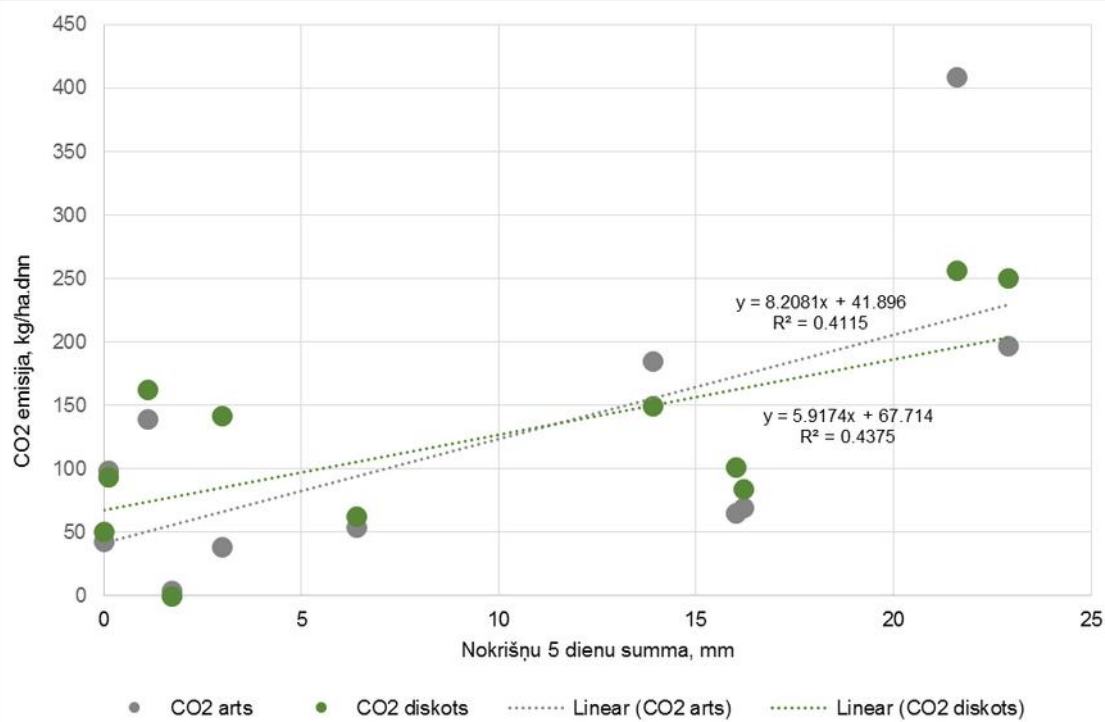
71. att. N₂O emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.

CH₄ emisijas negatīvā korelācija ar 5 dienu summārajiem nokrišņiem ir skaidrojama ar augsnes porainību, kur artā augsnē baktērijas spēj absorbēt vairāk metāna, jo gaiss vieglāk iekļūst augsnes porās, taču jāņem vērā, ka 2019. gada vasara bija ļoti sausa un nokrišņi veicināja baktēriju aktivitāti, tāpēc pastāv varbūtība, ka ļoti mitrā vasarā, kur augsnē palielinās anaerobo procesu īpatsvars, šīs sakarības var mainīties (72. att.).



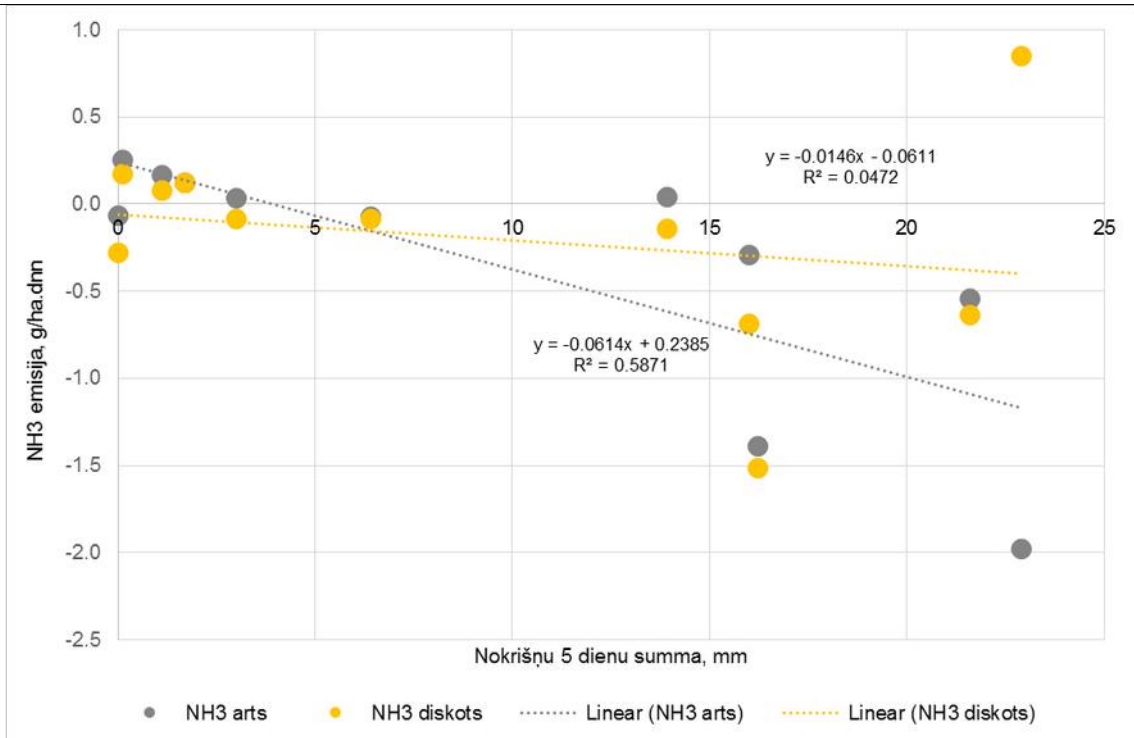
72. att. CH₄ emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.

Pozitīvā CO₂ emisiju sakarība ar 5 dienu summārajiem nokrišņiem ir skaidrojama ar mitruma nepieciešamību mikroorganismu darbībai, taču jāņem vērā, ka 2019. gada vasara bija ļoti sausa un nokrišņi veicināja baktēriju aktivitāti, tāpēc arī šajā gadījumā pastāv varbūtība, ka ļoti mitrā vasarā, kur augsnē palielinās anaerobo procesu īpatsvars, šīs sakarības var mainīties (73. att.).



73. att. CO₂ emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.

Negatīvā NH₃ emisiju sakarība ar 5 dienu summārajiem nokrišņiem ir skaidrojama ar mitruma spēju absorbēt amonjaku, taču jāņem vērā, ka amonjaka emisiju skaidrojumam ir nepieciešams analizēt mēslojuma iestrādes laika un temperatūras sakarības, kā arī jāņem vērā, ka izteikti augstas amonjaka emisijas ir tūlīt pēc mēslošanas un ļoti būtiski ir klimatiskie apstākļi nākamajās piecās dienās pēc mēslojuma iestrādes. Vispārinošus secinājumus par amonjaka dabu nav iespējams izstrādāt, jo 2019. gada vasara bija ļoti sausa un nokrišņi nespēja kompensēt iztvaikošans intensitāti (74. att.).



74. att. NH₃ emisijas un 5 dienu nokrišņu summas lineārā sakarība.

Secinājumi

1. SEG emisiju mērījumu rezultātus ietekmē klimatiskie, hidroloģisko un ģeoloģiskie faktori, piemēram, gaisa temperatūra, augsnes temperatūra, augsnes mitruma daudzums, augsnes veids utt. Katra faktora svārstības diennakts griezumā atstāj ietekmi uz iegūto rezultātu. Zemes izmantošanas veids un apsaimniekošana nosaka, vai augsne ir oglekļa krātuve vai emisiju radītājs.
2. Pētījuma rezultāti, norāda, ka augsnes apstrādes veidam nav viennozīmīgas ietekmes uz gāzu emisijām. Taču viennozīmīgus secinājumus nav iespējams izdarīt nevienai no pētījumā aprakstītajām gāzēm, jo 2018. gada un 2019. gada vasaras bija neērtīgas ar izteiktiem sausuma periodiem, kas samazina augsnes aktīvā slāņa mikrobioloģisko aktivitāti.
3. 2018. gada un 2019. gada SEG emisiju mērījumi Poļu stacionārā veģetācijas sezonā nav vispārināmi, taču ir ar zinātnisku un praktisku nozīmi, jo sniedz vērtīgu informāciju par gāzu emisiju raksturu ekstrēmi sausā gadā un gadā, kad nokrišņu daudzums ir palielinājies, bet joprojām ir novērojams mitruma deficīts, tāpēc ir nepieciešams turpināt mērījumus Poļu stacionārā, lai iegūtu pilnīgākus rezultātus par kultūraugu un augsnes apstrādes uz SEG emisijām.
4. Pētījuma mērījumu datu vispārināšanās nolūkos, kas ļautu izstrādāt Latvijas apstākļiem atbilstošus gāzu emisiju aprēķina modeļus, būtu nepieciešams rast iespēju, pirmkārt, palielināt mērījumu intensitāti, kā arī veikt mērījumus sausuma periodā un pēc izteiktiem nokrišņu gadījumiem, otrkārt, jārod iespēja veikt ilggadīgus mērījumus visās sešās stacionārā ieviestajās augu sekās un abos augsnes apstrādes veidos, tādējādi ļaujot izvērtēt ilgtermiņā katras augu sekas sistēmas un augsnes apstrādes veida ietekmi uz gāzu emisijām, treškārt, ņemot vērā stacionāra unikalitāti un nepārtrauktību, būtu jāizskata iespēju gāzu mērījumus turpināt ilgstošā laika periodā, kas pārklāj vismaz trīs augu sekas rotācijas periodus, tādējādi dodot iespēju izvērtēt klimata ietekmi uz gāzu emisijām.

Literatūras avoti

1. Abdalla, M., Osborne, B., Lanigan, G., Forristal, D., Williams, M., Smith, P., & Jones, M. B., (2013). Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil use and management*, 29(2), 199-209.
2. Autret, B., Beaudoin, N., Rakotovololona, L., Bertrand, M., Grandeau, G., Gréhan, E., Ferchaud, F., Mary, B. (2019) Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment in Northern France. *Geoderma*. 342, p. 20-33.
3. Badagliacca, G., Benítez, E., Amato, G., Badalucco, L., Giambalvo, D., Laudicina, V. A., & Ruisi, P., (2018). Long-term no-tillage application increases soil organic carbon, nitrous oxide emissions and faba bean (*Vicia faba* L.) yields under rain-fed Mediterranean conditions. *Science of The Total Environment*, 639, 350-359.
4. Betencourt, E., Duputel, M., Colomb, B., Desclaux, D., Hinsinger, P. (2012). Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 46, p. 181-190.
5. Chen, Peter Y., Popovich, Paula M., (2002). *Correlation: Parametric and Nonparametric Measures 1st (first) edition* by Chen, Peter Y.; Popovich, Paula M., Thousand Oaks (Calif.): Sage, 2002.
6. Coffman, D.L., Maydeu-Olivares, A., Arnau, J. Asymptotic distribution free interval estimation: For an intraclass correlation coefficient with applications to longitudinal data (2008) *Methodology*, 4 (1), pp. 4-9.
7. CSP, 2019, Centrālā statistikas pārvalde. Galveno lauksaimniecības kultūru sējumu platības. Pieejams: http://data1.csb.gov.lv/pxweb/lv/lauks/lauks__03Augk_ikgad/LAG020.px/
8. Cuhel, J., Simek, M., Laughlin, R.J., Bru, D., Chèneby, D., Watson, C.J., Philippot, L., (2010). Insights into the effect of soil pH on N₂O and N₂ emissions and denitrifier community size and activity. *Appl. Environ. Microbiol.* 76, 1870–1878.
9. Cusser, S., Bahlai, C., Swinton, S. M., Robertson, G. P., & Haddad, N. M., (2019). Long-term research needed to avoid spurious and misleading trends in sustainability attributes of no-till. *bioRxiv*, 788 240.
10. European Parliament Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. The European Parliament and the Council of the European Union, Strasbourg (2009).
11. FAO, (2016). *Save and Grow in practice: maize, rice, wheat. A guide to sustainable cereal production*. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome. Pieejams: <http://www.fao.org/3/a-i4009e.pdf>.
12. Fleck, D., Y. He, C. Alexander, G. Jacobson, Cunningham, K., (2013). Simultaneous soil flux measurements of five gases - N₂O, CH₄, CO₂, NH₃, and H₂O - with the Picarro G2508. *Picarro Appl. Note AN034*.
13. Lemken, D., Knigge, M., Meyerding, S., Spiller, A. (2017a). The Value of Environmental and Health Claims on New Legume Products: A Non-Hypothetical Online Auction. *Sustainability*. 9(8), 1340.
14. Lemken, D., Spiller, A., Von Meyer-Höfer, M. (2017b). The Case of Legume-Cereal Crop Mixtures in Modern Agriculture and the Transtheoretical Model of Gradual Adoption. *Ecological Economics*. 127, p. 20-28.
15. Maillard, É., Angers, D. A., Chantigny, M., Lafond, J., Pageau, D., Rochette, P., ... Parent, L. É. (2016). Greater accumulation of soil organic carbon after liquid dairy manure application under cereal-forage rotation than cereal monoculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.011>
16. McSwiney, C.P., Robertson, G.P., (2005). Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Glob. Change Biol.* 11, 1712–1719.
17. NIR (2019) Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol 1990 – 2017. Pieejams: <https://unfccc.int/documents/194812>

18. Nugroho, R.A., Röling, W.F.M., Laverman, A.M., Verhoef, H.A., (2007). Low nitrification rates in acid Scots pine forest soils are due to pH-related factors. *Microbiol. Ecol.* 53, 89–97.
19. Oertel, C., Matschullat J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie der Erde* 76 327–352.
20. Ogle, S. M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F. J., McConkey, B., ... & Vazquez-Amabile, G. G., (2019). Climate and Soil Characteristics Determine where No-till Management can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas emissions. *Scientific Reports*, 9(1), 1-8.
21. Ozlu, E., Kumar, S. (2018). Response of surface GHG fluxes to long-term manure and inorganic fertilizer application in corn and soybean rotation. *Science of the Total Environment*. 626, p. 817-825.
22. Peterson, B. L., Hanna, L., & Steiner, J. L., (2019). Reduced soil disturbance: Positive effects on greenhouse gas efflux and soil N losses in winter wheat systems of the southern plains. *Soil and Tillage Research*, 191, 317-326.
23. Plaza-Bonilla, D., Nogué-Serra, I., Raffailac, D., Cantero-Martínez, C., Justes, É. (2018). Carbon footprint of cropping systems with grain legumes and cover crops: A case-study in SW France. *Agricultural Systems*. 167, 92-102.
24. Plaza-Bonilla, D., Nolot, J. M., Raffailac, D., Justes, E. (2017). Innovative cropping systems to reduce N inputs and maintain wheat yields by inserting grain legumes and cover crops in southwestern France. *European Journal of Agronomy*. 82 Part B, 332-341.
25. Poeplau, C., Bolinder, M. A., Eriksson, J., Lundblad, M., and Kätterer, T., (2015). Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers, *Biogeosciences*, 12, 3241–3251, <https://doi.org/10.5194/bg-12-3241>.
26. Reicosky, D. C., & Archer, D. W., (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*, 94(1), 109-121.
27. Reicosky, D. C., (1997). Tillage-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 49(1-3), 273-285.
28. Ruser R., Fußb R., Andresc M., Hegewaldd H., Kesenheimera K., Köbkee S., Rübigerf T., Quinonesg T.S., Augustinc J., Christend O., Ditterte K., Kagef H., Lewandowskih I., Prochnowg A., Stichnothej H., Flessab H. (2017). Nitrous oxide emissions from winter oilseed rape cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 249 p. 57–69.
29. Sánchez-Navarroa, V., Zornozaa R., Faz A., Fernández, J. A. (2020) A comparative greenhouse gas emissions study of legume and non-legume crops grown using organic and conventional fertilizers. *Scientia Horticulturae*. 260, 108902.
30. Shi, W.Y., Yan, M.J., Zhang, J.G., Guan, J.H., Du, S., (2014). Soil CO₂ emissions from five different types of land use on the semiarid Loess Plateau of China, with emphasis on the contribution of winter soil respiration. *Atmos. Environ.* 88, 74–82.
31. Signor, D., Cerri, C. E. P., (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, v. 43, n. 3, p. 322-338.
32. Steinbach, H. S., & Alvarez, R., (2006). Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 35(1), 3-13.
33. Storer, K.E., Berry, P.M., Kindred, D.R., Sylvester-Bradley, R. (2018). Identifying oilseed rape varieties with high yield and low nitrogen fertiliser requirement. *Field Crops Research*. 225, p. 104-116.
34. Thers, H., Djomo S. N., Elsgaard L., Knudsen, M.T. (2019). Biochar potentially mitigates greenhouse gas emissions from cultivation of oilseed rape for biodiesel. *Science of The Total Environment*. 67, p. 180–188.
35. Venterea, R. T., Burger, M., & Spokas, K. A., (2005). Nitrogen oxide and methane emissions under varying tillage and fertilizer management. *Journal of Environmental Quality*, 34(5), 1467-1477.
36. Venterea, R.T., Halvorson, A.D., Kitchen, N., Liebig, M.A., Cavigelli, M.A., Del Grosso, Stephen J., Motavalli, P.P., Nelson, K.A., Spokas, K.A., Singh, B.P., Stewart, C.E., Ranaivoson, A., Strock, J., Collins, H., (2012). Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems. *Front. Ecol. Environ.* 10 (10), 562–570.
37. Vincent B., Fußb R., Maidla F. X., Hülsbergena K. J. (2017). Efficacy of agronomic strategies for mitigation of after-harvest N₂O emissions of winter oilseed rape. *European Journal of*

38. Walter K., Don A., Fus R., Kern J., Drewer J., Flessa H., (2015). Direct nitrous oxide emissions from oilseed rape cropping – a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 7, p. 1260–1271.
39. Weslien, P., Kasimir Klemedtsson, Å., Börjesson, G., Klemedtsson, L., (2009). Strong pH influence on N₂O and CH₄ fluxes from forested organic soils. *Eur. J. Soil Sci.* 60, 311–320.
40. Wójcik-Gront, E. (2018) Variables influencing yield-scaled Global Warming Potential and yield of winter wheat production. *Field Crops Research.* 227, p. 19-29.
41. Zhuang, M., Zhang, J., Lam, S. K., Li, H., Wang, L., (2019). Management practices to improve economic benefit and decrease greenhouse gas intensity in a green onion-winter wheat relay intercropping system in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production.* 208, p. 709-715.