



LATVIJAS BIOZINĀTŅU UN TEHNOLOĢIJU UNIVERSITĀTE
AUGU AIZSARDZĪBAS ZINĀTNISKAIS INSTITŪTS “AGRIHORTS”

Projekta
**“Herbicīdu aizvietošanas iespējas cīņā ar nezālēm dažādās
kultūraugu grupās”**

10.9.1-11/25/1530-e
zinātniskā atskaite

Projekta vadītāja: Jevgenija Nečajeva

Jelgava, 2025

SATURS

IEVADS.....	4
1. Izmēģinājuma iekārtošana īsmūža un daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai, izmantojot herbicīdiem alternatīvās metodes	7
1.1. Izmēģinājums vasaras kviešu sējumā.....	7
1.2. Augsnes paraugu ievākšana augsnes sēklu bankas noteikšanai	8
1.3. 2024. gada paraugu analīzes noslēgums un 2025. gada paraugu analīzes rezultāti	8
1.4. Nezāļu biomasas uzskaitē	10
1.5. Zirņu ražas uzskaitē	13
1.6. Bezpilota lidaparāta (BLPA) attēlu ieguve un izmantošana nezāļu seguma noteikšanai.....	14
Secinājumi par 1. nodaļu	16
Literatūra.....	16
2. SEG emisiju mērīšanas metodika un pirmie iegūtie rezultāti	17
2.1. Meteoroloģiskie dati	17
2.2. CO ₂ emisiju mērījumi ar iekārtu EGM-5	17
2.3. Mērījumu metodikas precizējums	18
2.4. Gāzu mērījumi ar slēgtās kameras metodi	19
2.5. CO ₂ emisiju gāzu mērījumi ar slēgtas statisku un dinamisku (caurplūdes) kameru metodēm..	22
4. SEG emisiju un labības ražošanas izmaksu aprēķināšanai	31
Secinājumi par SEG emisiju un labības ražošanas izmaksu aprēķināšanu	36
Izmantotā literatūra	38

Projekta izpildītāji:

**LBTU Augu aizsardzības zinātniskais institūts "Agrihorts",
Stendes Pētniecības centrs AREI,
LVMI "Silava"**

LBTU

Jevgenija Nečajeva, Dr. biol., vadošā pētniece
Gundega Putniece, Dr.agr., vadošā pētniece
Renāte Sanžarevska, Mg. agr., zinātniskais asistents
Niks Ozols, Mg. agr., pētnieks
Ikars Melnalksnis, students
Viktorija Zagorska, Dr. sc. ing. vadošā pētniece
Dainis Viesturs, Dr.sc.ing., vadošais pētnieks
Ādolfs Ruciņš, Dr.sc.ing., vadošais pētnieks
Betija Rubene, Bc. biol., zinātniskā asistente

IEVADS

Eiropas Komisijas zaļā kursa politika paredz līdz **2030. gadam par 50% samazināt ķīmisko un bīstamāko pesticīdu lietojumu un to radītos riskus**. Šis mērķis ir iekļauts “No lauka līdz galdam” stratēģijā. Pesticīdu lietojuma samazinājumam ir jābūt ilgtspējīgam, tas nozīmē, ka vienlaicīgi ir jānodrošina ražības saglabāšanos vismaz esošajā līmenī, nepieļaujot nezāļu, augu slimību izraisītāju un kaitēkļu savairošanos.

Viens no plašāk izmantotajiem pesticīdu veidiem Latvijā ir **herbicīdi**, kurus izmanto integrētajās saimniecībās īsmūža un daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai. Nezāļu ierobežošanu var veikt atkārtoti kultūrauga audzēšanas ciklā, piemēram, ierobežojot rudenī un pavasarī dīgstošās nezāles. Herbicīdus izmanto arī nezāļu ierobežošanai pirms ražas novākšanas, pēc ražas novākšanas (ierobežojot arī kultūraugus-sārņaugus) un uztvērējaugu iznīcināšanai.

Lai samazinātu herbicīdu lietošanu, var izmantot un kombinēt dažādas metodes, kuras ir vērstas uz kādu no trīs mērķu sasniegšanu: samazināt nezāļu negatīvo ietekmi uz kultūraugu ražību, nepieļaut nezāļu dīgstu attīstību vai samazināt nezāļu sēklu nonākšanu augsnē. Nezāļu krājums augsnes sēklu bankā var kalpot kā viens no izmantoto nezāļu ierobežošanas metožu efektivitātes un ilgtspējības indikatoriem.

Metodes, kuras ir vērstas uz nezāļu konkurētspējas mazināšanu un kultūrauga konkurētspējas palielināšanu, šādi samazinot nezāļu negatīvo ietekmi uz kultūraugiem, ietver gan tiešo nezāļu kontroli, gan agrotehniskās metodes, gan kultūraugu un to šķirņu izvēli. Veicot tiešo nezāļu ierobežošanu, var samazināt herbicīdu lietojumu izmantojot precīzu smidzināšanu (tikai vietās, kur konstatē nezāles), vai aizstājot herbicīdus ar alternatīvām metodēm: mehānisko nezāļu ierobežošanu, ierobežošanu ar liesmu, tvaiku, biokontroli. Vairākas agrotehniskās metodes var palīdzēt samazināt nezāļu konkurenci ar kultūraugu: precīzs mēslojuma izvietojums (lai tas būtu vairāk pieejams kultūraugam, nekā nezālēm), augsnes kaļķošana, precīza laistīšana (piemēram, dārzenkopībā), izsējas normas palielināšana, sējas dziļuma un rindstarpu attāluma pielāgošana, sējas datuma izvēle. Konkurētspējīgākas šķirnes, kultūraugi un kultūraugu mistri var nomākt nezāles, samazinot to biomasu un sēklu ražošanu.

Augsnes apstrādes metodes un dziļums, augu maiņa, uztvērējaugi un augsnes mulčēšana, lauku malu apsaimniekošana var samazināt nezāļu sadīgšanu un dīgstu izdzīvošanu. Šo metožu efektivitāti ietekmē augsnes īpašības un klimats, tāpēc katra metode ir jāizmēģina konkrētos apstākļos, lai pārbaudītu tās izmantošanas lietderību. Piemēram, mulčēšanas metodes, kuras veiksmīgi izmanto valstīs ar Vidusjūras klimatu, nav piemērotas klimatam ar vēsu pavasara sezonu.

Nezāļu sēklu krājuma pieauguma novēršanas metodes (izņemot nezāļu ķīmisko un mehānisko ierobežošanu) ir salīdzinoši nedaudz. Manuālā ravēšana ir iespējama, ja nezāļu skaits ir neliels, šo metodi izmanto sēklkopības laukos, lai nepieļautu sēklu materiāla piesārņojumu, vai mazās platībās, kultūraugiem, kur nav pieejamas citas nezāļu ierobežošanas metodes. Nezāļu sēklu savākšana un iznīcināšana ir metode, ko izmanto arvien vairāk, īpaši teritorijās, kur ir izplatītas pret herbicīdiem rezistentās nezāles. Latvijā šī metode nav izplatīta. Nezāļu sēklu nogatavošanos daudzgadīgajos stādījumos var novērst ar pļaušanu. Netiešā veidā sēklu krājumu palielināšanos var novērst, izvēloties pareizo rugaines apsaimniekošanas veidu. Vairāku pētījumu rezultāti liecina par to, ka mazāk nezāļu sēklu nonāk un saglabājas augsnes

sēklu bankā, ja tās paliek uz augsnes virskārtas pēc izplatīšanās (pēc ražas novākšanas). Taču lai izvēlētos pareizo rugaines apsaimniekošanas metodi, ir jāzina nezāļu sugu sastāvs, ir sugas, kuru augsnes sēklu bankas (un, līdz ar to, populācijas) samazināšanai, ir ieticama augsnes apstrāde rugainē.

Īsmūža un daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai var būt nepieciešamas atšķirīgas metodes, jo daudzgadīgo nezāļu savairošanās un to populācijas saglabāšanās ir mazākā mērā atkarīga no augsnes sēklu bankas, taču liela nozīme ir veģetatīvajiem vairošanās orgāniem (sakneņi, saknes). Lai samazinātu herbicīdu lietojumu daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai, var veikt piemērotu augsnes apstrādi, kuras efektivitāte ir pierādīta daudzos pētījumos, un izmantot papildus agrotehniskās metodes. Šīs metodes nedrīkst vienlaicīgi izraisīt viengadīgo nezāļu savairošanos, tāpēc ir nepieciešams izvērtēt kopējo nezāļu fonu un sugu sastāvu, lai atrastu piemērotas nezāļu ierobežošanas metožu kombinācijas. Tā kā daudzgadīgo nezāļu ierobežošana ir saistīta ar augsnes apstrādi, ir nepieciešams noteikt, vai šo metožu izmantošana ir saistīta ar papildus CO₂ un citu SEG emisijām.

Projekta laikā ir paredzēts *trīs gadu laikā salīdzināt dažādas īsmūža un daudzgadīgo nezāļu ierobežošanas stratēģijas*, izvērtējot to efektivitāti nezāļu ierobežošanā, ietekmi uz kultūraugu ražu, ietekmi uz nezāļu augsnes sēklu banku kā arī CO₂, N₂O un CH₄ emisiju rādītājiem. Izmēģinājumus ierīkos *sadarbībā ar AREI Stendes pētniecības centru, sakarā ar to, ka AREI Stendei ir iepriekš gūta veiksmīga pieredze izmēģinājumu iekārtošanā*, pielietojot dažādus paņēmienus un tehnoloģijas. Atšķirības starp nezāļu ierobežošanas stratēģijām ir balstītas uz herbicīdu lietojuma īpatsvaru integrētajā nezāļu ierobežošanā. Izmēģinājumā būs iekļauti dažādi augu maiņas varianti, katrā no kultūraugiem nezāļu ierobežošanu veiks atbilstoši ierastajai praksei (pirmā stratēģija) un samazinot herbicīdu lietojumu par vismaz vienu apstrādi kultūrauga audzēšanas ciklā. Atbilstoši kultūrauga sugai, tiks izmantotas dažādas nezāļu ierobežošanas metodes: mehāniskā ierobežošana veģetācijas periodā, uztvērējaugi, dažādas augsnes apstrāde pēc ražas novākšanas (daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai).

Izmēģinājuma ierīkošana tiks ierīkota ar mērķi *noteikt nezāļu sēklu bankas izmaiņas, atkarībā no pielietotajām nezāļu ierobežošanas metodēm* (izmēģinājuma vieta 3 gadu laikā nemainīsies, mainīsies kultūraugi). Projekta mērķis ir **salīdzināt dažādas īsmūža un daudzgadīgo nezāļu ierobežošanas stratēģijas**, izvērtējot:

- to efektivitāti nezāļu ierobežošanā;
- ietekmi uz kultūraugu ražu;
- ietekmi uz nezāļu augsnes sēklu banku;
- SEG emisiju izmaiņas, atkarībā no nezāļu ierobežošanas metodes un augsnes apstrādes veida.

Projekta definētie uzdevumi:

1. Veikt ietekmes uz vidi novērtējumu un ekonomisko izvērtējumu, samazinot herbicīdu lietojuma reīžu skaitu un veicot mehānisku nezāļu ierobežošanu, kombinējot tos ar dažādiem augsnes apstrādes (aršana, minimālā apstrāde, bezaršana) veidiem (marts-novembris 2025.).

- 2. Veikt dislāpekļa oksīda (N₂O), ogļskābās gāzes (CO₂), metāna (CH₄) emisijas mērījumus 2023. gadā iekārtotajos izmēģinājuma variantos (maijs-janvāris 2025.)*
- 3. Analizēt nezāļu sēkļu bankas izmaiņas, lietojot tikai mehānisko nezāļu ierobežošanu (marts-janvāris 2025)*
- 4. Aprobēt un pilnveidot nezāļu seguma noteikšanas metodi (datu ieguve un analīze), izmantojot bezpilota lidaparātu (dronu) ar RGB kameru (maijs-janvāris 2025).*

1. Izmēģinājuma iekārtošana īsmūža un daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai, izmantojot herbicīdiem alternatīvās metodes

1.1. Izmēģinājums vasaras kviešu sējumā

Izmēģinājumu zirņu sējumā iekārtoja 2025. gada pavasarī atbilstoši iepriekš izstrādātajai shēmai (1. tabula). Sākotnēji izmēģinājuma shēmā bija iekļauta apstrāde (varianti 6 un 8) ar augsnes iedarbības herbicīdu (Stomp-CS), bet zemas augsnes temperatūras dēļ pavasarī šī apstrāde nebija iespējama, 6. variantā veica ecēšanu.

1. tabula

Izmēģinājuma shēma vasaras zirņu sējumā 2025. gadā

Variants	Augsnes apstrāde	Nezāļu ierobežošana pirms kultūrauga sadīgšanas	Nezāļu mehāniskā ierobežošana	Nezāļu ierobežošana pēc kultūrauga sadīgšanas
1.	Tiešā sēja	Rodeo* FL, 2,0 L ha ⁻¹	-	Corum* 1,25 + VAV Dash 1,0 L ha ⁻¹ (pilnā deva), AS 12-19 (no divu līdz deviņu lapu stadijai)
2.	Tiešā sēja	Pelargonijskābe + parafinēļļa x 2 Beloukha, 16,0 L ha ⁻¹ maisījumā ar Fibro 7.8 L ha ⁻¹	Ecēšana	Corum 0,625 + VAV Dash 0,5 L ha ⁻¹
3.	Augsnes lobīšana	-	Ecēšana x 2	-
4.	Augsnes lobīšana	-	Ecēšana	Corum 0,625 + VAV Dash 0,5 L ha ⁻¹
5.	Augsnes lobīšana	-	Ecēšana	Corum 0,625 + VAV Dash 0,5 L ha ⁻¹
6.	Augsnes lobīšana	-	Ecēšana	-
7.	Aršana	-	-	Corum* 1,25 + VAV Dash 1,0 L ha ⁻¹ (pilnā deva), AS 12-19 (no divu līdz deviņu lapu stadijai)
8.	Aršana	-	-	Corum 0,625 + VAV Dash 0,5 L ha ⁻¹
9.	Aršana	-	Ecēšana	Corum 0,625 + VAV Dash 0,5 L ha ⁻¹
10.	Aršana	-	Ecēšana x 2	-

* Herbicīdu darbīgās vielas: Rodeo, FL glifosāts 360 g L⁻¹; Corum, imazamokss 22,4 g L⁻¹+ bentazons 480 g L⁻¹.

Augsnes aršanu veica 5. martā, lobīšanu un kultivēšanu 11. aprīlī.

Zirņu ('Bruno') sēju veica 2. maijā. Variantos 1. un 2. izmantoja tiešās sējas sējmašīnu Amazone Primera DMC 6000 - 2C, kopā ar pamatmēslojuma iestrādāšanu, NPK 7 - 20 - 30 (350 kg ha⁻¹), izsējas norma 224 kg ha⁻¹. Pārējos variantos izmantoja pneimatisko sējmašīnu Amazone, ar izsējas normu 260 kg ha⁻¹. Pamatmēslojuma (NPK16-15-15) deva 3.-10. variantā bija 400 kg ha⁻¹ (10. aprīlī).

Apstrādi ar glifosātu saturošo herbicīdu un pirmo apstrādi ar pelargonijskābi veica 15. aprīlī, otro apstrādi ar pelargonijskābi veica 29. aprīlī.

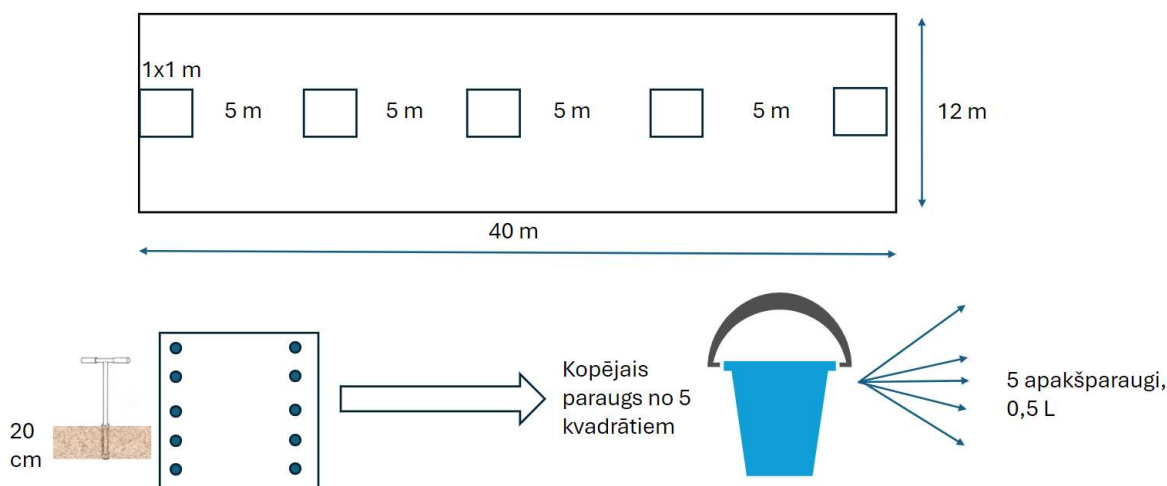
Nezāļu mehānisko ierobežošanu (ecēšanu ar rotējošām ecēšām) veica 12. maijā (izņemot 6. variantu, kur pirmo ecēšanu veica vienlaicīgi ar atkārtoto ecēšanu citos variantos), atkārtoti - 21. maijā. Maijā veica nepieciešamās apstrādes ar fungicīdu un insekticīdu, kā arī lietots mikroelementus saturošais papildmēslojums.

Apstrādi ar herbicīdiem veica pēc zirņu sadīgšanas 24. maijā. Nezāļu zaļās masas uzskaiti veica 18. jūnijā.

Zirņu ražu novāca augustā ar kombainu Wintersteiger Delta.

1.2. Augsnes paraugu ievākšana augsnes sēklu bankas noteikšanai

Augsnes paraugus ievāca 2025. gada 15. aprīlī. Katrā no variantiem piecos parauglaukumos (1 m²) ar augsnes zondi (2 cm diametrā) ievāca 10 paraugus 20 cm dziļumā. Sajaucot šos paraugus, ieguva kopējo paraugu, no kura paņēma piecus atkārtojumus pa 0,5 L (1. attēls)

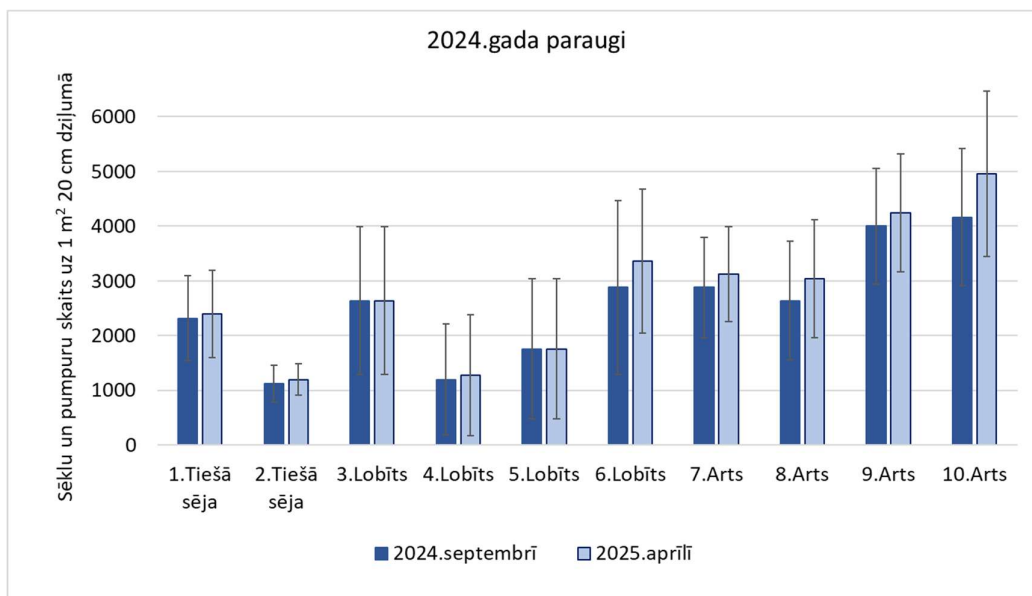


1.attēls. Augsnes paraugu augsnes sēklu bankas analīzei ievākšanas shēma vienā variantā.

Augsnes paraugus iepildīja 1.0 L veģetācijas traukos, kurus iepriekš līdz pusei piepildīja ar mitrām smiltīm. Veģetācijas trauki novietoti siltumnīcā, mitru smilšu slānī, kuru periodiski uzturēja mitru, lai nodrošinātu augsnes paraugu samitrināšanu. Ja augstās gaisa temperatūras ietekmē augsnes paraugi bija izžuviši, esošos paraugus un smilšu kārtu uz kuriem atradās veģetācijas trauki aplaistīja no augšas ar ūdeni. Nezāļu dīgstu uzskaiti veica vienu reizi nedēļā pirmajā mēnesī līdz oktobra sākumam, tad 1-2 reizes mēnesī. Vienu reizi izmēģinājuma laikā veģetācijas traukos esošos augsnes paraugus samaisīja, lai veicinātu jaunu nezāļu sēklu dīgšanu.

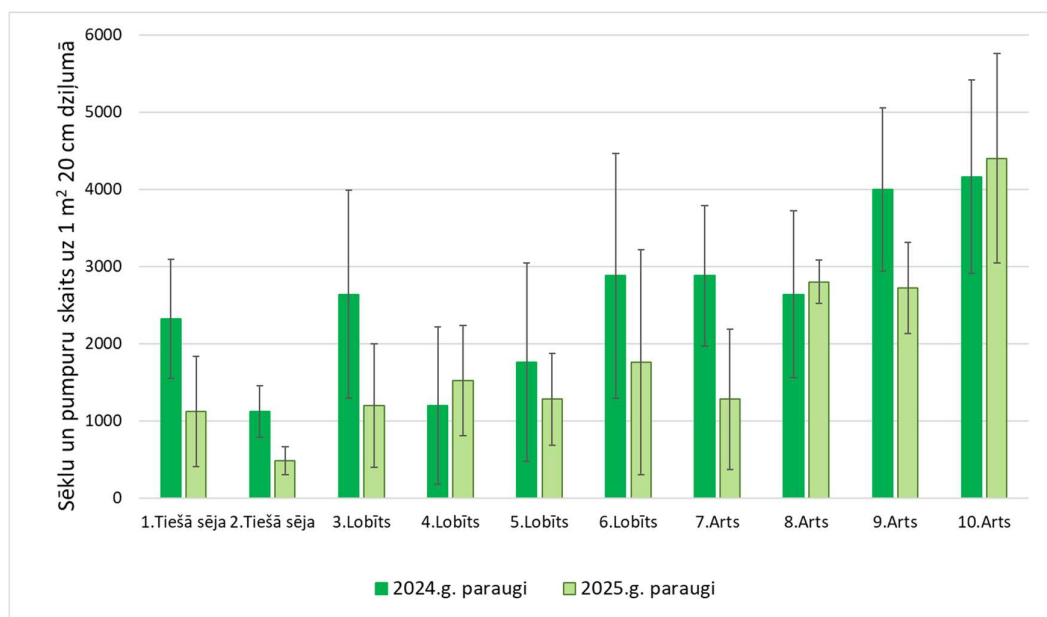
1.3. 2024. gada paraugu analīzes noslēgums un 2025. gada paraugu analīzes rezultāti

2024. gada aprīlī ievāktos augsnes paraugu analīzi (dīgstu uzskaiti siltumnīcas apstākļos) turpināja līdz 2025. gada aprīlim (paraugus likvidēja aprīļa sākumā, pirms jauno paraugu ievietošanas siltumnīcā). Augsnes sajaukšana veicināja papildus sēklu dīgšanu, un dažos variantos kopējais augsnes paraugos konstatēto dīgtspējīgo sēklu/pumpuru skaits bija palielinājies, taču kopējā tendence atšķirībās starp variantiem nebija mainījies (2. attēls).



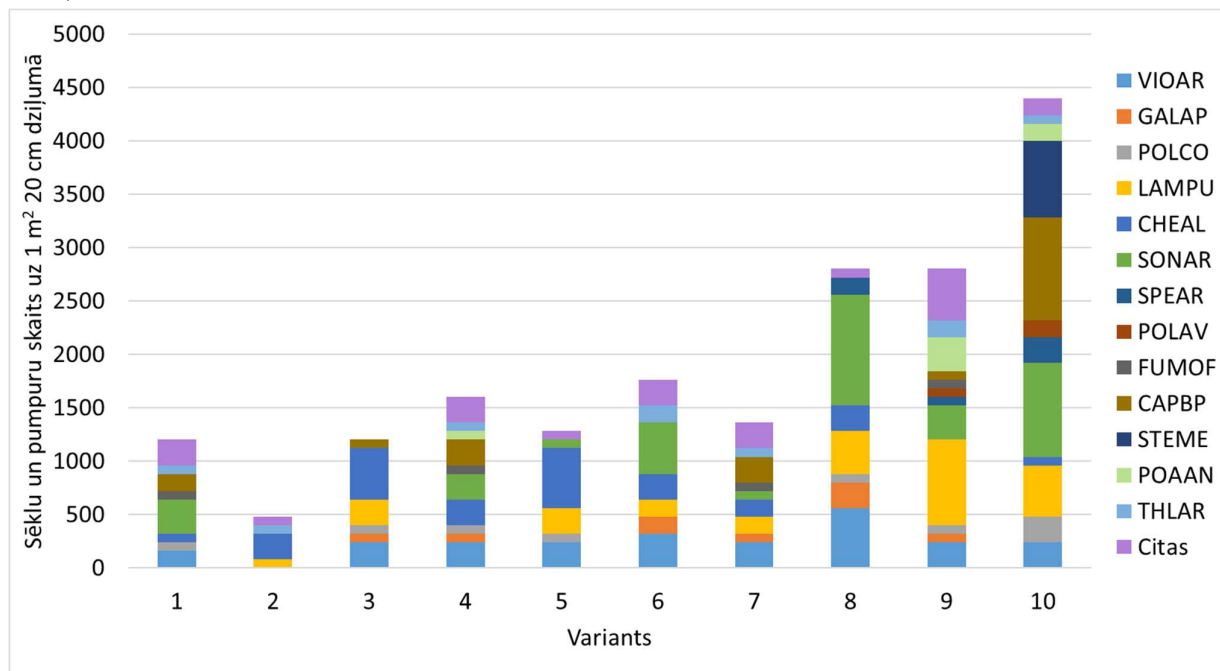
2.attēls. Sēklu (un pumpuru, ja paraugā bija sakneņu fragmenti) skaits uz vienu kvadrātmetru 20 cm dziļumā dažādos izmēģinājuma variantos, 2024. gada pavasarī ievāktajiem paraugiem: novērtējums 2024. gada septembrī un gala novērtējums 2025. gada aprīlī. Katrs diagrammas stabiņš parāda vidējo vērtību no pieciem atkārtojumiem, vertikālie nogriežņi parāda standartnovirzi.

2025. gada pavasarī ievāktajos augsnes paraugos konstatēja līdzīgu sēklu/pumpuru skaitu, gandrīz visos variantos atšķirības no 2024. gada paraugiem bija kļūdas robežās, tomēr sēklu/pumpuru skaitam augsnes paraugos bija tendence samazināties, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, izņemot 4., 8. un 10. variantos (3. attēls).



3.attēls. Sēklu un pumpuru skaits uz vienu kvadrātmetru 20 cm dziļumā dažādos izmēģinājuma variantos 2024. un 2025. gada pavasarī ievāktajos paraugos (novērtējums veikts attiecīgā gada septembrī). Katrs diagrammas stabiņš parāda vidējo vērtību no pieciem atkārtojumiem, vertikālie nogriežņi parāda standartnovirzi.

Dominējošās nezāļu sugas augsnes sēklu bankā bija līdzīgas tām, ko konstatēja 2024. gadā, salīdzinoši vairāk paraugos konstatēja parastās virzas, tīruma nauduļa un maura skarenes sēklas (4. attēls).



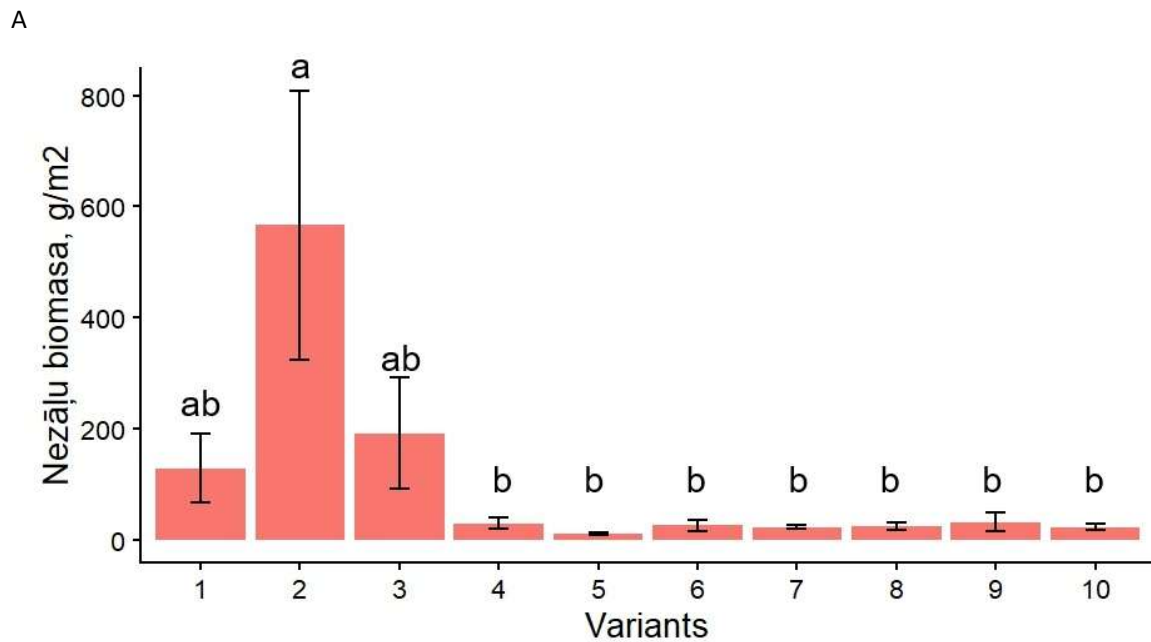
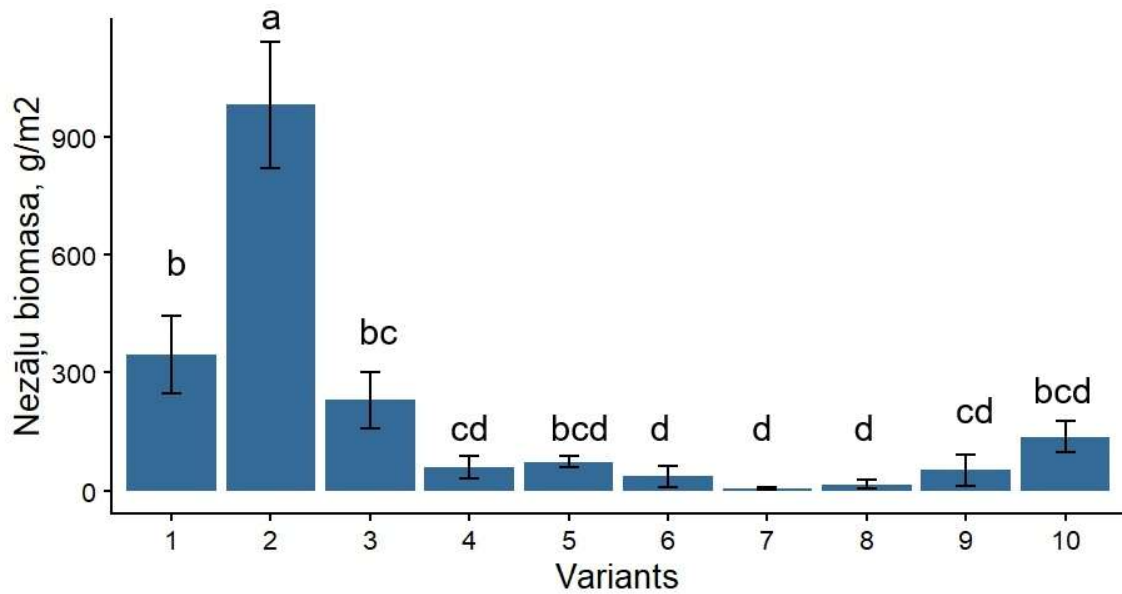
4.attēls. Dominējošās nezāļu sugas augsnes sēklu bankā dažādos izmēģinājuma variantos (paraugi ievākti 2025. gada 15. aprīlī, dīgstu uzskaiti veica līdz septembrim). Nezāļu sugas attēlā ir apzīmētas ar EPPO kodiem: VIOAR – lauka vijolīte, GALAP - ķeraiņu madara, POLCO - dārza vējagriķis, LAMPU - sārtā panātre, CHEAL - baltā balanda, SONAR - tīruma mīkstpiene, SPEAR - tīruma gauris, POLAV – maura sūrene, FUMOF - ārstniecības matuzāle, CAPBP – ganu plikstiņš, STEME - parastā virza, POAAN – maura skarene, THLAR - tīruma naudulis.

2025. gadā ievāktajos augsnes paraugos mazāk nekā iepriekšējā gadā konstatēja tīruma mīkstpienes (un citu mīkstpieņu sugu) pumpurus un/vai sēklas. Tas var būt daļēji saistīts ar to, ka analizējot paraugus 2025. gadā sakņu fragmentus izņēma ārā kopā ar augu, kas varēja samazināt konstatēto pumpuru skaitu, taču 2. variantā (tiešā sēja) mīkstpienes sēklas/pumpuri līdz 2025. gada septembrim nebija konstatēti vispār. Atsevišķos variantos konstatēja kviešu-sārņaugu sēklas.

Turpinot pētījumu, jānoskaidro, vai saglabāsies tendence nezāļu sēklu skaitam augsnē samazināties tiešās sējas variantos, kā arī variantos ar efektīvu nezāļu ierobežošanu, un saglabāties nemainīgam vai pieaugt variantos, kuros veica aršanu.

1.4. Nezāļu biomasas uzskaitē

Nezāļu biomasas paraugus ievāca 10 parauglaukumos (0,25 m²) katrā no izmēģinājuma variantiem. Paraugus sašķiroja, izdalot atsevišķi īsmūža un daudzgadīgās nezāles (5. attēls).



B

5. attēls. Nezāļu biomasas uzskaites rezultāti: (A) daudzgadīgās nezāles, (B) īsmūža nezāles. Katrs diagrammas stabiņš parāda vidējo vērtību no desmit atkārtojumiem, vertikālie nogriežņi norāda standartklūdas lielumu. Ar atšķirīgiem burtiem ir apzīmēti varianti, starp kuriem pastāv statistiski būtiska atšķirība (Tukey HSD tests, būtiskuma līmenis $\alpha = 0.05$).

Daudzgadīgo nezāļu biomasa bija vislielākā tiešās sējas variantos (1. un 2. variants), kā arī variantos, kuros nezāles ierobežoja tikai mehāniski (3. un 10. variants). Tas liecina par to, ka zirņu sējuma apstrāde ar rotējošām ecēsām nebija tik pat efektīva daudzgadīgo nezāļu ierobežošanai, kā apstrāde ar herbicīdu. Aršana būtiski neuzlaboja daudzgadīgo nezāļu ierobežošanas efektivitāti šajā gadījumā. Dominējošās daudzgadīgās nezāles bija: tīruma mīkstpiene, ārstniecības pienene (cūkpiene),

āboliņa sugas, ložņu vārpata, tūruma usne, parastā vībotne. Šajā izmēģinājumā tieši ārstniecības pienenes izplatība tiešās sējas variantos radīja būtisku daudzgadīgo nezāļu biomasas pieaugumu. Īsmūža nezāļu biomasu variēja starp variantiem, 2025. gada izmēģinājumā atšķirības bija izteiktākas, nekā 2024. gadā. Dominējošās īsmūža nezāļu sugas bija: dārza vējagrīķis, ganu plikstiņš, tūruma kumelīte, sārtā panātre, lauka vijolīte, ķeraiņu madara, tūruma naudulis, labība-sārņaugš, maura skarene. Vislielākā īsmūža nezāļu biomasu bija 1.-3. variantos. Atšķirībā no daudzgadīgo nezāļu biomasas, nezāļu biomasu bija lielāka 3. variantā, salīdzinot ar 10. variantu, lai gan lielās datu variabilitātes dēļ atšķirības nebija statistiski būtiskas (5. attēls B). Šis rezultāts norāda uz aršanas ietekmi uz īsmūža nezāļu mehāniskās ierobežošanas efektivitāti.

A



B

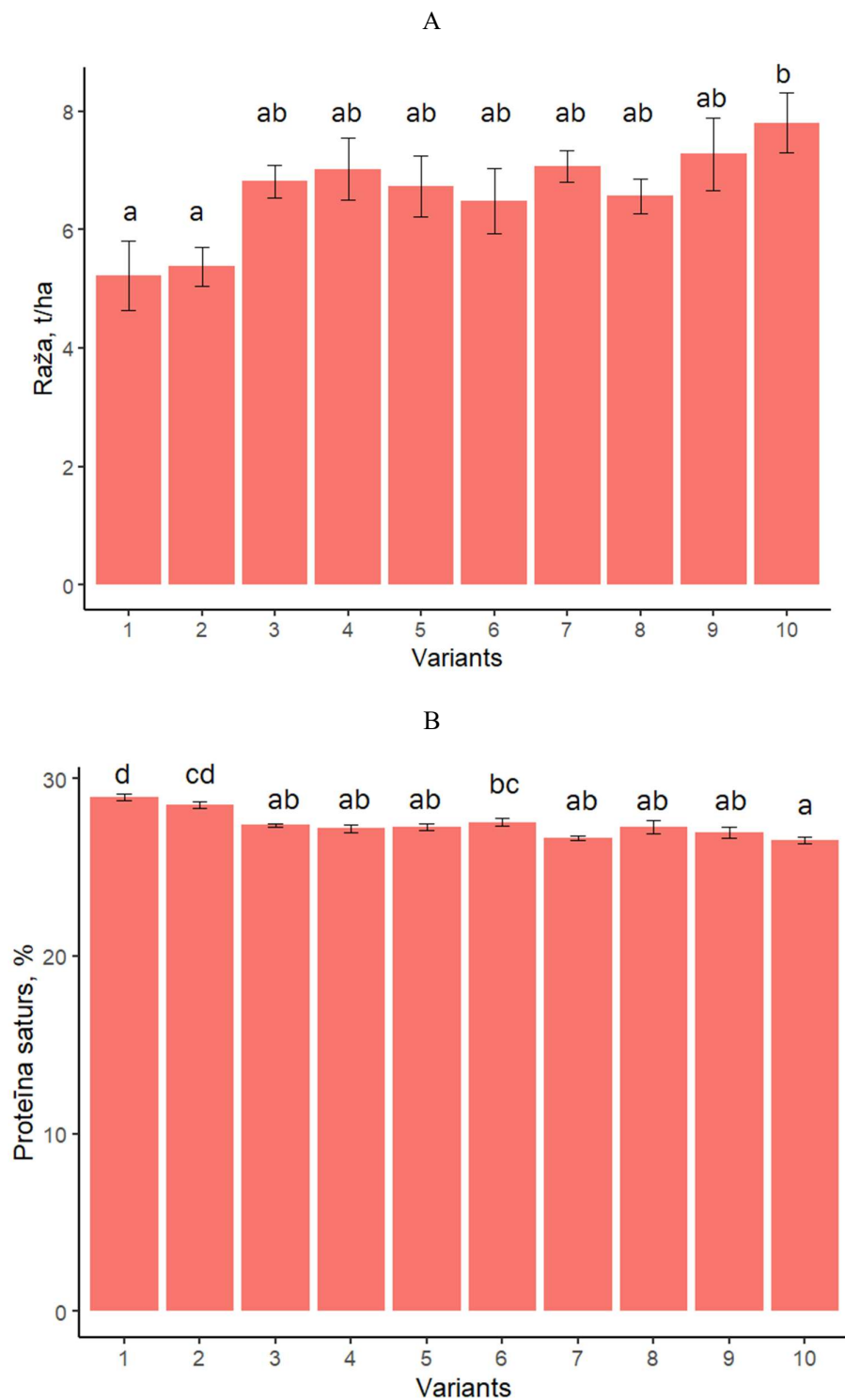


6. attēls. Izmēģinājuma tiešās sējas varianti 2025. gada (A) 15. aprīlī, (B) 18. jūnijā: kreisajā pusē - 2. variants (apstrāde ar pelargonijskābi pirms sējas), labajā pusē - 1. variants (apstrāde ar glifosātu pirms sējas).

Laika apstākļi 2025. gada pavasarī bija nelabvēlīgi zirņu sējai, un apstrāde ar pelargonijskābi bija veikta brīdī, kad nezāles, sevišķi ārstniecības pienene, bija jau sasniegušas lielu izmēru (6. A attēls), kas negatīvi ietekmēja apstrādes efektivitāti. Zirņu sējums tiešās sējas variantos (1. un 2. variants) bija izretināts, salīdzinot ar pārējiem variantiem, kas veicināja nezāļu attīstību (6. B attēls). Nezāļu attīstību vēlāk pavasarī un vasarā varēja ietekmēt arī mazāka herbicīda Corum deva, ko izmantoja izmēģinājuma 2. variantā (1. tabula).

1.5. Zirņu ražas uzskaite

Iegūtā zirņu raža bija zemāka abos variantos, kuros veikta tiešā sēja, lai gan statistiski būtiskas atšķirības bija tikai starp šiem variantiem (1. un 2.) un 10. variantu, kurā iegūta visaugstākā raža (7. attēls).



7. attēls. (A) Zirņu raža ($t\ ha^{-1}$ pie 14% mitruma) un (B) proteīna saturs dažādos izmēģinājuma variantos (vidējais no sešiem atkārtojumiem \pm standartklūda).

Zirņu ražas kvalitāte (proteīna saturs) būtiski atšķīrās starp variantiem: tas bija visaugstākais 1. un 2. variantā, bet viszemākais 10. variantā, tātad, bija negatīva korelācija ar ražas lielumu.

No iegūtajiem datiem var secināt, ka iegūto zirņu ražu un kvalitāti galvenokārt ietekmēja augsnes apstrāde un iespējamā augsnes heterogenitāte, nevis nezāļu ierobežošanas efektivitāte. Zemāka raža *tiešās sējas variantos bija saistīta ar mazāku zirņu augu skaitu uz kvadrātmetru (sējuma biežību), salīdzinot ar pārējiem variantiem.*

1.6. Bezpilota lidaparāta (BLPA) attēlu ieguve un izmantošana nezāļu seguma noteikšanai

Attēlus uzņēma AREI darbinieki, veicot lidojumus 15 m augstumā vairākas reizes sezonā: 23. aprīlī, 13. maijā, 20. maijā, 17. jūnijā un 11. augustā (8. attēls).

A



B



8.attēls. Izmēģinājuma BPLA attēli, kurus uzņēma (A) 20. maijā un (B) 17. jūnijā.

Nezāļu procentuālā seguma noteikšanu zirņu sējumā, izmantojot BPLA attēlus, apgrūtina biezs zirņu sējums, īpaši jūnijā, kad kultūrauga krāsa maz kontrastēja ar nezālēm. Tiek meklēti risinājumi

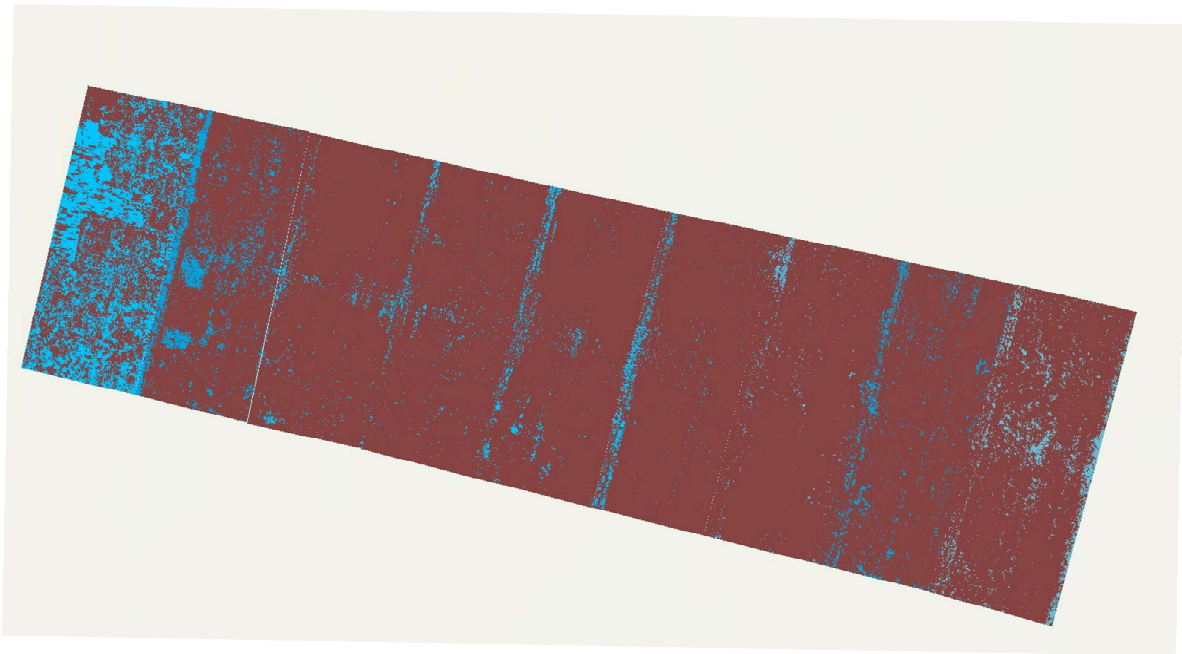
nezāļu seguma identifikācijai blīvā sējumā, bet sākotnējo analīzi veica izmantojot iepriekšējā gadā izmantotās metodes (Gitelson et al. 2002; Nikolic et al. 2021). Attēlu analīze turpinās, bet ir pieejami orientējošie dati no pirmās attēlu analīzes. Nezāļu segums, ko aprēķināja, izmantojot augustā uzņemtos attēlus, ir parādīts kā piemērs 2. tabulā (1. variants ir izslēgts, jo attēla kvalitāte nebija piemērota analīzei).

2.tabula

Nezāļu seguma novērtējums, izmantojot ar BPLA iegūto attēlu analīzi zirņu sējumā 2025. gada augustā.

Variants	Kopējais laukums, m ²	Nezāļu segums, m ²	Nezāļu segums, %
2.	396.71	152.26	38.38
3.	373.67	49.27	13.19
4.	363.68	10.07	2.77
5.	379.79	9.15	2.41
6.	363.40	14.73	4.05
7.	372.60	13.32	3.57
8.	338.52	7.98	2.36
9.	354.77	24.59	6.93
10.	367.31	39.38	10.72

Nezāļu segums augustā ir parādīts 9. attēlā. Nezāļu procentuālais segums bija lielāks tiešās sējas variantos, kur kultūrauga (zirņu) sējuma biežība bija mazāka, nekā citos variantos.



9.attēls. Nezāļu procentuālais segums, ko noteica izmantojot BPLA attēlu analīzi izmēģinājuma variantos. Ar zilo krāsu ir parādīts nezāļu segums.

Līdzīgi kā iepriekšējā gadā, augustā uzņemtajos attēlos varēja labāk identificēt nezāļu laukumus, kuri kontrastēja ar kultūraugu. Turpmākai analīzei būs nepieciešams izstrādāt jaunu attēlu analīzes metodi, vai arī atrast optimālo attēlu uzņemšanas laiku, kad var identificēt nezāles un noteikt to segumu, un vienlaicīgi kad noteiktais nezāļu segums cieši korelē ar nezāļu biomasu vēlākā laika posmā un ar kultūrauga ražu.

Secinājumi par 1. nodaļu

2025. gadā izmēģinājumā tāpat kā iepriekšējā gadā dominēja daudzgadīgās nezāles, bet atsevišķos variantos bija arī liela īsmūža nezāļu biomasas.

Augsnes sēkļu bankas analīze liecina par to, ka sēkļu krājums augsnē ir proporcionāls tam, kāds ir konstatēts iepriekšējā gadā. Iespējams, ka sēkļu skaitam augsnē ir tendence samazināties variantos ar tiešo sēju un minimālo augsnes apstrādi.

Augsnes paraugu analīze 12 mēnešu garumā, salīdzinot ar 5-6 mēnešiem, ļauj tikai nelielā mērā palielināt augsnē konstatēto dīgtspējīgo sēkļu skaitu. Lai pārliecinātos, cik pilnīga ir augsnes sēkļu bankas analīze ar diedzēšanas metodi būtu vēlams noteikt neuzdīgušo sēkļu skaitu augsnes paraugos.

Nezāļu ierobežošanas metožu komplekss kopumā līdzīgi ietekmēja daudzgadīgo un īsmūža nezāļu biomasu parauglaukumos. Nezāļu biomasas bija lielāka tiešās sējas variantos un minimālās augsnes apstrādes variantā, kur veica tikai mehānisko nezāļu ierobežošanu, bet pārējos variantos atšķirības nekonstatēja. Mehāniskā nezāļu ierobežošana mazākā mērā ietekmēja daudzgadīgo nezāļu biomasu, bet atšķirības nebija statistiski būtiskas.

Zirņu sējuma biežībai ir lielāka ietekme uz ražas lielumu, nekā nezāļu biomasai.

Nezāļu seguma izpēti ar BPLA un attēlu analīzes palīdzību zirņu sējumā nezāļu uzskaites laikā apgrūtina liela kultūrauga biežība. Atšķirības nezāļu segumā var labi identificēt tikai variantos ar mazāk blīvi saaugušiem zirņu augiem. Lai veiktu šo analīzi, ir nepieciešams izstrādāt jaunu analīzes metodi, jo biežāk šāda veida analīzi veic sējumos vai stādījumos ar platām rindstarpām.

Literatūra

Gitelson AA, Stark R, Rundquist D, Gitelson AA, Kaufman YJ, Stark R, Rundquist D (2002) Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction. *Remote Sens Environ* 80:79–87

Nikolić N, Rizzo D, Marraccini E, Ayerdi Gotor A, Mattivi P, Saulet P, Persichetti A, Masin R (2021) Site and time-specific early weed control is able to reduce herbicide use in maize - a case study. *Ital J Agron*

2. SEG emisiju mērīšanas metodika un pirmie iegūtie rezultāti

2.1. Meteoroloģiskie dati

Meteoroloģiskie dati iegūti no stacijas Field climate kas atrodas ap 500 metriem no izmēģinājuma vietas. Datu apkopojums ir redzams 2.1. un 2.2. tabulā.

2.1. tabula

Vidējās gaisa temperatūras C° 2025. gads stacijā Field climate

Mēneši	Temperatūra, C°					
	I	II	III	Vidēji	Ilggadīgie dati*	Novirze no ilggadīgiem datiem
Aprīlis	3.5	11.4	7.2	7.4	5.8	1.6
Maijs	6.5	8.2	13.1	9.4	11.1	-1.7
Jūnijs	14.4	4.2	14.4	14.4	14.7	-0.3
Jūlijs	16.7	19.3	19.5	18.5	17.3	1.2
Augusts	17.4	16.8	13.1	15.7	16.6	-0.9
Septembris	18.3	16.0	10.0	14.7	12.1	2.6
Oktobris	8.8	6.7	7.3	7.6	6.8	0.8

* Stendes NS dati

2.2. tabula

Nokrišņu summas, mm stacijā 2025. gads Field climate

Mēneši	Nokrišņi, mm					
	I	II	III	Summa, mm	Ilggadīgie dati*	% no ilggadīgiem datiem
Aprīlis	9.4	52.4	15.6	77.4	38.1	203.1
Maijs	8.4	80.4	2.2	91	46	197.8
Jūnijs	34.4	18.4	21.2	74	71.4	103.6
Jūlijs	30.4	2.2	162.8	195.4	78.1	250.2
Augusts	10.8	2.2	28.8	41.8	83.4	50.1
Septembris	2.6	56.6	3.4	62.6	64	97.8
Oktobris	17.8	13.8	33	64.6	74.9	86.2

* Stendes NS dati

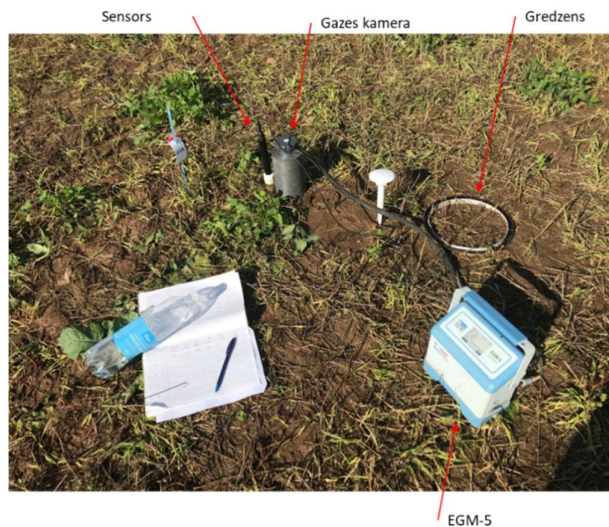
Pēc iegūtajiem meteoroloģiskajiem datiem var konstatēt, ka nokrišņu summa aprīļa, maija, jūnija un jūlija mēnešos, **pārsniedza ilggadīgo datu normas**, augsne bija pārsātināta ar mitrumu, kas apgrūtināja gan sējas, gan kopšanas darbus. Maijs, jūnijs un augusts ir bijis auksts, salīdzinot ar ilggadējiem datiem 2025. gada sezonā.

2.2. CO₂ emisiju mērījumi ar iekārtu EGM-5

CO₂ gāzes izplūdes intensitātes noteikšanai izmantoja iekārtu EGM-5, kas aprīkota ar elpošanas kameru SRC-2. (kamaras tilpums 1171 mL, elpošanas laukums – 78 cm², laukuma/tilpuma attiecība 1/15). CO₂ izplūdes intensitātes mērīšana notika paralēli gāzu mērījumiem, izmantojot slēgta tipa gāzes statiskas kameras metodi. Mērījumus veica katru reizi pirms saimniecisko darbību veikšanas un pēc saimnieciskām darbībām noteiktos variantos. CO₂ izplūdes intensitāti noteica vairākas dienas pēc augsnes apstrādes. Vienlaikus noteikta augsnes temperatūra (C) un augsnes mitrums (%), ar iekārtai EGM-5 pievienotu augsnes mitruma un temperatūras zondi, kura strādā ar Stevens HydraProbe augsnes sensoru, 6-7 cm dziļumā.

Katru mērījumu veica blakus gredzeniem (katrā mērījumu vietā divi gredzeni skat. 3.3 sadaļu), kas bija ierakti gāzu ievākšanai ar slēgtas kameras metodi (CO₂, CH₄, N₂O izplūdes noteikšanai) 2., 4., 6., 8., un 10. izmēģinājuma variantos, kuros atšķīrās augsnes apstrādes sistēma (2. variants – tiešā sēja, 4. un 6. varianti – minimalā augsnes apstrāde, 8. un 10. varianti – aršana). Veica divus atkārtojumus katrā mērījumu vietā, kopā 4 mērījumi katrā no variantu lauciņiem. Aprēķināti vidējie rādītāji.

Pētījuma mērķis ir: veikt CO₂ izplūdes mērījumus ar iekārtu EGM-5 dinamiskā pirms augsnes apstrādes un pēc augsnes apstrādes ar mērķi noteikt CO₂ emisiju izmaiņu dinamiku un to ietekmējošus faktorus.



2.1. attēls. Gāzes mērīšanas komplekts ar iekārtu EGM-5

2.3. Mērījumu metodikas precizējums

Sākotnēji 2023. gadā CO₂ gāzes emisijas intensitāti bija plānots mērīt pirms un pēc augsnes apstrādes katru dienu līdz brīdim, kad rezultāti būtiski nemainās, neiekļaujot brīvdienas. Tomēr, ņemot vērā praktiskos darba apstākļus, resursu noslodzi un meteoroloģiskos ierobežojumus, mērījumu metodika tika pārskatīta.

Tika pieņemts lēmums pāriet uz regulāriem CO₂ emisiju mērījumiem **vismaz reizi trīs nedēļās. Atkarībā no darba intensitātes un apstākļiem intervāls starp mērījumiem atsevišķos gadījumos varēja mainīties, taču kopumā tika saglabāta sistemātiska un salīdzināma datu ieguve visā pētījuma periodā.** Šīs izmaiņas ļāva nodrošināt līdzsvaru starp datu kvalitāti un pētījuma praktisko realizācijas iespējamību. Skat. mērījuma grafiku:

Gāzu mērījuma laiki

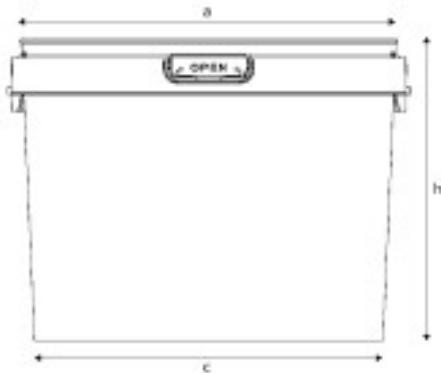
Mēnesis	Mērījuma datumi	Dienu starpība
Aprīlis	04.04.2025	0
Aprīlis	14.04.2025	10
Aprīlis	15.04.2025	1
Aprīlis	29.04.2025	14
Maijs	20.05.2025	21
Jūnijs	03.06.2025	14
Jūnijs	25.06.2025	22
Jūlijs	15.07.2025	20
Jūlijs	29.07.2025	14
Augusts	26.08.2025	28
Septembris	09.09.2025	14
Septembris	19.09.2025	10
Oktobris	07.10.2025	18

2.4.Gāzu mērījumi ar slēgtās kameras metodi

2025. gadā tika precizēta SEG mērījumu metodika ar slēgtā tipa gāzes kameru. Zemāk ir veikts apraksts veiktajām darbībām

1. Katru gadu bezsniega periodā (martā/aprīļa sākuma) tiek veikts pirmais CO₂, N₂O, CH₄ emisiju mērījums. **2025. gada pavasarī ir raksturojies ar īpaši mitriem laikapstākļiem, tādēļ mērījumus bija iespējams uzsākt tikai aprīlī.**
2. Nākamie mērījumi tiek veikti vismaz reizi trīs nedēļās. Tika pieņemts lēmums nepieturēties pie apstrādēm, jo darbībās ir iesaistīti vairāki pētnieki un darbinieki, līdz ar ko ir grūti pieskaņot izbraucienu un darbību laikus.
3. Gada pēdējais mērījums tiek veikts novembrī (līdz pirmajam sniegam). Šogad pēdējais mērījums tika veikts 7. oktobrī. SEG emisiju mērījumi tiks veikti četrus gadus no 2023. gada līdz 2026. gadam.

Sadarbībā ar LVMI Silava tika izstrādāta metodika gāzu ievākšanai. Tika dota priekšroka vienkāršākai un lētākai metodei - **SEG emisiju gāzu ievākšana, izmantojot slēgtu tipa gāzes kameras (non-flow-through chamber-based technique)**. Mūsu gadījumā tas ir plastmasas pārtikas spainis ar tilpumu 9.25 litri ar lielāko iekšējo diametru 25.5 cm (a) (skat. att.3.1.), augstumu (h) 19.6 cm un apakšējo diametru iekšējo diametru 19 cm (b). Spaiņa augšējā mala (atvērta) ir ievietota gredzenā ar gropi (caurtekas elements, kura apakšējā daļa ir ievietota augsnē 7 līdz 9 cm dziļumā (skat. 3.1. attēlu) un augšējā gredzena daļa ir līdz 1 cm virs zemes), caurtekas iekšējais diametrs 24.6 cm. Ir zināms laukums un tilpums gaisa telpai virs uzraudzītās augsnes. Mūsu gadījumā tie ir 9.525 litri (spainis plus gredzena tilpums virs augsnes). SEG plūsmas ātrumu nosaka, apvienojot informāciju par slēgtās augsnes virsmas laukumu, slēgtās augsnes tilpumu gaisa telpā un SEG koncentrāciju izvietojanas laikā periodā 0, 10, 20, 30 minūtēs. Katrā laika punktā veic gāzu paraugu ievākšanu (skat. 3.2., 3.3. attēlā).



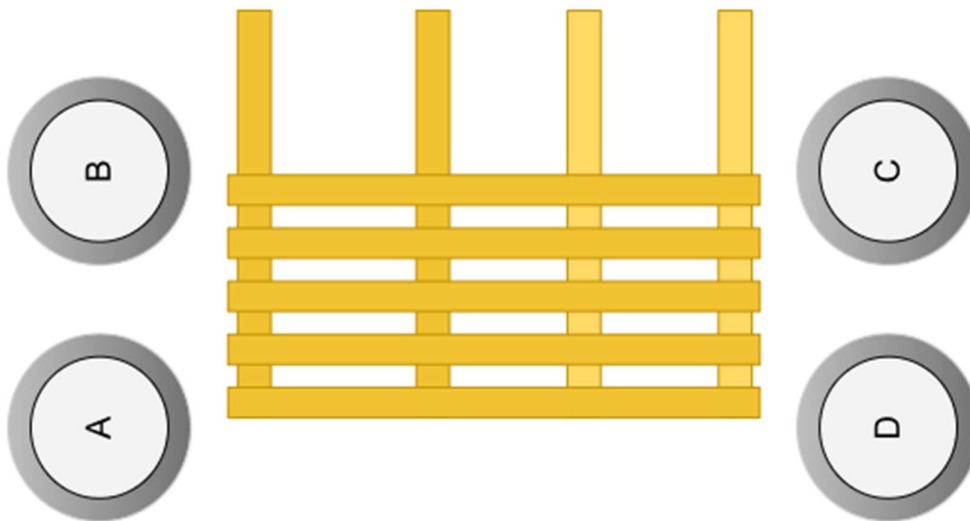
Slēgtās kameras izmēri



Gredzens un augsnes mitruma/temperatūras sensors

2.2.attēls. Slēgtās kameras uzbūve ($a = 25.5$ cm; $h = 19.6$ cm) un apakšējā gredzena vizuālais izskats

Gredzenu izvietojums uz lauciņa ietvaros ir parādīts 2.2.attēlā. Attālums no spaiņa līdz lauciņa ārējām malām bija 4.2 m. Mērījumu veikšanas laiks un varianti, kuros veica mērījumus, ir apkopoti 2.4. tabulā. Katrā lauciņā tika ievākti paraugi no 4 punktiem. Paraugu ievākšana tika veikta 2.,4.,6.,8., un 10. variantos.



2.3. attēls. Gredzenu (punkti: A, B, C, D) novietojums uz lauka katrā variantā kopā ar koka laipu

Gredzenu izvietojums uz lauciņa ietvaros ir parādīts 2.3.attēlā. Attālums no spaiņa līdz lauciņa ārējām malām bija 4.2 m. Mērījumu veikšanas laiks un varianti, kuros veica mērījumus, ir apkopoti 2.3. tabulā. Katrā lauciņā tika ievākti paraugi no 4 punktiem. Paraugošana tika veikta 2.,4.,6.,8., un 10. variantā.

CO₂, N₂O un CH₄ gāzu izdalīšanos ietekmējošie faktori

Siltumnīcefekta gāzu emisijas no augsnes un agroekosistēmām nosaka vairāku savstarpēji saistītu faktoru kopums, kas ietekmē mikrobioloģiskos, ķīmiskos un fizikālos procesus augsnē.

1. Augsnes mitrums

Augsnes mitrums ir viens no galvenajiem faktoriem, kas regulē gāzu veidošanos:

- augsts mitrums samazina skābekļa pieejamību, veicinot anaerobos apstākļus, kas palielina CH₄ (60%) un N₂O (60 līdz 80%) (<https://link.springer.com/article/10.1186/s12302-024-00943-4>) emisijas.
- augsnes mitrums līdz 70% veicina mikroorganismu aktivitāti un CO₂ izdalīšanos elpošanas procesā (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706123001702?via%3Dihp>), pēc 70% un līdz 100% aktivitāte samazinās līdz un CO₂ emisijas sasniedz 45% mitruma līmeni.
- pārmērīgs mitrums var kavēt CO₂ difūziju no augsnes.

2. Temperatūra

Temperatūra būtiski ietekmē mikrobioloģisko aktivitāti:

- **Augstāka temperatūra paātrina** organisko vielu sadalīšanos un palielina CO₂ emisijas.
- **Silti un mitri apstākļi** veicina arī denitrifikācijas procesu, kas ir galvenais N₂O avots.
- Zema temperatūra palēnina visus bioloģiskos procesus.

3. Augsnes apstrāde

Mehāniskā iejaukšanās augsnē ietekmē gāzu plūsmu:

- Intensīva augsnes apstrāde palielina CO₂ emisijas, jo tiek traucēta augsnes struktūra un palielināta organisko vielu mineralizācija.
- Samazināta vai bezaršanas tehnoloģija var samazināt CO₂ emisijas, taču dažkārt palielina N₂O emisijas mitros apstākļos.

4. Slāpekļa mēslojums

Slāpekļa mēslojuma veids un daudzums ietekmē N₂O emisijas:

- Minerālmēsli un organiskie mēslojumi var palielināt N₂O izdalīšanos nitrifikācijas un denitrifikācijas procesos.
- Pārmērīga mēslojuma lietošana palielina emisiju risku.

5. Organisko vielu saturs augsnē

- Augstāks organisko vielu saturs palielina mikroorganismu aktivitāti un līdz ar to CO₂ izdalīšanos.
- Organiskā viela nodrošina substrātu metāna veidojošajiem mikroorganismiem (metanogēniem) anaerobos apstākļos.

6. Skābekļa pieejamība

- Aerobi apstākļi veicina CO₂ veidošanos.
- Anaerobi apstākļi veicina CH₄ un N₂O veidošanos.

7. Augsnes pH

- Skāba augsne var kavēt mikroorganismu darbību, bet optimāls pH (6–7) veicina aktīvākus bioķīmiskos procesus un līdz ar to emisijas.

8. Augu segums un sakņu aktivitāte

- Augi ietekmē augsnes elpošanu, jo sakņu elpošana ir būtisks CO₂ avots.
- Augu segums var samazināt augsnes temperatūras svārstības un mitruma zudumu.

9. Laikapstākļi un sezonālitate

- Nokrišņu daudzums un sadalījums ietekmē augsnes mitrumu un anaerobo zonu veidošanos.

- Pēc stiprām lietussgāzēm bieži novērojami paaugstināti N₂O emisiju pīķi.

10. Mikroorganismu aktivitāte

- N₂O un CH₄ izdalīšanos tieši nosaka nitrificējošo, denitrificējošo un metanogēno baktēriju aktivitāte.

Augsnes temperatūras un mitruma ietekme uz SEG emisijām

CO₂ emisijas mainās sezonāli, mainoties temperatūrai, un var palielināties, pieaugot mikroorganismu aktivitātei iestrādājot augsnē organisko materiālu, piemēram, salmu mulču (Wang et al. 2019).

Paaugstinoties inkubācijas temperatūrai no 5 °C līdz 25 °C tika novērota N₂O izmešu samazināšanās nitrifikācijas procesā (Maag, Vinther, 1996; Avrahami et al., 2003), savukārt pozitīva korelācija starp N₂O emisijām un temperatūru no 15 °C līdz 30 °C tika pierādīta citos pētījumos (Goodroad, Keeney, 1984; Smith, 1997). Augstas temperatūras (virs 35 °C) ietekme uz N₂O emisijām ir neskaidra. Temperatūras paaugstināšanās virs 35 °C var ietekmēt augsnes nitrificējošo baktēriju sabiedrības un/vai mainīt augsnes mikrovietas apstākļus, piemēram, skābekļa un organiskās vielas pieejamību, kas var mainīt N₂O emisijas un autotrofās un heterotrofās nitrifikācijas relatīvo ieguldījumu (Lai, 2016). Citu pētījumu rezultāti liecina par to, ka N₂O emisijas augsnē palielinās līdz ar temperatūras paaugstināšanos un sasniedz maksimumu no 35 līdz 40 °C (Lai et al., 2019). Taču temperatūras pieaugums izraisa izmaiņas arī citos procesos augsnē, tāpēc dati var būt pretrunīgi.

Vairāki autori pauda, ka CO₂ emisijas ir pozitīvi saistītas ar augsnes mitrumu. Divos pētījumos (Yerli et al., 2019) un (Zhao et al., 2020) augsnes CO₂ emisijas uzrādīja pozitīvu lineāru korelāciju ar augsnes mitruma saturu. Jabro un līdzautori (2008) arī norādīja, ka CO₂ emisijas palielinās, palielinoties organisko vielu oksidācijai, t.i. palielinoties augsnes mitrumam. Sausuma apstākļos parasti ir mazākas CO₂ emisijas (Yerli et al., 2022).

Kopumā ir atzīta tendence, ka, pieaugot mitrumam, pieaug N₂O emisijas, jo tās tiek radītas nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu ietvaros (Baggs, Rees 2000; Davidson, Swank 1986; Giacomini et al 2006; Signor, Cerri 2013). Temperatūra atšķirīgi ietekmē N₂O emisijas, kas rodas dažādu procesu rezultātā, kas arī var izskaidrot atšķirības dažādu pētījumu rezultātos.

Pētījuma mērķis: veikt CO₂ izplūdes intensitātes (turpmāk tekstā – emisijas) mērījumus ar iekārtu EGM-5 dinamikā pirms augsnes apstrādes un pēc augsnes apstrādes ar mērķi noteikt CO₂ emisiju izmaiņu dinamiku un to ietekmējošus faktoros.

2.5. CO₂ emisiju gāzu mērījumi ar slēgtas statisku un dinamisku (caurplūdes) kameru metodēm

Veicot CO₂ mērījumu salīdzinājumu, ievācot un analizējot gāzu paraugus ar slēgtas statiskās (ievāktie paraugi analizēti laboratorijā ar gāzu hromatogrāfu) un dinamiskās kameras (mērījumi lauka apstākļos ar EGM iekārtu) metodēm, ir secināms, ka visos apstrādes variantos novērojama izteikta sezonāla dinamika – CO₂ emisijas **pieaug no pavasara līdz vasaras vidum**, sasniedzot maksimumu jūnijā–jūlijā, bet rudenī pakāpeniski samazinās. Šī tendence labi korelē ar augsnes temperatūras paaugstināšanos, kas norāda uz temperatūras būtisko ietekmi uz augsnes elpošanas intensitāti. Ar slēgtās kameras statisku metodi uzņemtās vērtības gandrīz visos gadījumos ir augstākas nekā dinamisku caurplūdes kameras mērījumi, tomēr abu datu kopu dinamika ir līdzīga, kas liecina par savstarpēju sakritību emisiju izmaiņu virzienā.

Relatīvās atšķirības starp mērījumu metodēm (slēgtās kameras statiskas metodes uzņemtās vērtības pret dinamiskas caurplūdes kameras mērījumiem)

Tiešās sējas tehnoloģiskajā variantā koriģētās CO₂-C emisiju vērtības **jūnija–jūlija periodā (~290–300 mg C m⁻² h⁻¹) ir par aptuveni 15–30 % augstākas nekā AREI Stende tiešie CO₂ mērījumi (~210–260 mg CO₂ m⁻² h⁻¹).**

Minimālās apstrādes variantā atšķirība starp metodēm ir mazāk izteikta – maksimālajā punktā AREI Stende CO₂ (~370 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) pat nedaudz pārsniedz CO₂-C ar korekciju (~350 mg C m⁻² h⁻¹), kas nozīmē relatīvu atšķirību **aptuveni – 6 % līdz 5 % robežās.**

Aršanas tehnoloģiskajā variantā CO₂-C ar korekciju (līdz ~380 mg C m⁻² h⁻¹) pārsniedz AREI Stende CO₂ (līdz ~315 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) par aptuveni **17–20 %**, kas norāda uz konsekventu korekcijas rezultātu paaugstinājumu salīdzinājumā ar dinamiskas caurplūdes kameras mērījumiem.

Kopumā 2025. gadā ir redzams, ka vislielākās metodiskās atšķirības konstatētas tiešās sējas un aršanas variantos, savukārt minimālajā apstrādē rezultāti ir vislīdzīgākie. Šo faktu pagaidām ir grūti komentēt, jo te var būt vairāki ietekmējoši ārējie faktori- ir jāturpina ievākt datus, fiksējot vismazākās nobīdes no metodikas.

CO₂ emisiju saistība ar augsnes temperatūru

2.4. attēlā redzams, ka augstākās emisijas vērojamas pie augsnes temperatūras 20–22°C (jūnijā–jūlijā), savukārt pie zemākām temperatūrām (8–12°C pavasarī un rudenī) emisijas ir būtiski zemākas. ***Tas apstiprina temperatūras kā dominējoša faktora lomu CO₂ mineralizācijas procesos.***

Emisiju variācijas starp dažādām metodēm iespējams interpretēt, ņemot vērā arī jaunākā pētījuma rezultātus (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880925003378?>) par to, ka **augšes CO₂ emisiju dinamika ir cieši saistīta ar augu biomasas un sakņu sistēmas attīstības izmaiņām**, kas nosaka gan autotrofās, gan heterotrofās elpošanas intensitāti.

Kā parādīts Francioni u.c. (2025) pētījumā, augsnes CO₂ emisiju svārstības starp kultūraugu sēšanas un audzēšanas periodiem būtiski ietekmēja nezāļu veģetācijas klātbūtne, īpaši tiešās sējas augsnes apstrādes (tiešā sēja, NT) variantos. Emisiju pieaugums tika novērots laikā, kad nezāles atradās aktīvās veģetācijas stadijā, kas saistīta ar strauju sakņu sistēmas attīstību un paaugstinātu elpošanas intensitāti

Pat situācijās, kad virszemes biomasas pavasarī bija mazāka nekā vasaras beigās, CO₂ emisijas NT variantos bija salīdzinoši augstākas. Tas norāda, ka izšķiroša nozīme nav tikai biomasas kvantitatīvajam apjomam, bet gan tās **fizioloģiskajai aktivitātei**, proti, jaunās un intensīvi augošās saknes rada lielāku autotrofās respirācijas īpatsvaru, vienlaikus stimulējot arī mikroorganismu aktivitāti rizosfērā

Tādējādi CO₂ emisiju **mainīgumu iespējams skaidrot ar dinamiskām izmaiņām augu attīstības ciklā: pieaugot biomasai un sakņu sistēmas funkcionalitātei, palielinās oglekļa plūsma uz saknēm un mikroorganismiem, kas savukārt pastiprina augsnes elpošanu.** Šis process ir īpaši izteikts NT apstākļos, kur augstāka nezāļu klātbūtne un sakņu blīvums nodrošina lielāku autotrofās respirācijas ieguldījumu kopējā CO₂ izmešu bilancē

Līdz ar to pētījums apstiprina, ka augu biomasas un sakņu sistēmas attīstības stadija ir būtisks faktors CO₂ emisiju interpretācijā, un tās ignorēšana var novest pie nepilnīgas oglekļa bilances novērtēšanas lauksaimniecības ekosistēmās.

Ņemot vērā, ka mūsu gadījumā mērījumi ar statistisku metodi tika veikti, iekļaujot augu un nezāļu biomasu un sakņu sistēmu, bet stacionāra metode tika izmantota, neņemot vērā augu biomasu, radās krasas variācijas datus. Protams, nevar izslēgt metodoloģiskas un gadījuma kļūdas, bet, lai izdarītu secinājumus mērījumi vēl ir jāveic vismaz divus gadus, papildus ir jāizvērtē opcija vērtēt augu un nezāļu virszemes daļu un sakņu biomasu.

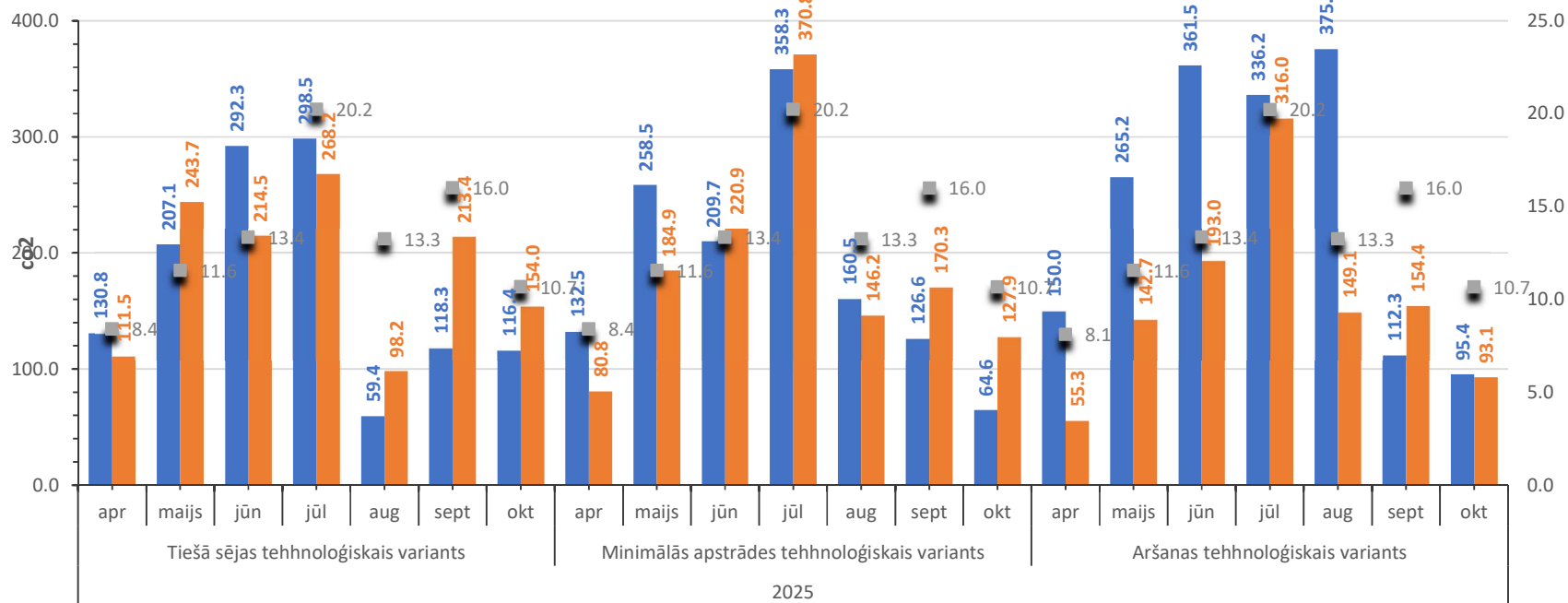
Secinājumi par 2.nodaļu

1. **Meteoroloģiskie apstākļi būtiski ietekmēja mērījumu gaitu un rezultātus.** 2025. gada pavasaris un vasaras sākums (aprīlis–jūlijs) bija ievērojami mitrāks par ilggadīgo normu (nokrišņi daudzviet >200 % no normas), bet maijs, jūnijs un augusts – salīdzinoši vēsi. Pārsātināts augsnes mitrums apgrūtināja sējas un kopšanas darbus, vienlaikus radot labvēlīgus apstākļus N₂O emisiju pīķiem un ietekmējot CO₂ un CH₄ plūsmu dinamiku.
2. **Mērījumu grafiks pielāgots reālajiem darba apstākļiem, saglabājot datu salīdzināmību.** No sākotnējā plāna mērīt emisijas katru dienu pēc apstrādēm pāriets uz regulāriem mērījumiem aptuveni reizi trīs nedēļās visā bezsniega periodā. Tas nodrošina kompromisu starp datu kvalitāti un resursu pieejamību, vienlaikus ļaujot analizēt sezonālo dinamiku vairāku gadu griezumā (2023–2026).
3. **CO₂ emisijas uzrāda izteiktu sezonālo dinamiku ar maksimumu jūnijā–jūlijā.** Abas metodes (statiskā un dinamiskā kamera) parāda līdzīgu tendenci – emisijas pieaug līdz ar augsnes temperatūras kāpumu un samazinās rudenī. Tas apstiprina temperatūru kā dominējošu faktoru augsnes elpošanas procesos, ko papildus modulē mitrums un augu attīstības stadija.
4. **Statiski un dinamiski mērījumi ir kvalitatīvi salīdzināmi, bet rāda sistemātiskas atšķirības.**
 - Tiešās sējas variantā CO₂-C ar korekciju jūnijā–jūlijā ir par ~15–30 % augstāks nekā EGM-5 mērījumi.
 - Minimālās apstrādes variantā atšķirības ir nelielas (–6 līdz +5 %), kas norāda uz labu metožu sakrītību.
 - Aršanā CO₂-C ar korekciju pārsniedz EGM-5 datus par ~17–20 %, kas liecina par tendenci statistiskajai metodei uzrādīt augstāku emisiju intensitāti dziļāk apstrādātā augsnē.

Metožu relatīvās atšķirības pagaidām skaidrojamas gan ar metodikas īpatnībām, gan ar augu/nezāļu biomasas atšķirīgu iekļaušanu mērījumos; pilnvērtīgi secinājumi būs iespējami pēc vairāku gadu datu analīzes.
5. **Augu un nezāļu biomasas ir būtisks CO₂ emisiju mainīguma faktors.** Statiskā kamera ietver gan kultūraugu, gan nezāļu sakņu un virszemes biomasu, savukārt daļa dinamisko mērījumu ir veikta uz plikas augsnes. Tas, balstoties uz Francioni u.c. (2025) un citiem pētījumiem, var izskaidrot intensīvāku CO₂ emisiju tiešās sējas variantos, kur nezāļu segums un sakņu blīvums ir lielāks. Turpmākajos gados nepieciešams mērījumus papildināt ar augu un nezāļu biomasas un sakņu sistēmas kvantitatīvu novērtējumu.

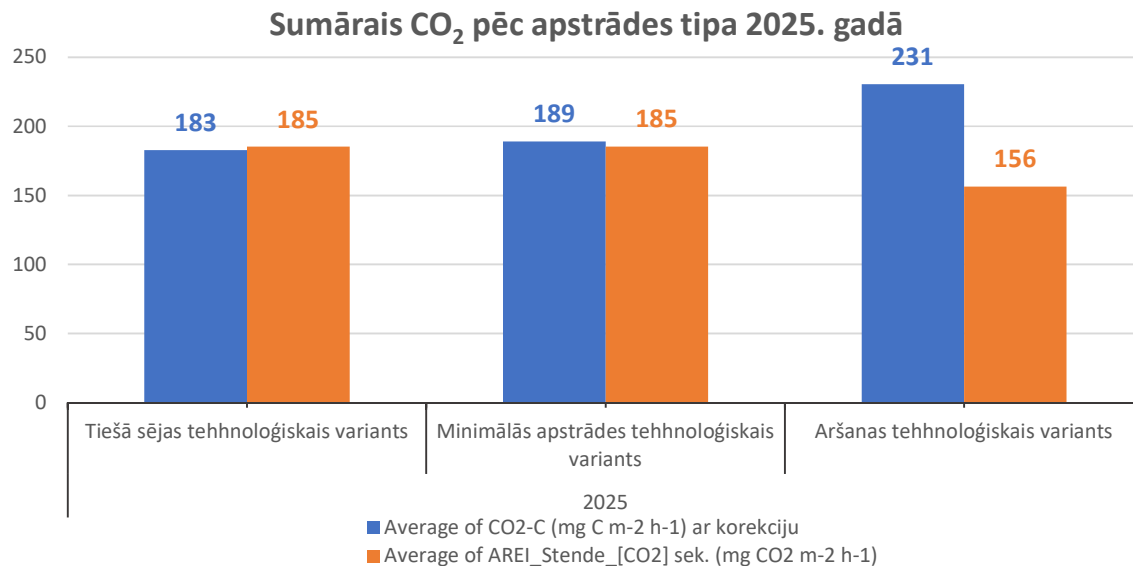
6. **N₂O emisijas uzrāda izteiktu starpgadu variabilitāti ar pavasara pīķiem mitrā gadā.** 2024. gadā N₂O emisijas lielākoties bija zemas ar nelieliem pīķiem vasaras beigās, savukārt 2025. gada īpaši mitrais pavasaris izraisīja strauju emisiju palielināšanos aprīlī–maijā (līdz ~0.9 mg N m⁻² h⁻¹). Tas apstiprina literatūrā aprakstīto tendenci, ka augsts augsnes mitrums un “freeze–thaw” efekti pavasarī būtiski pastiprina denitrifikāciju un N₂O izdalīšanos.
7. **CH₄ plūsmas rāda, ka lauks galvenokārt ir metāna patērētājs ar īslaicīgiem emisiju pīķiem.** Vairumā mēnešu CH₄ plūsmas ir tuvu nullei vai negatīvas, kas norāda uz augsnes lomu kā CH₄ oksidētājam. Pozitīvi emisiju pīķi (piemēram, 2025. gada septembrī) saistāmi ar ilgstošu lietus periodu un augstu mitrumu, kas veicina anaerobu mikrovieta un metanogēno procesu aktivizēšanos.
8. **Pirmie rezultāti apstiprina, ka SEG emisijas ir ļoti jutīgas pret meteoapstākļiem un apstrādes sistēmu.** Lielākās atšķirības starp tehnoloģijām un mērījumu metodēm novērotas tiešās sējas un aršanas variantos, savukārt minimālās apstrādes sistēma uzrāda salīdzinoši stabilākus un savstarpēji salīdzināmākus rezultātus.
9. **Nepieciešama vairāku gadu datu turpināšana un metodikas precizēšana.** Ņemot vērā augsto sezonālo un starpgadu variabilitāti, kā arī atšķirīgos emisiju reakcijas mehānismus dažādās apstrādes sistēmās, secinājumi par ilgtermiņa tendencēm var balstīties tikai uz pilnu četru gadu datu kopumu (2023–2026). Turpmākajos gados mērījumi jāpapildina ar augu un nezāļu biomasas, sakņu sistēmas un augsnes īpašību (organiskā C, N, pH) detalizētu monitoringu, lai SEG emisiju novērtējums būtu pilnīgāks un interpretācija – precīzāka.

Vidējie CO2 dati pēc apstrādes tipa un veida 2025



■ Vidējais CO2-C (mg C m-2 h-1) ar korekciju
 ■ Vidējais AREI_Stende_[CO2] sek. (mg CO2 m-2 h-1)
 ■ Vidējā augsnes temperatūra, vid C

2.4. attēls. CO2 emisiju gāzu mērījumi ar slēgtas statisku un dinamisku (caurplūdes; AREI Stende) kameru metodēm 2024. gada sezonas garumā

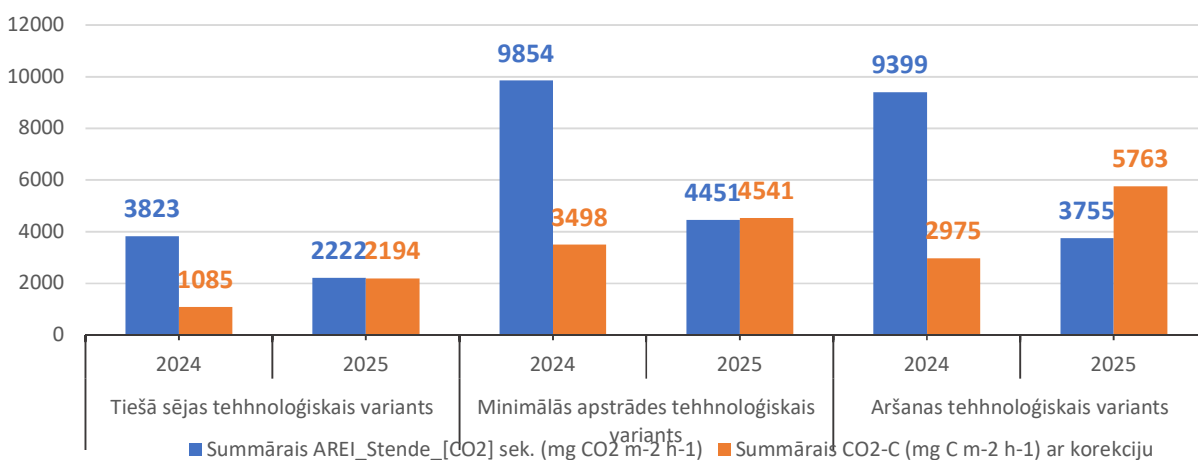


2.5. att. Ar statistiku slēgtās kameras metodi (Average of CO₂) un EGM-5 (Average of AREI_Stende) iekārtu noteiktā CO₂ emisiju intensitāte 2025. gada sezonā.

2.5. attēlā attēlots vidējais 2025. gada sezonas augsnes CO₂ emisiju izdalīšanās intensitāte, salīdzinot trīs augsnes apstrādes tehnoloģiskos variantus – tiešo sēju, minimālo apstrādi un aršanu – divās mērījuma metodēs: Ar statistiku slēgtās kameras metodi **CO₂-C ar korekciju** un **AREI Stende ar EGM-5 CO₂ mērījumi**. Tiešās sējas variantā CO₂ emisiju vērtības abās metodēs ir praktiski identiskas (183 pret 185 mg CO₂ m⁻² h⁻¹), bet, ir jāņem vērā fakts, ka mēnešu griezumā nepastāv konstantas atšķirības starp divām metodēm. Līdzīga situācija vērojama arī minimālās apstrādes variantā, kur atšķirība starp koriģēto CO₂-C (189 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) un AREI Stende datiem (185 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) ir neliela, saglabājot līdzīgu emisiju līmeni abās pieejās. Savukārt aršanas tehnoloģiskajā variantā novērojama būtiski lielāka dispersija starp abiem rādītājiem: CO₂-C ar korekciju sasniedz 231 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, kamēr AREI Stende dati uzrāda tikai 156 mg CO₂ m⁻² h⁻¹.

2023. gada pētījumā (<https://www.mdpi.com/2073-4395/13/12/3084>) tika konstatēts, ka vidējā CO₂ emisiju izdalīšanās intensitāte no augsnes zem NT (tiešā sēja) bija par ≈ 51% zemāka nekā CT (artaī variants), vidēji no 2017.–2022. gadam. CO₂ emisijas tika mērītas uz plikas augsnes, kas nesakrīt ar mūsu gadījumu, kad, mērot ar EMS iekārtu artajā variantā vidējā gāzu izdalīšanās intensitāte CT (artaī variantā) ir zemāka par NT (tiešās sējas variantu) par 18%. Savukārt statistiskās kameras variantā ir otrāda situācija CT variantā CO₂ emisiju izdalīšanās intensitāte ir par 26% augstāka. Pētnieki no Ķīnas (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429023000254?utm_source=chatgpt.com#sc0085) secina, ka NT variantā kviešu laukā ir par 9% augstāki CO₂ izmešu intensitāte, nekā CT variantā. Savukārt, kukurūzas laukā ir otrāda situācija, kur par 29% lielākas emisijas ir NT laukā.

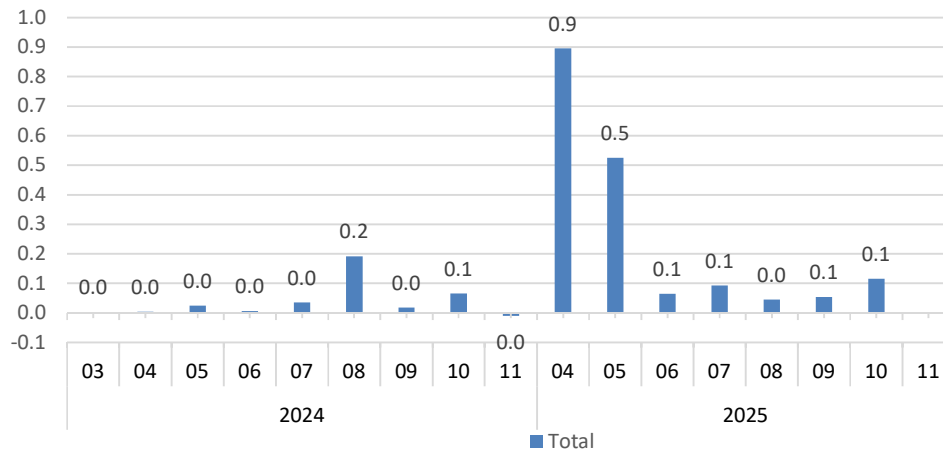
Summārais CO₂, pēc apstrādes tipa un apstrādes veida 2024-2025



2.6. att. Ar slēgtās kameras metodi noteiktā C₂O emisija 2024. gada sezonā.

Kopumā Stendes dati parāda, ka 2025. gadā CO₂ emisijas bija ievērojami zemākas nekā 2024. gadā visos apstrādes variantos. Vislielākais relatīvais samazinājums konstatēts aršanas tehnoloģijā, savukārt mazākais – tiešās sējas variantā. Tas norāda uz izteiktu starpgadu variabilitāti un iespējamu meteoroloģisko vai agrotehnisko faktoru ietekmi uz augsnes CO₂ emisijām.

Ar slēgtas kameras metodi uzņemtie dati liecina, ka 2025. gadā CO₂-C emisijas bija augstākas nekā 2024. gadā visos apstrādes variantos. Visizteiktākais relatīvais pieaugums konstatēts tiešās sējas un aršanas tehnoloģijās, bet mazākais – minimālās apstrādes variantā.



2.7. att. Ar slēgtās kameras metodi noteiktā N₂O emisija 2025. gada sezonā.

N₂O-N emisiju intensitātes dinamika pa mēnešiem 2024–2025

2.7. attēlā parādīts vidējais N₂O-N emisiju izdalīšanās intensitātes līmenis (mg N m⁻² h⁻¹), apkopots pa mēnešiem divu gadu periodā.

2024. gads

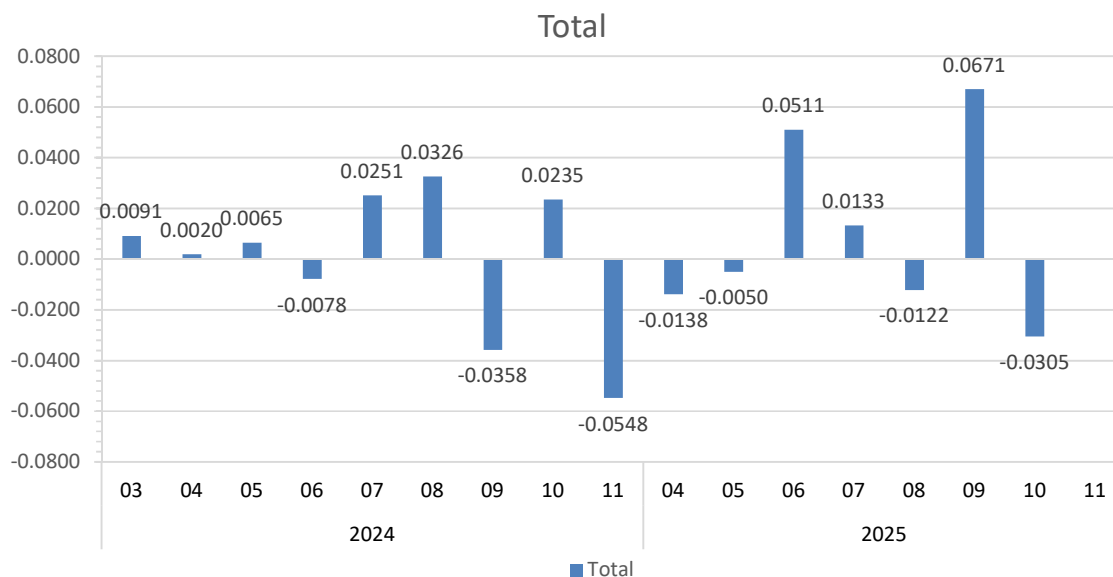
- Lielākajā daļā mēnešu emisijas ir ļoti zemas vai tuvu nullei.
- Izteiktāks pieaugums novērojams:
 - augustā (~0,2 mg N m⁻² h⁻¹),
 - oktobrī (~0,1 mg N m⁻² h⁻¹).
- Pārējos mēnešos (marts–novembris) vērtības svārstās ap 0,0–0,05 mg N m⁻² h⁻¹, kas norāda uz ļoti zemu N₂O emisiju fonu.

2025. gads

- Salīdzinājumā ar 2024. gadu novērojams izteiktāks emisiju pieaugums pavasarī.
- Aprīlī sasniegts būtisks maksimums – ~0,9 mg N m⁻² h⁻¹.
- Maijā saglabājas paaugstināts līmenis – ~0,5 mg N m⁻² h⁻¹.
- Vasaras un rudens mēnešos emisijas samazinās, tomēr vairākos mēnešos (jūnijs, jūlijs, septembris, oktobris) tās joprojām pārsniedz 2024. gada vērtības (~0,1 mg N m⁻² h⁻¹).

Kopsavilkums

Dati liecina par izteiktu starpgadu variabilitāti N₂O-N emisijās. 2024. gadā emisijas lielākoties bija ļoti zemas ar nelieliem pīķiem vasaras beigās, savukārt 2025. gadā novērojams būtisks emisiju pieaugums pavasara periodā, īpaši aprīlī un maijā. Tas norāda uz iespējamu meteoroloģisko apstākļu, augsnes mitruma, temperatūras vai agrotehnisko pasākumu (piemēram, mēslošanas) ietekmi uz denitrifikācijas procesiem un N₂O emisiju intensitāti.



2.8. att. Ar slēgtās kameras metodi noteiktā CH₄ emisija 2025. gada sezonā

Attēlā redzamās CH₄ emisijas (mg C m⁻² h⁻¹) (vai neto plūsmas) no lauka sistēmas liecina par dinamisku un svārstīgu metāna apmaiņu, kas raksturīga tipiskām augsnēm mērenajā klimatā. Lielākajā daļā mēnešu CH₄ plūsma ir tuva nullei vai negatīva, kas norāda, ka augsne pārsvarā darbojas kā metāna patērētājs (CH₄ oksidētājs), nevis emisiju avots.

Negatīvās CH₄ vērtības, norāda uz metāna patēriņa pastiprināšanos.

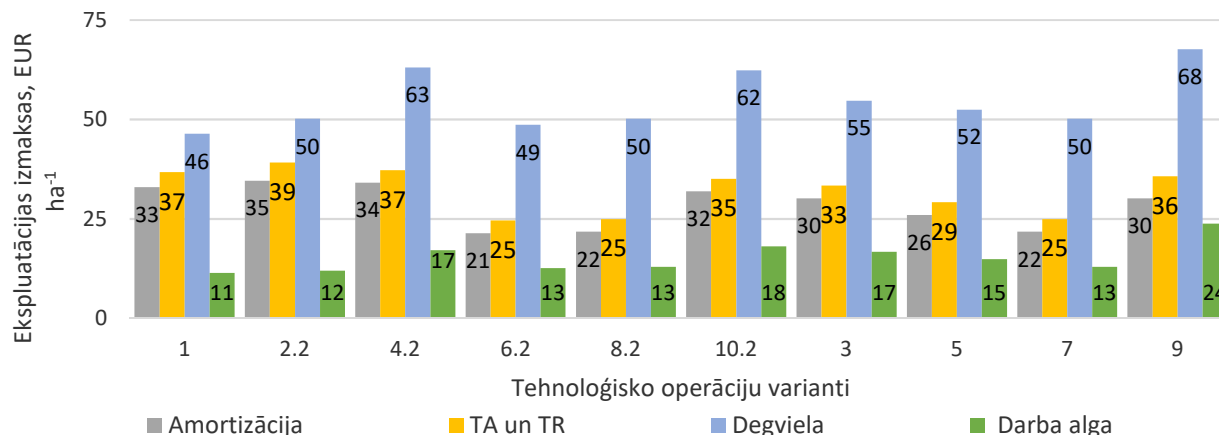
Īpaši izceļami ir 2024. gada novembris (-0.0548) un 2024. gada septembris (-0.0358), kas atspoguļo intensīvāko CH₄ uzņemšanu visa perioda laikā.

Pozitīvas CH₄ plūsmas vērtības novērotas vairākos mēnešos. Šie emisiju pīķi visticamāk ir saistīti: pārmērīgu augsnes mitrumu (pēc lietus periodiem), īslaicīgu anaerobo mikroviidi, organiskās vielas noārdīšanos un metanogēno mikroorganismu aktivizēšanos, paaugstinātu temperatūru vasaras mēnešos, kas veicina mikrobu metabolismu.

Īpaši nozīmīgs ir 2025. gada septembris (+0.0671), kas ir augstākais metāna izdalījums attēlotajā periodā. Visticamāk, izdalīšanos ietekmēja ilgais lietu periods un lielais nokrišņu daudzums, kas sekmēja anaerobajiem apstākļiem augsnē.

3. SEG emisiju un labības ražošanas izmaksu aprēķināšanai

Tehnoloģisko operāciju izmaksu struktūras analīze ir būtiska, lai novērtētu lauksaimniecības tehnikas efektivitāti, resursu patēriņu un potenciālu optimizācijai. Šajā analīzē salīdzināti desmit tehnoloģiskie varianti [1, 2.2, 4.2, 6.2, 8.2, 10.2, 3, 5, 7, 9 kas atbilst, attiecīgā secībā, izmēģinājuma variantiem ar tiešo sēju (1, 2), lobīšanu ar herbicīdu izmantošanu (4, 5), aršanu ar herbicīdu izmantošanu (8, 7), lobīšanu bez herbicīdu izmantošanas (6, 3) un aršanu bez herbicīdu izmantošanas vai ar samazinātu devu (10, 9)], balstoties uz ekspluatācijas izmaksām uz hektāru (EUR ha⁻¹), sadalot tās četrās komponentēs: amortizācija; tehniskā apkope un remonts (TA/TR); degviela; darba alga, skat 3.1. attēlu



3.1.att. Labības ražošanas tehnikas izmaksu struktūra

Procenti aprēķināti attiecībā pret kopējo ekspluatācijas izmaksu summu katram variantam. Degviela ir dominējošais izmaksu komponents visos variantos, veidojot no 36% līdz pat 45% no kopējām ekspluatācijas izmaksām. Tas norāda uz augstu enerģijas intensitāti mehāniskajās operācijās. Amortizācijas un TA/TR izmaksas kopā veido ap 45–50% no ekspluatācijas izmaksām, kas atspoguļo tehnikas kapitālieguldījumu un uzturēšanas slodzi. Varianti ar tiešo sēju (2.2) un minimālo apstrādi (6.2, 8.2) uzrāda zemākas kopējās izmaksas, bet augstāku degvielas īpatsvaru, kas raksturīgs intensīvai virsmas apstrādei bez dziļas augsnes iejaukšanās.

Degviela ir dominējošais izmaksu komponents visos variantos, veidojot no 36% līdz pat 45% no kopējām ekspluatācijas izmaksām. Tas norāda uz augstu enerģijas intensitāti mehāniskajās operācijās. Amortizācijas un TA/TR izmaksas kopā veido ap 45–50% no ekspluatācijas izmaksām, kas atspoguļo tehnikas kapitālieguldījumu un uzturēšanas slodzi. Darba algas īpatsvars ir viszemākais, tomēr variantā 9 tas sasniedz 15.2%, kas var liecināt par augstāku darba intensitāti vai zemāku mehanizācijas līmeni. Varianti ar tiešo sēju (2.2) un minimālo apstrādi (6.2, 8.2) uzrāda zemākas kopējās izmaksas, bet augstāku degvielas īpatsvaru, kas raksturīgs intensīvai virsmas apstrādei bez dziļas augsnes iejaukšanās.

Kopsavilkums

Degvielas patēriņš ir galvenais ekspluatācijas izmaksu virzītājs, un tā optimizācija ir būtiska izmaksu samazināšanai. Tehnikas izvēle un amortizācijas slodze būtiski ietekmē kopējo izmaksu struktūru, īpaši intensīvās apstrādes variantos.

Darba algas īpatsvara pieaugums var norādīt uz nepieciešamību pēc labākas darba organizācijas vai mehānizācijas uzlabošanas.

Tehnoloģiju salīdzinājums pēc izmaksu komponentēm sniedz pamatu racionālai tehnikas izvēlei un resursu plānošanai ilgtspējīgā graudkopībā.

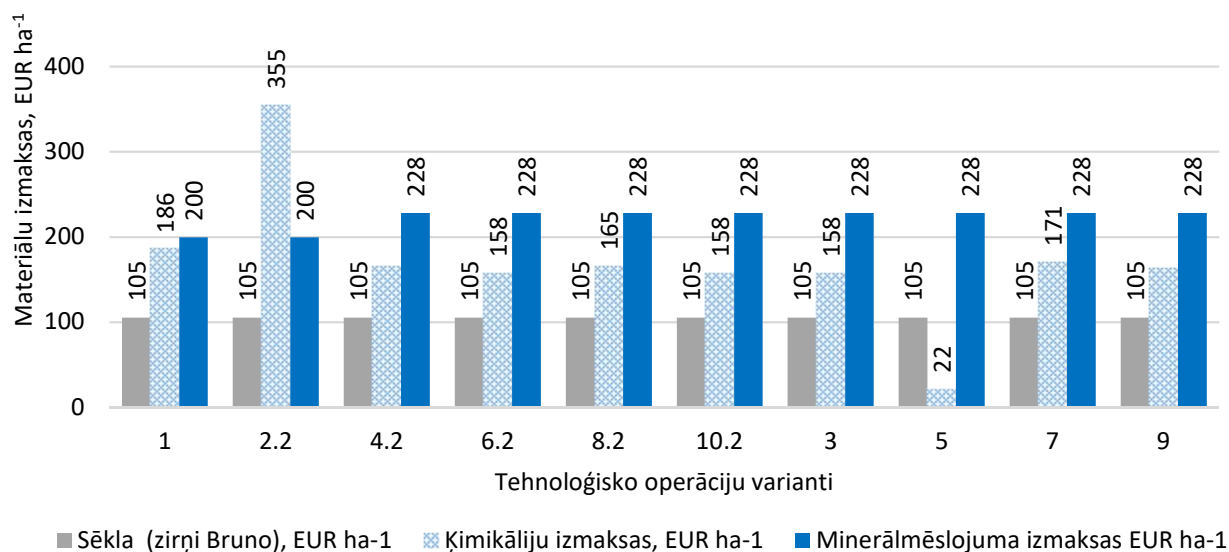
Aprēķina rezultātu analīze, balstīta uz 4.2. attēlā redzamo labības ražošanas materiālu izmaksu struktūru. Analīze ietver sēklu, minerālmēslojuma un ķīmikāliju izmaksu salīdzinājumu dažādos tehnoloģisko operāciju variantos.

Materiālu izmaksas ir būtisks komponents graudkopības tehnoloģiju izvērtējumā, jo tās tieši ietekmē ražošanas rentabilitāti un ekoloģisko slodzi. Šajā analīzē salīdzināti desmit tehnoloģiskie varianti (1, 2.2, 4.2, 6.2, 8.2, 10.2, 3, 5, 7, 9), balstoties uz trim galvenajiem materiālu komponentiem:

Sēklas (zirņi Bruno) — 105 EUR/ha visos variantos

Minerālmēslojums — 200–228 EUR/ha

Ķīmikālijas (AAL) — būtiski svārstās no 22 līdz 355 EUR/ha



3.2.att. Labības ražošanas materiālu izmaksu struktūra

Sēklu izmaksas ir konstantas visos variantos (105 EUR ha⁻¹), kas norāda uz vienotu izsējas normu un šķirni (zirņi Bruno). **Minerālmēslojuma izmaksas** ir augstākas variantos ar aršanu un minimālo apstrādi (228 EUR ha⁻¹), salīdzinot ar tiešās sējas variantiem (200 EUR ha⁻¹).

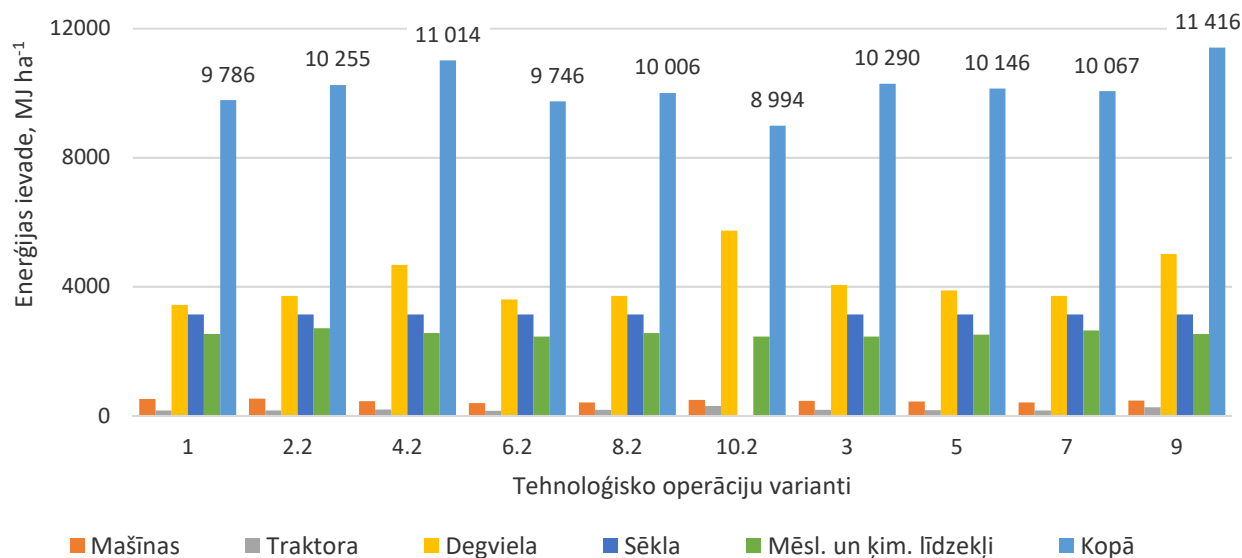
Ķīmikāliju izmaksas būtiski svārstās, īpaši izceļas variants 2.2 (tiešā sēja), kur tās sasniedz 355 EUR ha⁻¹ jeb 53.8% no kopējām materiālu izmaksām. Tas norāda uz intensīvu herbicīdu un fungicīdu pielietojumu, kas raksturīgs tiešās sējas tehnoloģijai bez mehāniskās augsnes apstrādes.

Zemākās kopējās izmaksas novērotas variantā 5 (355 EUR ha⁻¹), kur ķīmikāliju izmaksas ir tikai 22 EUR ha⁻¹, jo apstrādi ar herbicīdiem aizstāja ar ecēšanu.

AAL izmaksu svārstības ir galvenais faktors, kas ietekmē kopējo materiālu izmaksu struktūru. Intensīvās tehnoloģijas (piemēram, tiešā sēja) prasa augstāku AAL slodzi. **Minerālmēslojuma izmaksas ir stabilas. Zemās AAL izmaksas variantā 5** norāda uz potenciālu agroekoloģiskai vai bioloģiskai pieejai, kas būtiski samazina ietekmi uz vidi no AAL lietojuma.

Lai izvērtētu tehnoloģiju ilgtspēju tiek veikta **materiālu izmaksu struktūras analīze**, lai izvērtētu tehnoloģiju ilgtspēju, jo augstas AAL izmaksas korelē ar potenciāli augstāku ekoloģisko slodzi un CO₂ emisijām.

Enerģijas patēriņš lauksaimniecības ražošanā ir būtisks rādītājs, kas ietekmē gan ražošanas izmaksas, gan vides ilgtspēju. Šajā analizē salīdzināti desmit tehnoloģiskie varianti (1, 2.2, 4.2, 6.2, 8.2, 10.2, 3, 5, 7, 9), balstoties uz sešām enerģijas ievades kategorijām: mašīnas; traktors; degviela; sēkla; mēslojums un ķimikālijas un kopējā enerģijas ievade (MJ ha⁻¹), skat 3.3. attēlu.



3.3.att. Labības ražošanas enerģijas ievade

Degviela ir dominējošais enerģijas avots visos variantos, īpaši izceļas variants 9, kur kopējā ievade pārsniedz 11 416 MJ ha⁻¹. Mēslojuma un ķimikāliju enerģijas slodze ir visaugstākā variantā 2.2 (tiešā sēja), kas korelē ar augstām AAL izmaksām un intensīvu ķīmisko ievadu pielietojumu. Sēklas enerģijas ievade ir līdzīga visos variantos, jo tiek izmantota zirņu Bruno sēkla ar enerģētisko slodzi ~3600 MJ ha⁻¹.

Mašīnu un traktoru enerģijas ieguldījums ir augsts visos variantos ar intensīvu mehānisko apstrādi (1, 4.2, 3, 5, 9), kas atspoguļo kapitālieguldījumu un ekspluatācijas intensitāti.

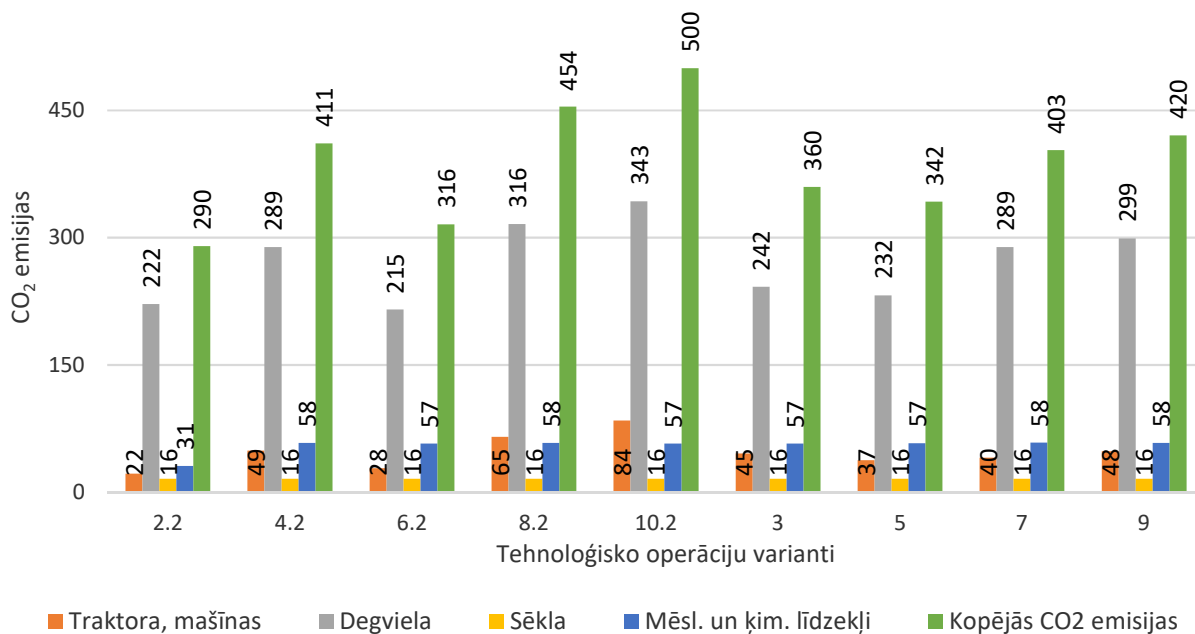
Kopsavilkums

Enerģijas ievades struktūra būtiski atšķiras starp tehnoloģiskajiem variantiem, atkarībā no izmantotajiem materiāliem un mehāniskās apstrādes intensitātes. Tiešās sējas variants (2.2) uzrāda augstāko mēslojuma un ķimikāliju enerģijas slodzi, kas norāda uz augstu agroķīmisko intensitāti, neskatoties uz zemāku mehānisko apstrādi. Variants 9 uzrāda visaugstāko kopējo enerģijas ievadi, kas ir saistīts ar kombinētu intensīvu mehānisko un ķīmisko slodzi. Enerģijas efektivitātes

izvērtējams ir būtisks, lai modelētu CO₂ emisijas un optimizētu tehnoloģiju izvēli ilgtspējīgai graudkopībai.

CO₂ emisiju kvantitatīva analīze ir būtiska, lai novērtētu lauksaimniecības tehnoloģiju klimatisko ietekmi. Šajā analīzē salīdzināti deviņi tehnoloģiskie varianti (2.2, 4.2, 6.2, 8.2, 10.2, 3, 5, 7, 9), sadalot emisijas pa četriem galvenajiem avotiem: traktori un mašīnas; degviela; sēkla; mēsļi un ķīmiskie līdzekļi.

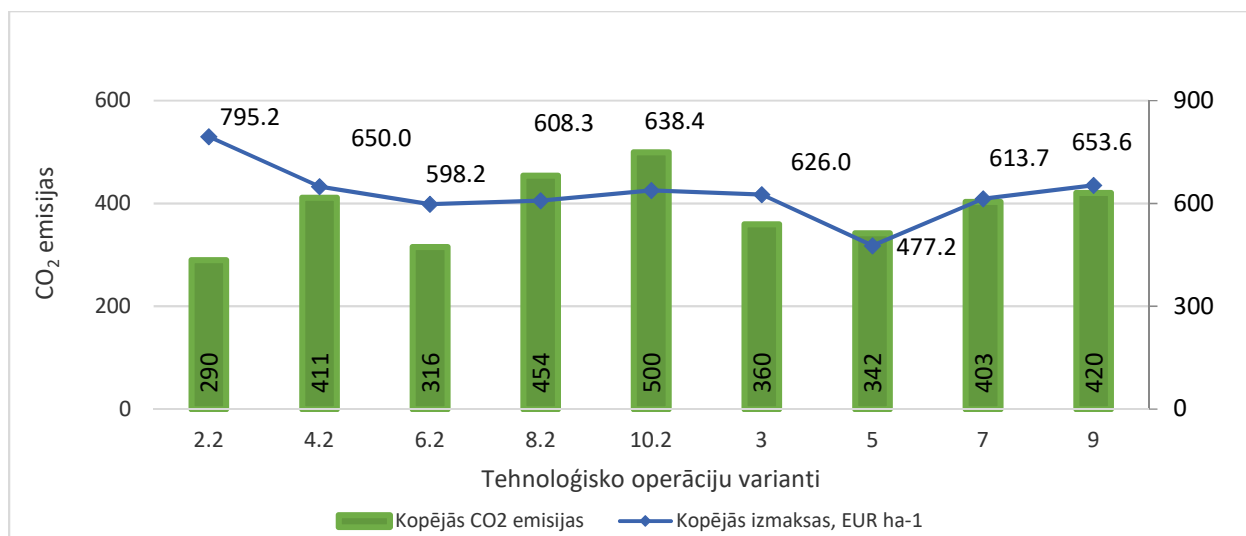
CO₂ emisijas, izteiktas kg CO₂ ekvivalents uz hektāru (kg CO₂eq ha⁻¹), parādītas 4. attēlā.



4.4.att. Labības ražošanas CO₂ emisijas

CO₂ emisijas tehnoloģiskajiem variantiem aprēķinātas, reizinot katra komponenta (traktors, mašīna; degviela, sēkla, mēsļi un ķīm. līdzekļi) enerģijas ievadi ar atbilstošu koeficientu, pamatojoties uz Agribalyse (ADEME), Ecoinvent, IPCC vadlīnijām. Kā redzams, lielākās emisijas ir variantiem 10.2, 8.2, 9 – aršana, kas izskaidrojams ar intensīvu mehānisko apstrādi un lielāku degvielas patēriņu.

4.5. attēlā parādīti tehnoloģisko variantu ekonomiskie un ekoloģiskie rezultāti – izmaksas EUR ha⁻¹ un emisijas kg CO₂eq ha⁻¹.



4.5.att. Labības ražošanas CO₂ emisijas un izmaksas

Tehnoloģiju izvērtējumā būtiska ir ne tikai ekonomiskā efektivitāte, bet arī vides ilgtspēja. Šajā analīzē salīdzināti deviņi tehnoloģiskie varianti (2.2, 4.2, 6.2, 8.2, 10.2, 3, 5, 7, 9), balstoties uz diviem galvenajiem rādītājiem: **kopējās CO₂ emisijas** (kg CO₂eq ha⁻¹) un **kopējās ražošanas izmaksas** (EUR ha⁻¹).

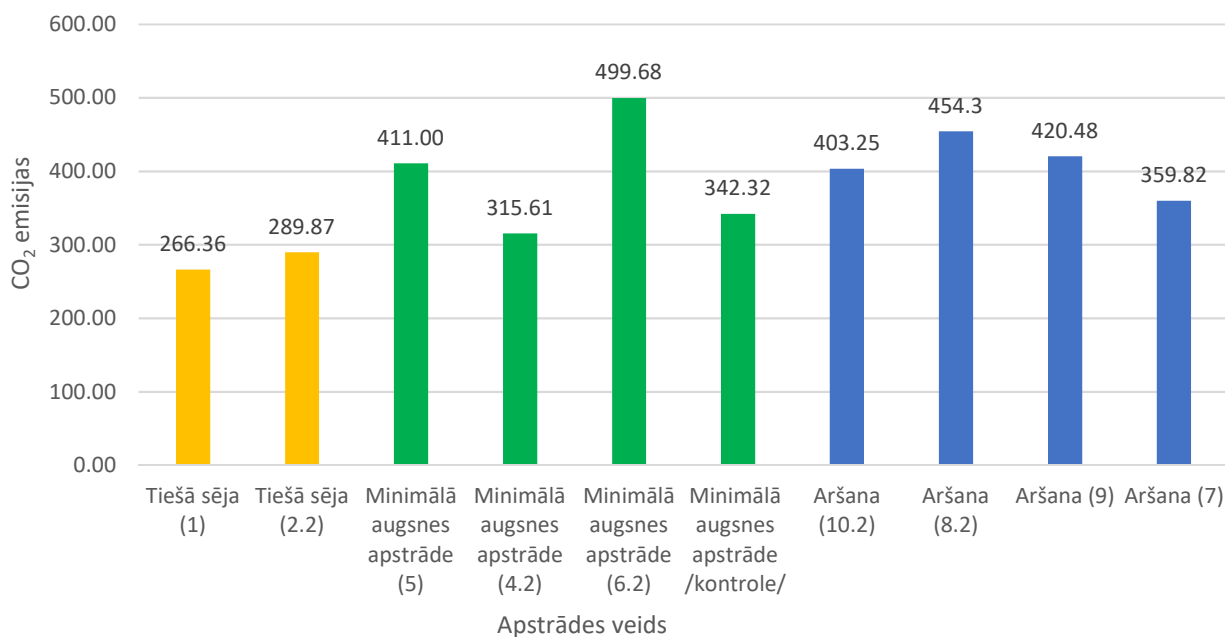
Viszemākā emisiju intensitāte novērota tiešās sējas variantā (2.2), Tas norāda uz augstu vides efektivitāti, neskatoties uz augstākajām izmaksām. **Visaugstākā emisiju intensitāte** ir variantā 10.2 - aršana, jo intensīva mehāniskā apstrāde palielina gan emisijas, gan relatīvo slodzi uz izmaksām.

Variants 5 - minimālā apstrāde - uzrāda zemākās kopējās izmaksas (477.2 EUR ha⁻¹), un pieņemamu emisiju intensitāti. **Vidēji efektīvi** ir arī **varianti 6.2 un 3**, kur saglabājas līdzsvars starp izmaksām un emisijām.

Kopsavilkums

Tiešās sējas tehnoloģija (2.2) ir visefektīvākā no vides viedokļa, nodrošinot zemāko CO₂ emisiju intensitāti. **Aršanas tehnoloģijas (10.2, 8.2)** uzrāda augstāko emisiju slodzi, kas saistīta ar intensīvu degvielas un tehnikas izmantošanu. **Emisiju intensitātes rādītājs** kg CO₂eq ha⁻¹ ir noderīgs instruments tehnoloģiju novērtēšanai, jo tas parāda ekoloģisko dimensiju .

Labības ražošanas vidējās CO₂ emisijas pa apstrādes veidiem parādītas 4.6 attēlā.



4.6.att. Labības ražošanas vidējās CO₂ emisijas pa apstrādes veidiem

Viszemākā emisiju intensitāte novērota tiešās sējas variantā (1, 2.2), Tas norāda uz augstu vides efektivitāti, neskatoties uz augstākām izmaksām.

Vidēji visaugstākā emisiju intensitāte ir aršanai (varianti 8.2, 10.2, 9, 7). Tas apstiprina, ka intensīva mehāniskā apstrāde palielina gan emisijas, gan relatīvo slodzi uz izmaksām.

Minimālai apstrādei (varianti 5, 4.2, 6.2, kontrole) vidējās emisijas ir līdzīgas kā aršanai, taču izmaksas būtiski mazākas.

Vidēji efektīvi varianti ir 6.2 un 3, kur saglabājas līdzsvars starp izmaksām un emisijām. Taču jāņem vērā arī nezāļu ierobežošanas efektivitāte un ražas kvalitāte.

Secinājumi par 3. nodaļu

- Tehnoloģijas izvēlei ir izšķiroša nozīme gan izmaksu, gan SEG emisiju līmenim.** LBTU izstrādātā metodika, izmantojot AREI Stendes eksperimenta datus, parādīja, ka tiešā sēja, minimālā apstrāde un aršana būtiski atšķiras pēc ekspluatācijas izmaksām, enerģijas patēriņa un CO₂ ekvivalenta emisijām uz hektāru.
- Degviela ir galvenais ekspluatācijas izmaksu un enerģijas ievades virzītājs.** Degvielas daļa ekspluatācijas izmaksās sasniedz 36–45 %, un tā nosaka arī ievērojamu daļu CO₂ emisiju. Tādēļ degvielas patēriņa samazināšana (mazāk braucienus, optimizēti agregāti, jaudai atbilstoši traktori) ir būtiskākais tehniskais instruments gan izmaksu, gan emisiju mazināšanai.
- Tiešā sēja (2.2) – zemākās emisijas, bet augstākās materiālu izmaksas.** Tiešās sējas variantos vidējā CO₂ emisiju intensitāte ir viszemākā, jo samazināts mehānisko operāciju un degvielas apjoms. Tajā pašā laikā būtiski pieaug ķīmikāliju (AAL) izmaksas un to

- enerģētiskā slodze, kas atspoguļojas augstās materiālu izmaksās uz hektāru. Tādēļ tiešā sēja ir vides ziņā labvēlīga, bet ekonomiski jutīga pret AAL cenu un lietošanas stratēģiju.
4. **Aršana (8.2, 10.2, 9, 7) – visaugstākās CO₂ emisijas un relatīvi augstas izmaksas.** Aršanas tehnoloģija rada vislielāko mehāniskās apstrādes intensitāti, augstāku degvielas patēriņu un lielāku tehnikas amortizācijas slodzi, kas kopumā nodrošina visaugstāko CO₂ ekvivalenta emisiju līmeni. Šie varianti ilgtermiņā ir vismazāk konkurētspējīgi no klimata neitralitātes viedokļa.
 5. **Minimālā apstrāde – kompromiss starp izmaksām un emisijām.** Minimālās apstrādes varianti (4.2, 6.2, 5) nodrošina būtiski zemākas ekspluatācijas izmaksas nekā aršana, vienlaikus saglabājot pieņemamu CO₂ emisiju līmeni. Variants 5 uzrāda zemākās kopējās izmaksas (≈ 477 EUR ha⁻¹), neradot būtiski augstāku emisiju slodzi, kas padara minimālo apstrādi par racionālu kompromisu starp ekonomisko efektivitāti un vides ilgtspēju.
 6. **AAL izmaksas ir galvenais materiālu izmaksu svārstību faktors.** Sēklu un minerālmēslojuma izmaksas ir relatīvi stabilas un prognozējamas, savukārt AAL izmaksas būtiski atšķiras starp variantiem (no 22 līdz 355 EUR ha⁻¹). Tieši AAL izmaksas nosaka materiālu izmaksu struktūras jutību un ir cieši saistītas ar emisijām no ķīmisko ievadu ražošanas un izmantošanas.
 7. **Metodika ļauj integrēti vērtēt ekonomiku, enerģiju un emisijas.** LBTU tehnoloģiju analīzes pieeja, balstīta uz Excel rīkiem un LCA moduļiem, ļauj vienā sistēmā novērtēt ekspluatācijas izmaksas, materiālu slodzi, enerģijas ievadi un CO₂ ekvivalenta emisijas. Tas nodrošina praktisku instrumentu gan saimniecību lēmumu pieņemšanai, gan politikas plānošanai (piemēram, platību maksājumu, investīciju atbalsta un klimata mērķu sasaistei).
 8. **Tehnoloģiju izvērtējums jāpapildina ar ražas un SEG intensitāti uz produkcijas vienību.** Lai pilnībā novērtētu tehnoloģiju ilgtspēju, nepieciešams analizēt ne tikai rādītājus uz hektāru, bet arī izmaksas un CO₂ ekv. uz tonnu saražotās ražas. Tas ļautu identificēt tehnoloģijas, kas vienlaikus nodrošina konkurētspējīgu pašizmaksu un zemu SEG intensitāti uz produkcijas vienību.
 9. **Praktiskais secinājums saimniecībām.**
 - ja prioritāte ir **zemas emisijas**, priekšroka dodama tiešajai sējai, paralēli optimizējot AAL lietošanu;
 - ja svarīgs ir **izmaksu minimums**, bet ar pieņemamu emisiju līmeni, piemērotākā ir minimālās apstrādes sistēma;
 - aršana būtu saglabājama tikai īpašos agroekoloģiskos apstākļos vai pārejas periodos, jo tā ir vismazāk labvēlīga klimata mērķu sasniegšanai.

Kopumā pētījums apliecina, ka SEG emisiju un izmaksu aprēķins, izmantojot integrētu tehnoloģiju analīzes metodiku, ir efektīvs instruments ilgtspējīgas graudkopības plānošanai un tehnoloģisko lēmumu pamatotai izvēlei.

Izmantotā literatūra

- Davidson, E. A., & Swank, W. T. (1986). Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. *Applied and Environmental Microbiology*, 52(6), 1287–1292. <https://doi.org/10.1128/aem.52.6.1287-1292.1986>
- Baggs, E. M., Rees, R. M., Smith, K. A., & Vinten, A. J. A. (2000). Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. *Soil use and management*, 16(2), 82-87.
- Brandsæter, L. O., Mangerud, K., Helgheim, M., & Berge, T. W. (2017). Control of perennial weeds in spring cereals through stubble cultivation and mouldboard ploughing during autumn or spring. *Crop Protection*, 98, 16-23.
- Jabro, J. D., Sainju, U., Stevens, W. B., & Evans, R. G. (2008). Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1478–1484. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.012>
- José Giacomini, S., Pozzi Jantalia, C., Aita, C., Sacramento Urquiaga, S., & José Rodrigues Alves, B. (2006). Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. *Pesq. Agropec. Bras*, 11, 1653–1661.
- Lai, T. V. (2016). *The influence of temperature on emissions of nitrous oxide and dinitrogen from soils Thang Viet Lai. September.*
- Lai, T. V., Farquharson, R., & Denton, M. D. (2019). High soil temperatures alter the rates of nitrification, denitrification and associated N₂O emissions. *Journal of Soils and Sediments*, 19(5), 2176–2189. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-02238-7>
- Mayerová, M., Madaras, M., & Soukup, J. (2018). Effect of chemical weed control on crop yields in different crop rotations in a long-term field trial. *Crop Protection*, 114, 215-222.
- Signor, D., & Cerri, C. E. P. (2013). Emissões de óxido nitroso em solos agrícolas: Uma revisão. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 43(3), 322–338. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>
- Song, Y., Cheng, X., Song, C., Li, M., Gao, S., Liu, Z., Gao, J., & Wang, X. (2022). Soil CO₂ and N₂O emissions and microbial abundances altered by temperature rise and nitrogen addition in active-layer soils of permafrost peatland. *Frontiers in Microbiology*, 13(December), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1093487>
- Terrie, K., and Boguski, P.E. (2006) Understanding Units of Measurement. Environmental Science and Technology Briefs for Citizens. Issue 2
- Wang, C., Amon, B., Schulz, K., & Mehdi, B. (2021). Factors that influence nitrous oxide emissions from agricultural soils as well as their representation in simulation models: A review. *Agronomy*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy11040770>
- Wang, W., Akhtar, K., Ren, G., Yang, G., Feng, Y., & Yuan, L. (2019). Impact of straw management on seasonal soil carbon dioxide emissions, soil water content, and temperature in a semi-arid region of China. *Science of the Total Environment*, 652, 471–482. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.207>
- Yerli, C., Şahin, Ü., Çakmakçı, T., & Tüfenkci, Ş. (2019). Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology Effects of Agricultural Applications on CO₂ Emission and Ways to Reduce. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(9), 1446–1456. <http://agrifoodscience.org/index.php/TURJAF/article/view/2750>
- Yerli, C., Sahin, U., & Oztas, T. (2022). CO₂ emission from soil in silage maize irrigated with wastewater under deficit irrigation in direct sowing practice. *Agricultural Water Management*, 271(June), 107791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107791>

Zhao, P., Pumpanen, J., & Kang, S. (2020). Spatio-temporal variability and controls of soil respiration in a furrow-irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research*, 196(July 2019), 104424. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104424>

