



Norvēģijas Grantu klimata un vides 2014.-2021. gada perioda programmas "Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide" iepriekš noteiktais projekta "**Ilgspējīgas augsnes resursu pārvaldības uzlabošana lauksaimniecībā**" (E2SOILAGRI)

3.aktivāte – SEG emisiju faktoru izstrāde un priekšlikumu sagatavošana iegūto emisiju faktoru iekļaušanai nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā

SILTUMNĪCEFEKTA GĀZU EMISIJU FAKTORU NOTEIKŠANA ORGANISKAI AUGSNEI DAUDZGADĪGĀ ZĀLĀJĀ

Zinātniskais pārskats par siltumnīcefekta gāzu emisiju faktoru noteikšanu organiskai augsnei daudzgadīgā zālājā

3. aktivitāte: **SEG emisiju faktoru izstrāde un priekšlikumu sagatavošana iegūto emisiju faktoru iekļaušanai nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā**

Darba uzdevumi:

3.1. Izmēģinājumu objektu atlase un raksturošana, SEG mērījumu aprīkojumu uzstādīšana;

3.2. SEG emisiju (CO₂, CH₄, N₂O) mērījumi izmēģinājumu objektos;

3.3. SEG emisiju faktoru izstrādāšana organiskām augsnēm daudzgadīgajos zālajos un integrācija Nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā.

Saturs

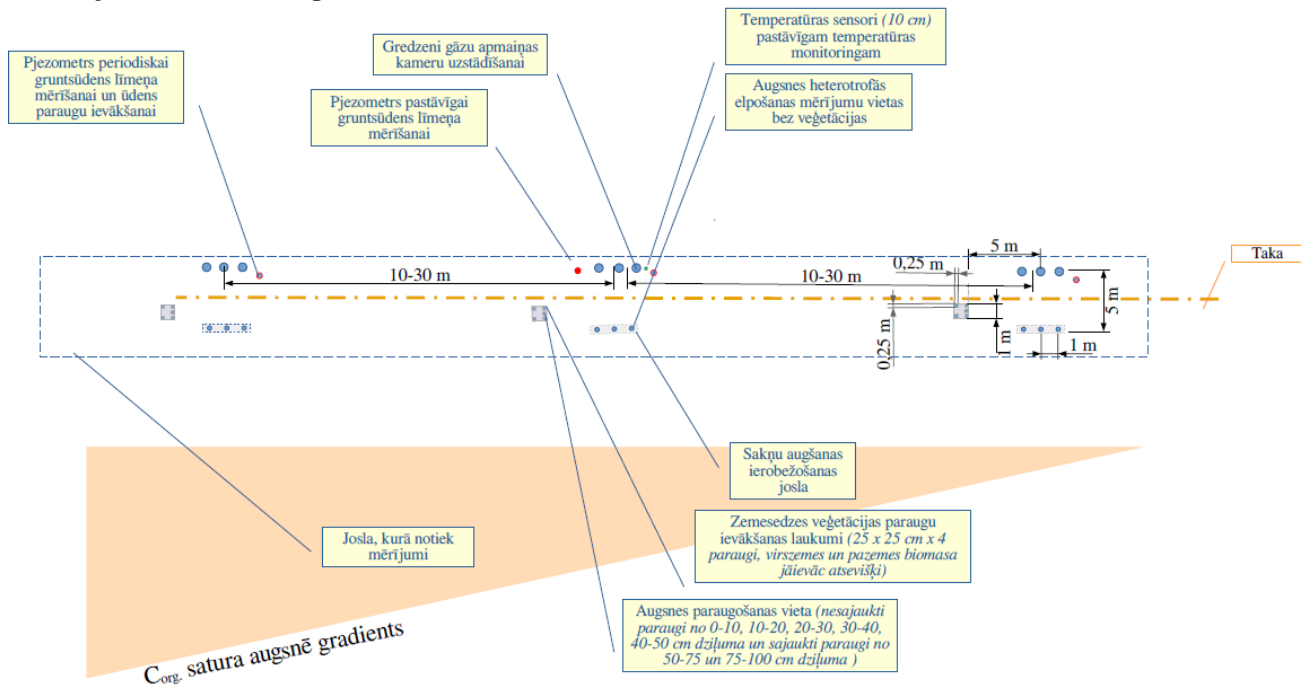
1. Izmēģinājumu objektu atlase un raksturojums, SEG emisiju mērījumu metodoloģija ..	1
2. SEG emisiju mērījumu metodika.....	7
3. Oglekļa piesaiste augu biomasā.....	15
4. SEG emisiju faktoru izstrādāšana organiskām augsnēm daudzgadīgajos zālajos un integrācija Nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā.....	16
Secinājumi	25
Conclusions	26
Izmantotā literatūra.....	27
Pielikumi	30

1. Izmēģinājumu objektu atlase un raksturojums, SEG emisiju mērījumu metodoloģija

Izmēģinājumu objektu atlase un raksturojums

Izmēģinājumu objekti dabā izvietoti taisnā līnijā, savstarpēji nodrošinot līdzīgus reljefa apstākļus. Katrs izpētes objekts ierīkots platībai raksturīgā vietā, kur nav novērojamas netipiskas reljefa formas (krasas izmaiņas virsmas slīpumā, pauguri, ieplakas, u.c.). Viens objekts sastāv no 3 atkārtojumiem, kas identificēti kā "A", "B" un "C". Objekti ierīkoti tā, lai nodrošinātu organiskā slāņa biezuma gradientu (atk. "A"- visseklākais organiskā slāņa dziļums, atk. "C"- visdziļākais). Katrā izpētes objektā kopā ierīkoti 9 mērījumu punkti gan augsnes kopējās elpošanas, gan arī heterotrofās elpošanas raksturošanai (kopā 18 mērījumu punkti). Tie proporcionāli sadalīti atkārtojumos (atkārtojumā 3 mērījumu punkti no katra veida). Augsnes elpošanas mērījumu vietas izkārtotas taisnās līnijās, raksturīgos mikroreljefa apstākļos, paralēli

viena otrai. Starp abu veidu novērojumiem papildus uzstādītas laipas, lai mazinātu mehānisku ietekmi uz augsni mērījumu veikšanas laikā. Augsnes kopējās elpošanas novērojumi veikti no neskartas veģetācijas, tam specifiski atlasītās vietās, kur augsnē 15 cm dziļumā ieraktas SEG kameru pamatnes. Savukārt, heterotrofā elpošana katrā atkārtojumā mērīta no 1,8 x 0,6 m taisnstūra formas joslas, kur augsnē uzstādīts sakņu augšanu ierobežojošs ģeotekstils. Augsnes virskārta pēc mērījumu pabeigšanas aplāta ar ģeotekstila slāni. Parauglaukuma pilns izkārtojums shematiski parādīts 1.1 attēlā.



1.1 attēls **Izmēģinājumu objekta shēma**

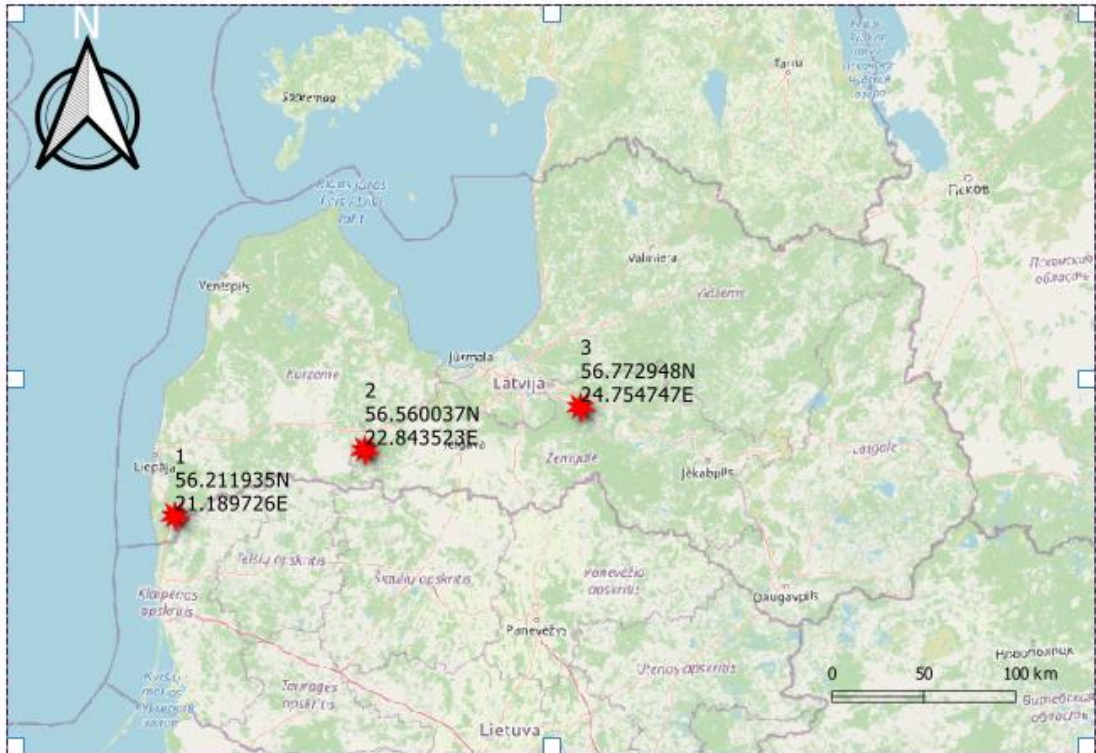
SEG novērojumiem kopā izvēlēti 3 izmēģinājumu objekti, to atrašanās vieta un identifikācija redzama zemāk (1. tabula).

Tabula 1.1.

SEG novērojumu objektu saraksts

N.p.k.	Objekta identifikators	LAD lauku bloka numurs/ meža nogabals	Atkārtojums	Koordinātas (WGS84)
1.	E2SOILAGRI_1	13021017 32572-23322	A	56.21136, 21.18826
2.			B	56.21148, 21.18817
3.			C	56.21168, 21.18812
4.	E2SOILAGRI_2	12797951 42889-26903	A	56.55879, 22.84421
5.			B	56.55887, 22.84415
6.			C	56.55900, 22.84395
7.	E2SOILAGRI_3	501-365-54	A	56.77243, 24.75648
8.			B	56.77254, 24.75663
9.			C	56.77279, 24.75687

Objektiem piešķirts kārtas skaitlis (1; 2; 3), pamatojoties uz to atrašanās vietu (Latvijas teritorijā no R daļas virzienā uz A daļu) (1.2 attēls). Objekta numurs ir atbilstošs dotajam aprakstam 1. tabulā. Pie kārtas skaitļa norādītas objekta atrašanās vietas koordinātas (WGS84, EPSG 4326).



1.2. attēls **SEG novērojumu objektu karte**

Augsnes īpašības izmēģinājumu objektos

Izmēģinājumu objektos Andrupēnos (E2S_1) un Ķegumā (E2S_3) ierīkotajos parauglaukumos kūdras slāņa biezums ir līdzīgs, attiecīgi diapazonā no 15 līdz 30 cm un 10 līdz 25 cm. Tomēr augsnes organiskā oglekļa (C_{org}) uzkrājums E2S_1 parauglaukumos no 310 līdz 357 t C_{org} ha⁻¹ (vidēji 350±37 t C_{org} ha⁻¹) ir ievērojami lielāks nekā E2S_3 objektā – no 83 līdz 138 t C_{org} ha⁻¹ (vidēji 114±28 t C_{org} ha⁻¹).

Tabula 1.2.

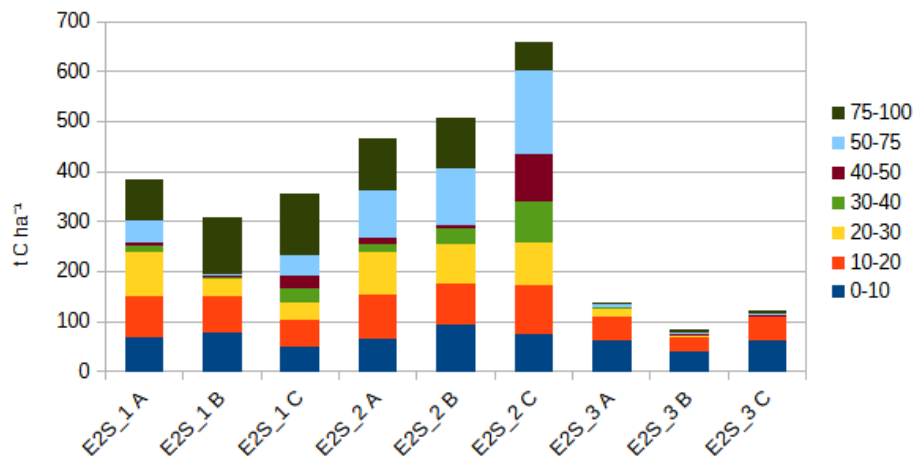
Kūdras slāņa biezums un biogēno elementu uzkrājums pētījuma parauglaukumos augsnes slānī 0 līdz 100 cm

Objekts	Parauglaukums	Vidējais kūdras slāņa biezums, cm	C_{org} , t ha ⁻¹	N_{kop} , t ha ⁻¹	P, t ha ⁻¹	K, t ha ⁻¹	Ca, t ha ⁻¹	Mg, t ha ⁻¹
E2S_1	A	15	383,00	21,60	4,00	11,70	314,40	29,70
	B	20	310,10	15,90	4,10	16,70	204,80	35,20
	C	30	357,30	9,20	4,30	15,60	499,20	52,50
E2S_2	A	20	466,20	25,50	5,40	105,40	266,20	139,80

	B	40	507,40	27,80	5,60	89,20	299,80	133,20
	C	70	658,40	41,10	2,00	15,80	74,60	17,90
E2S_3	A	10	137,80	12,40	2,70	8,50	17,20	8,10
	B	15	83,20	7,50	2,50	8,70	14,80	7,10
	C	25	120,70	12,10	4,10	8,00	19,30	8,60

Tas skaidrojams ar novērojumu, ka E2S_1 objektā gan augsnes tilpummasa, gan C_{org} koncentrāciju tiecās būt lielāka. Detalizēta informācija par augsnes ķīmiskām un fizikālām īpašībām atrodama 1. pielikumā. Biezāks kūdras slānis ir izmēģinājumu objekta Lazdiņos (E2S_3) parauglaukumos – no 20 līdz 70 cm. Kūdras slāņa biezums atspoguļojas novērtētajā C_{org} uzkrājumā parauglaukumos augsnēs slānī 0-100 cm. E2S_3 C_{org} uzkrājums ir vidēji 554 ± 101 t C_{org} ha⁻¹ (no 466 līdz 658 t C_{org} ha⁻¹).

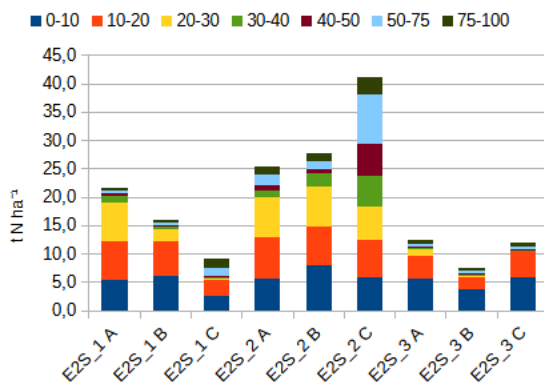
Organiskā oglekļa uzkrājums augsnē



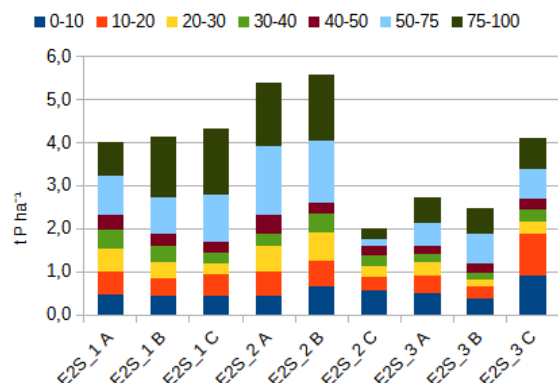
1.3. attēls **Organiskā oglekļa uzkrājums augsnē izmēģinājumu objektu parauglaukumos augsnes slāņu sadalījumā**

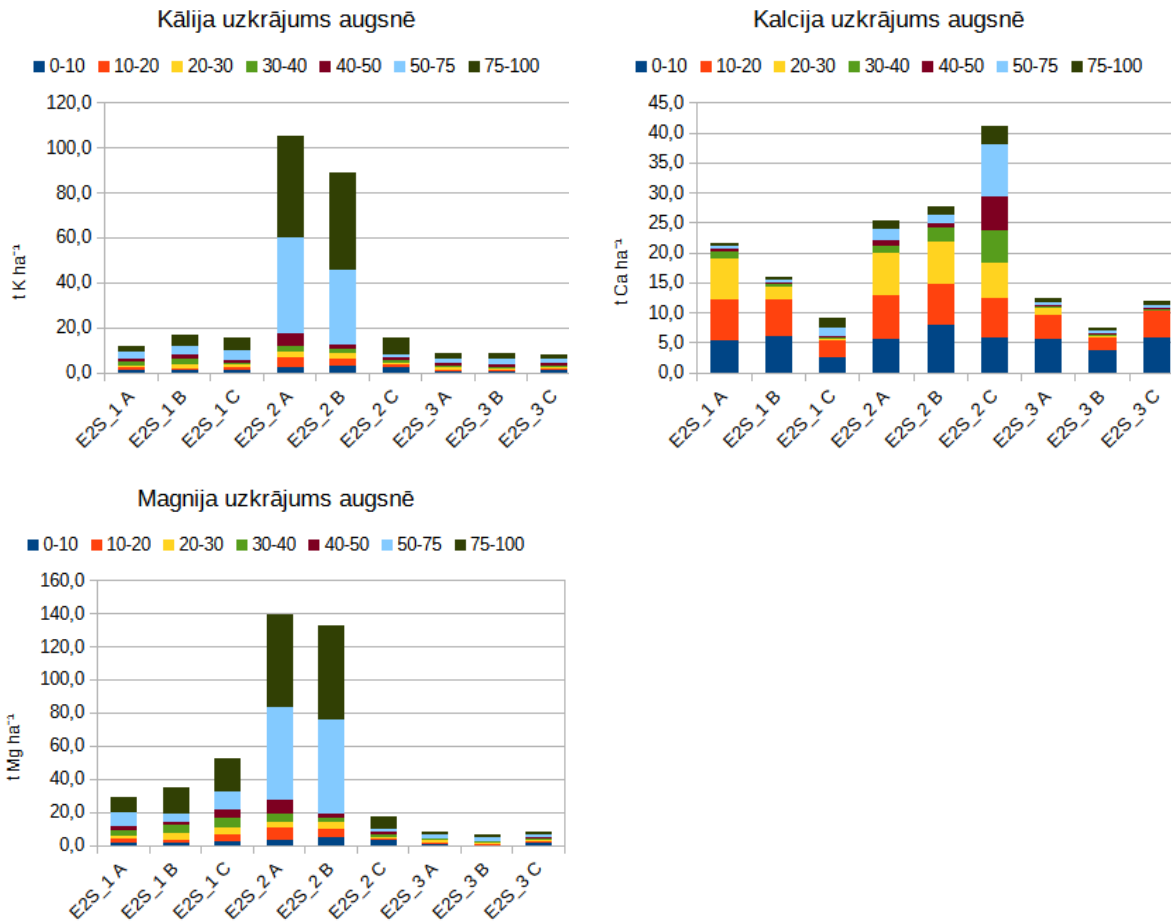
Tādas pašas tendencijas novērojamas arī citu biogēno elementu gadījumā - slāpekļa, fosfora, kālija un magnija uzkrājums vislielākais ir E2S_2 objektā, bet vismazākais E2S_3 objektā. Izņēmums ir kalcija uzkrājums, kas vislielākais ir E2S_1 objektā, bet vismazākais E2S_3 objektā.

Slāpekļa uzkrājums augsnē



Fosfora uzkrājums augsnē

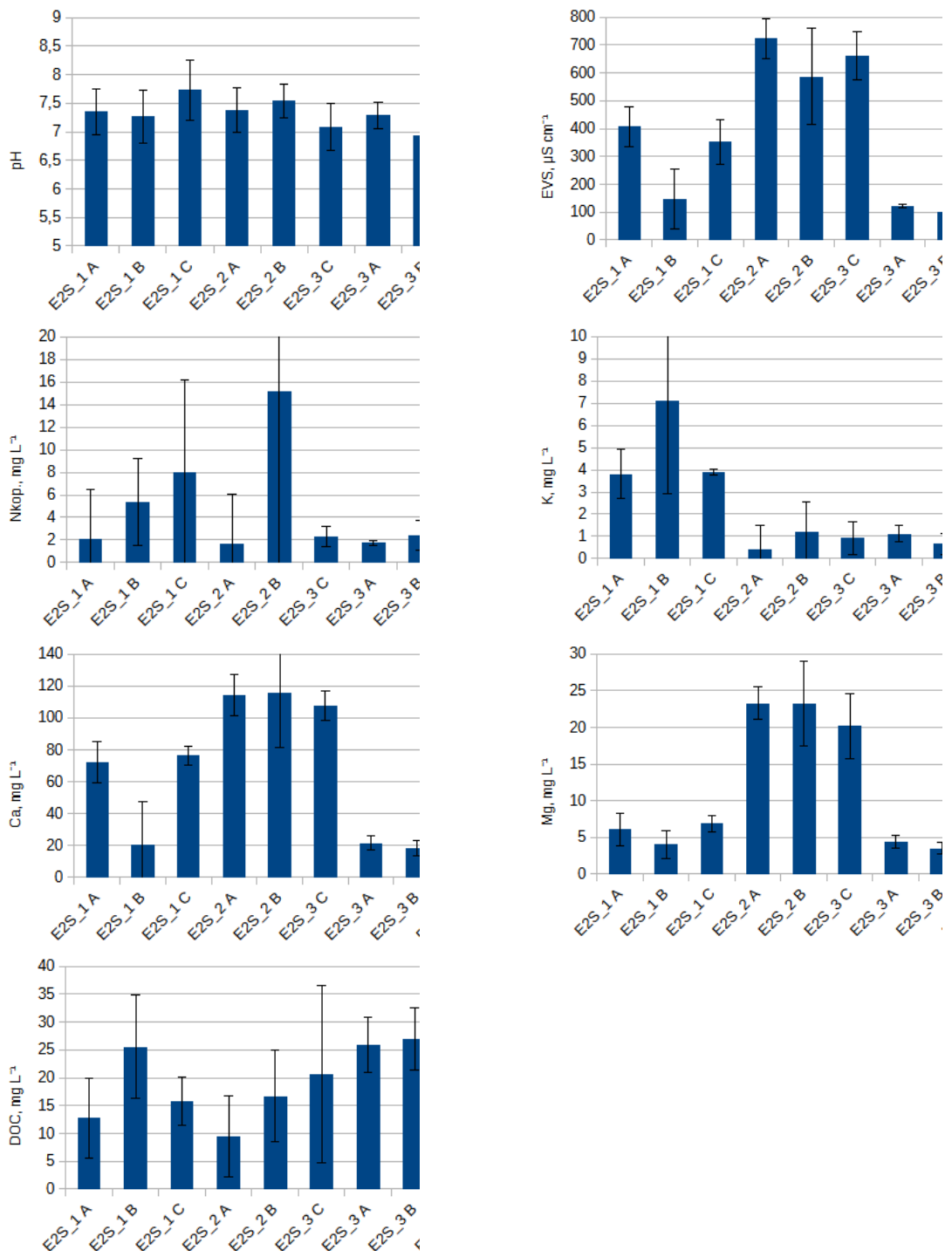




1.4. attēls Biogēno elementu uzkrājums augsnē izmēģinājumu objektu parauglaukumos augsnes slāņu sadalījumā

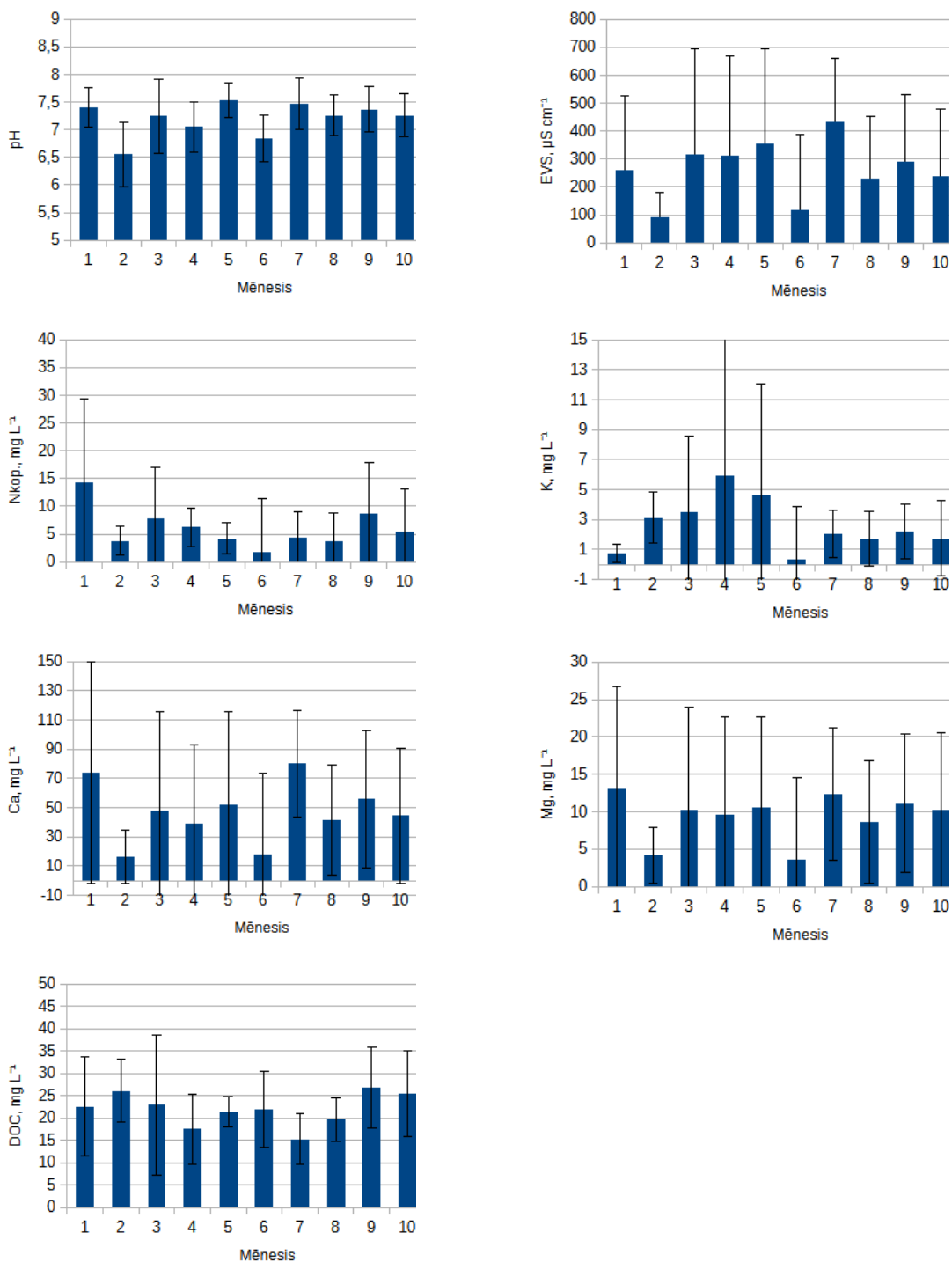
Augsnes ūdens īpašības izmēģinājumu objektos

Gruntsūdens pH visos izmēģinājumu objektos bija stabils (variācijas koeficients vidēji 5%), būtiski neatšķiras un bija vidēji pH 7,3 (no vidēji pH 6,9 līdz pH 7,7). Gruntsūdens EVS ir tieša sakarība ar biogēno elementu uzkrājumu augsnē, respektīvi vismazākā gruntsūdens EVS bija objektā E2S_3 (vidēji $113 \pm 12 \mu\text{S cm}^{-1}$), bet vislielākā objektā E2S_2 – vidēji $554 \pm 68 \mu\text{S cm}^{-1}$). Lai gan ūdens slāpekļa koncentrācijai gruntsūdenī ir liela nenoteiktība, novērojamsa tendence ka vidēji slāpekļa koncentrācija ūdenī tiecās būt lielāka objektos, kur arī augsnes N uzkrājums ir lielāks – objektos E2S_1 un E2S_2 (vidēji $5,8 \pm 5,2 \text{ mg N L}^{-1}$). Objektā E2S_3 slāpekļa koncentrācija gruntsūdenī bija salīdzinoši stabilāka - vidēji $1,9 \pm 0,43 \text{ mg N L}^{-1}$. Nav novērojama sakarība starp vidējo K koncentrāciju gruntsūdenī un tā uzkrājumu augsnē, savukārt Ca un Mg gadījumā sakarība ir novērojama. Ievērojami lielāka K koncentrācija bij E2S_1 gruntsūdenī ($4,9 \pm 1,9 \text{ mg K L}^{-1}$) salīdzinot ar vidējo K saturu gruntsūdenī objektos E2S_2 un E2S_3, kur tas bija stabils visa pētījuma laikā - vidēji $0,9 \pm 0,3 \text{ mg K L}^{-1}$. Līdzīgi arī Ca un Mg koncentrācija bija vismazākā objektā E2S_3, attiecīgi vidēji $20,9 \pm 2,3 \text{ mg Ca L}^{-1}$ un $4,1 \pm 0,5 \text{ mg Ca L}^{-1}$. Pārējos objektu parauglaukumos šo element koncentrācija bija no vidēji $56,5 \pm 31,2$ līdz $117,7 \pm 4,3 \text{ mg Ca L}^{-1}$ un no $5,7 \pm 1,5$ līdz $22,2 \pm 1,8 \text{ mg Mg L}^{-1}$.



1.5. attēls Gruntsūdens ķīmisko īpašību parametru mērījumu vidējās vērtības izmēģinājumu objektos

Izmēģinājumu periodā nav konstatēta sakarība starp gruntsūdens parauga ņemšanas laiku (mēnesis, gadalaiks) un tā ķīmiskajām īpašībām. Ūdens pH un izšķīdušā organiskā oglekļa koncentrācija pētījuma laikā ir bijusi salīdzinoši stabila – mērījumu vidējā vērtība dažādos mērījumu mēnešos variācijas koeficients attiecīgi 4% un 18%. Pārējo ūdens īpašību parametru variācija bijusi lielāka no vidēji 31% (Mg) līdz 64% (K).



1.6. attēls Gruntsūdens ķīmisko īpašību parametru mērījumu vidējās vērtības atkarībā no mērījumu mēneša

2. SEG emisiju mērījumu metodika

SEG emisiju lauka mērījumi un SEG paraugu ņemšana turpmākai testēšanai laboratorijā

Kopējās elpošanas paraugu ievākšana veikta pēc sekojošiem principiem:

Pēc ierašanās objektā, pārliecinās, ka SEG mērījumu kambari nav saplaisājuši, tos novieto pie mērījumu punktiem un sagatavo iepriekš laboratorijā vakuumētas paraugu ņemšanas pudelītes. Lai mērījumu laikā nodrošinātu noslēgtu vidi kambara iekšienē, pirms tam kambaru pamatnēs iestrādātā kantē ielej ūdeni, kas nodrošinās hermētisku kambara piekļaušanos virsmai. Virs SEG mērīšanas punkta, īsi pirms darbu uzsākšanas, izvēdina kambari un to nekavējoties uzstāda uz augsnē ieraktās kambara pamatnes. Pēc tam seko noteiktai parauga ņemšanas kārtībai:

1. Savieno vienu vakuumētu paraugu ņemšanas pudelīti ar šļirci, kurai uzstādīts 3 virzienu vārsts;
2. Savieno vārsta atlikušo pieslēgvietu ar kambarī iestrādāto caurulīti, izveido šļircē negatīvu spiedienu, izvelkot to līdz vismaz 10 ml atzīmei;
3. Vārsta ventili pagriež no "OFF" pozīcijas pa 180 grādiem, atver paraugošanas pudeles pusē esošo ventili un ļauj paraugam ieplūst vakuumētajā pudelē;
4. Nekavējoties pēc 3. darbības fiksē parauga ievākšanas laiku;
5. Gaida 2-5 sekundes, aizgriež parauga pudelītes pusē esošo vārstu sākotnējā pozīcijā un atvieno kambara paraugu ņemšanas caurulīti;
6. Pēc identiska principa ievāc visus kopējās elpošanas gāzu paraugus;
7. Iegūtos paraugus novieto speciāli pielāgotā paraugu uzglabāšanas kastē, kur paraugus ievieto ailēs atbilstoši to iegūšanas secībai. Kaste sastāv no 11 kolonnām, kas marķētas ar skaitļiem no 1 līdz 11, un no 8 rinām, kas marķētas ar burtiem alfabētiskā secībā no A līdz H.

Paralēli kopējās elpošanas paraugu ievākšanai, asistējošā persona veic heterotrofās elpošanas mērījumus no blakusesošajām vietām:

1. Pie sakņu augšanu ierobežojošām joslām novieto paraugu ņemšanas kambari un noņem mērījumu virsmām uzklāto ģeotekstila pārsegumu;
2. Gāzu mērīšanas kambari savieno ar EGM-5 gāzu analizatoru, to ieslēdz, uzsilda līdz darba temperatūrai un ievieto datu saglabāšanas atmiņas karti;
3. Caur EGM-5 displeju pārliecinās par pareizi iestādītu datumu un laiku, kambara dimensijām, kā arī ieraksta aktuālo izpētes objekta identifikatora, atkārtojuma un mērījumu punkta numuru;
4. Ieslēdz kambarī esošo ventilatoru un virs gāzu mērīšanas virsmas izvēdina kambari, paralēli uzsākot mērījumu caur EGM-5 displeju (mērījuma sākumam ir dažu sekunžu noilgums);
5. Nekavējoties pēc vēdināšanas, kambari novieto uz gāzu mērījumu vietas, to novietojot augsnē līdz 5 cm dziļuma atzīmei;
6. Mērījums ilgst 150 sekundes un EGM-5 automātiski pārtrauc parauga analizēšanu. Atskan skaņas signāls un kambari atļauts noņemt no mērījumu vietas, to īslaicīgi pēc tam pārceļot uz nākamo mērījumu vietu un atkārtojot visas iepriekšminētās darbības;

SEG mērījumu punktu ierīkošana. Apraksts darbam ar EGM un gāzu hromatogrāfa paraugu ņemšanas procedūrai.

SEG emisiju ietekmējošo faktoru mērījumi

Vienlaicīgi ar SEG mērījumiem veikti augsnes temperatūras mērījumi, kā arī noteikts gruntsūdens dziļums un gaisa temperatūra, kā arī veikti augsnes ūdens pH, elektrovadītspējas un izšķīdušā skābekļa koncentrācijas mērījumi. Augsnes temperatūra noteikta 10 cm dziļumā,

izmantojot *Comet Data logger* sensorus. Temperatūra nolasīta katrā izpētes objekta atkārtojumā, starp SEG mērījumu punktiem. Katrā izpētes objektā, B atkārtojumā uzstādīta zonde *Thermochron* pastāvīgiem augsnes temperatūras novērojumiem. Zonde ievietota augsnē 10 cm dziļumā. Automātisks augsnes temperatūras monitorings veikts ar intervālu vienu reizi 60 minūtēs. Gruntsūdens dziļums ar lineālu noteikts katrā atkārtojumā, no 1,5 m dziļi ierakta pjezometra. Sezonāli uzmērīts arī pjezometra pacēlums virs augsnes virskārtas, lai novērtētu zemes līmeņa izmaiņas. Katra objekta B atkārtojumā ierakts otrais pjezometrs 2 m dziļumā, kurā ievietots automātiskais gruntsūdens līmeņa sensors *Odissey Xtream Water level logger*. Sensors kalibrēts atbilstoši ražotāja norādēm. Pastāvīgs gruntsūdens līmeņa monitorings veikts ar intervālu vienu reizi 30 minūtēs. Papildus augsnes ūdens kvalitātes raksturošanai, katrā izmēģinājumā objekta apmeklējuma laikā ievākti gruntsūdens paraugi to turpmākai testēšanai akreditētā laboratorijā. Ūdens paraugiem laboratorijā noteikts slāpekļa, kālija, kalcija, magnija un kopējā izšķīdušā oglekļa koncentrācijas mērījumi, kā arī noteikta ūdens elektrovadītspēja un pH. līmenis.

Ievāktu paraugu testēšana laboratorijā un iegūto lauka mērījumu matemātiskā apstrāde

Ievāktie gāzu, augsnes ūdens un augu materiāla paraugi testēti ISO 17025 akreditētā laboratorijā. Augsnes kopējās elpošanas novērtēšanai siltumnīcefekta gāzu (CO_2 , CH_4 un N_2O) koncentrācija ievāktajos augsnes SEG emisiju paraugos noteikts ar gāzu hromatogrāfu Shimadzu Nexis GC-2030 (Loftfield et al., 1997). Iegūto gāzu koncentrācijas rezultātu matemātiskā apstrāde aprakstīt apakšnodaļā *SEG emisiju faktoru izstrādes pamatprincipi*. Augsnes un ūdens ķīmiskās un fizikālās īpašības noteiktas izmantojot standartmetodes.

Tabula 2.1.

Augsnes un ūdens paraugu testēšanas metodes

Parauga veids	Parametrs	Metodes princips	Standartmetode
Augsne	Tilpummasa	Gravimetrija	LVS ISO 11272:2017
	pH	Potenciometrija	LVS ISO 10390:2021
	Kopējais ogleklis (C_{kop})	Elementanalīze (sausā sadedzināšana)	LVS ISO 10694:2006
	Kopējais slāpeklis (N_{kpo})	Elementanalīze (sausā sadedzināšana)	LVS ISO 13878:1998
	Karbonātu ogleklis (CaCO_3)	Volumetrija	LVS EN ISO 10693:2014
	HNO_3 ekstrahējama Kālijs (K), kalcijns (Ca), magnijs (Mg) un fosfors (P)	Induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrija	LVS EN ISO 11885:2009
Ūdens	pH	Potenciometrija	LVS EN ISO 10523:2012
	Kopējais slāpeklis (N)	Katalītiskā sadedzināšana, hemiluminiscences detektēšana	LVS EN 1484:2000
	Elektrovadītspēja (EVS)	Konduktimetrija	LVS EN 27888:1993
	Kopējais izšķīdušais ogleklis (DOC)	Katalītiskā sadedzināšana, ifrasarkanā detektēšana	LVS EN 1484:2000
	Kālijs (K), kalcijns (Ca), magnijs (Mg)	Liesmas atomabsorbcijas spektrometrija	LVS EN ISO 7980:2000 LVS ISO 9964-3:2000

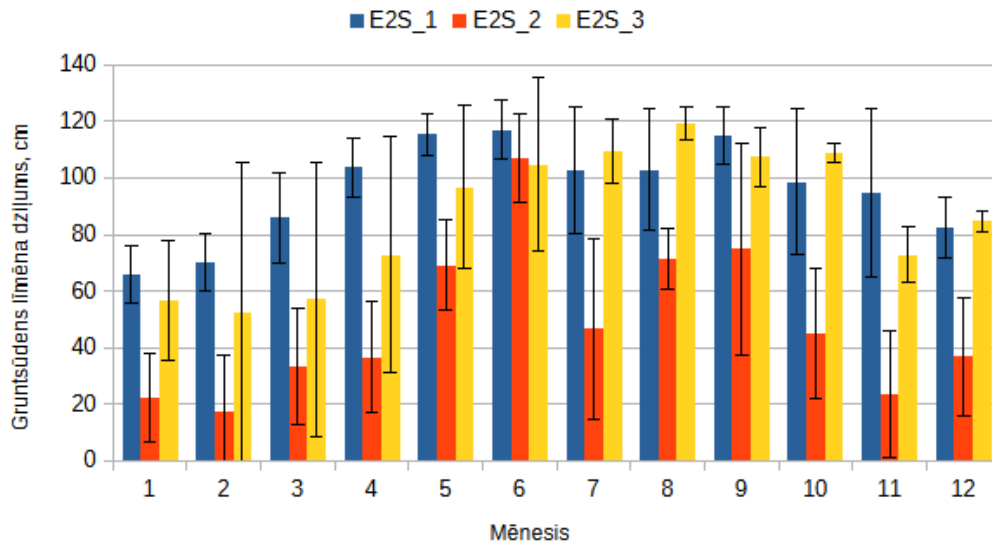
SEG emisiju (CO₂, CH₄, N₂O) mērījumi izmēģinājumu objektos

Augsnes SEG emisiju mērījumu laikā gaisa temperatūra bija robežās no -12,4 līdz 35,6 °C, savukārt augsnes temperatūra 10 cm dziļumā no 0,2 līdz 24,9 °C. Visos izmēģinājumu objektos bija susinātai augsnei raksturīgs vidējais gruntsūdens līmeņa dziļums. Izmēģinājumu objektos E2S_1, E2S_2 un E2S_3 gruntrūdēns līmeņa mērījumu vidējā vērtība ir attiecīgi 95±23, 48±66 un 86±37 cm, savukārt novērtētais augsnes mitrums (tilpums/tilpums), attiecīgi 22±8, 45±23 un 30±13 %. Tomēr gruntsūdens līmeņa dinamika visos izmēģinājumu objektos nebija vienāda. Objektā E2S_1 gruntsūdens līmenis bija pazemināts visā izmēģinājumu laikā, svārstoties no 47 līdz 127 cm, attiecīgi augsnes mitrums bija robežās no 8 līdz 53 %. Bet pārējos objektos gruntsūdens līmenis sasniedza arī augsnes virskārtu, radot augsnes mitruma piesātinājuma apstākļus. Objektos E2S_2 un E2S_3 gruntsūdens līmenis bija robežās no 0 līdz 146 cm, bet augsnes mitrums no 13 līdz 89 %.

Tabula 2.2.

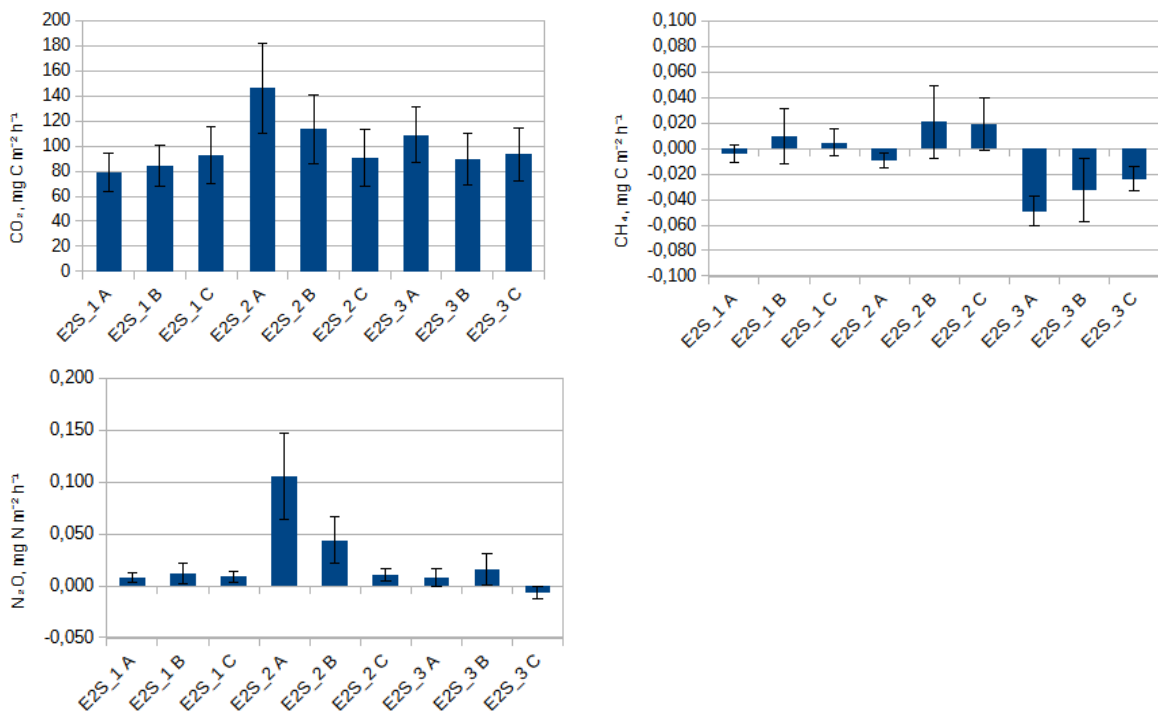
Vides parametru mērījumu rezultātu kopsavilkums

Objekts	Paraug-laukums	Variants	Gruntsūdens dziļums, cm	Augsnes mitrums, %	Gaisa temperatūra, °C	Augsnes temperatūra 10 cm dziļumā, °C	Izšķīdušais skābeklis, mg L ⁻¹
E2S_1	A	Vidēji	87,8	23,6	10,9	8,5	10,0
		Diapazons	47-118	2,6-33,5	-3,9-31,5	1,3-22,9	14,6-14,6
	B	Vidēji	96,8	21,8	10,9	9,0	15,4
		Diapazons	60-126	2,5-32,4	-3,9-31,5	0,9-24,9	85,2-85,2
	C	Vidēji	100,4	21,1	10,9	8,9	6,1
		Diapazons	58-127	2,1-53,4	-3,9-31,5	0,8-22,2	14,6-14,6
E2S_2	A	Vidēji	57,3	35,2	10,2	7,5	6,4
		Diapazons	0,1-121	12,2-86,8	-12,4-30,4	0,2-22,3	24,1-24,1
	B	Vidēji	56,3	41,2	10,4	7,9	5,4
		Diapazons	8-125	10,1-85,5	-12,4-30,4	0,4-22,8	14,3-14,3
	C	Vidēji	29,3	63,1	11,1	9,8	6,1
		Diapazons	0,1-123	5,6-88,5	-12,4-30,4	0,7-23,4	14,1-14,1
E2S_3	A	Vidēji	92,9	28,0	14,4	8,5	6,0
		Diapazons	0,1-146	9,7-41,9	-3,7-35,6	0,4-19,2	12,1-12,1
	B	Vidēji	87,9	26,1	15,1	9,6	6,8
		Diapazons	0,1-144	9-43,1	-3,7-35,6	0,5-21,3	14,4-14,4
	C	Vidēji	78,3	36,4	15,1	9,2	8,2
		Diapazons	16-124	13-76,1	-3,7-35,6	0,2-20,8	16,2-16,2



2.1.attēls Gruntsūdens līmeņa dinamika izmēģinājumu objektos

Augsnes kopējās elpošanas emisijas pētījuma parauglaukumos bija robežās no 79 līdz 146 mg CO₂-C m⁻² h⁻¹ (vidēji 100±21 CO₂-C m⁻² h⁻¹), tomēr emisiju variācijas un attiecīgi nenoteiktības ietekmē atšķirības nav statistiski būtiskas. Pētījuma objektu E2S_1 un E2S_2 parauglaukumos novērotas nelielas metāna piesaistes un emisijas robežās no -0,009 līdz 0,021 mg CH₄-C m⁻² h⁻¹, bet kopā augsne šajos objektos bija CH₄ emisiju avots vidēji 0,004±0,007 mg CH₄-C m⁻² h⁻¹. Savukārt visos objekta E2S_3 parauglaukumos augsne nodrošināja CH₄ piesaisti no atmosfēras – negatīvas emisijas vidēji -0,035±0,013 mg CH₄-C m⁻² h⁻¹. Augsnes N₂O emisijas parauglaukumos variēja no -0,007 līdz 0,106 mg N₂O-N m⁻² h⁻¹ (kopā vidēji 0,023±0,034 N₂O-N m⁻² h⁻¹).



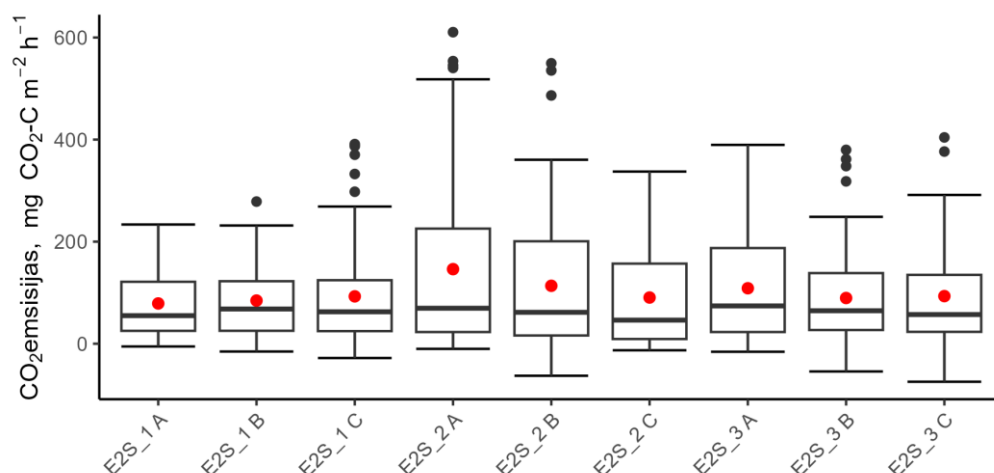
2.2. attēls Augsnes emisiju vidējās vērtības un to ticamības intervāls

Tabula 2.3.

Augsnes SEG emisiju, tajā skaitā kopējās elpošanas, mērījumu rezultātu kopsavilkums

Objekts	Parauglaukums	CO ₂ emisijas, mg C m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ emisijas, mg C m ⁻² h ⁻¹	N ₂ O emisijas, mg N m ⁻² h ⁻¹
E2S_1	A	79±67	0±0,03	0,01±0,02
	B	85±71	0,01±0,1	0,01±0,04
	C	93±99	0±0,05	0,01±0,02
E2S_2	A	146±168	-0,01±0,03	0,11±0,19
	B	114±128	0,02±0,13	0,04±0,1
	C	91±102	0,02±0,09	0,01±0,03
E2S_3	A	109±100	-0,05±0,05	0,01±0,04
	B	90±91	-0,03±0,11	0,02±0,07
	C	93±95	-0,02±0,04	-0,01±0,03

Mazākā augsnes CO₂ emisiju variācija novērota tieši objektā E2S_1, kur gruntsūdens bija pazemināts (zem 40 cm) visā pētījuma īstenošanas laikā, lai gan citos objektos gruntsūdens līmenis sasniedza pat augsnes virskārtu, attiecīgi arī gruntsūdens līmeņa variācija bija lielāka. Arī vidējās CO₂ emisijas šajā objektā bija mazākas, nekā citos parauglaukumos, tomēr atšķirības nav statistiski būtiskas. Tas norāda, ka īslaicīgi augsnes mitruma piesātinājuma apstākļi (pētījumā 5% no parauglaukumu apmeklējumiem) nerada būtisku ietekmi uz augsnes organiskās vielas sadalīšanās ātrumu. Iemesls šādam novērojumam var būt, ka augsnes CO₂ emisiju lielumu galvenokārt izskaidro augsnes temperatūra ($r = 0,66$), bet gruntsūdens līmeņa dziļumam bija maznozīmīga ietekme ($r = 0,33$), attiecīgi paaugstināts gruntsūdens līmenis pavasarī un rudenī neveicina augsnes organiskā C saglabāšanu, jo pazeminātās temperatūras ietekmē arī augsnes mineralizācija ir palēnināta. Savukārt, visintensīvākajā augsnes mineralizācijas laikā, vasarā, tipiski vienlaicīgi ir arī sausuma apstākļi. Novērtētas augsnes kopējās elpošanas CO₂ emisijas pētījuma parauglaukumos savstarpēji būtiski neatšķiras, kas norāda, ka vidējā kūdras slāņa variācija diapazonā no 10 līdz 70 cm vai organiskā oglekļa uzkrājums no 90 līdz 600 t C ha⁻¹ viena metra dziļumā nav faktori, kas ietekmē augsnes CO₂ emisiju daudzumu zalājos.

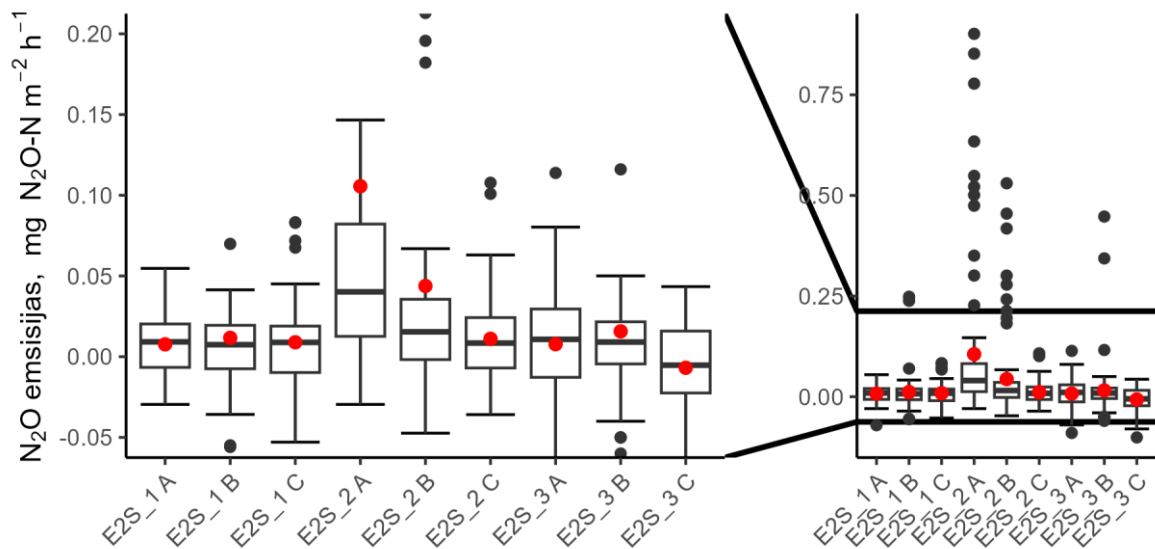


2.3. attēls Augsnes kopējās elpošanas CO₂ emisiju mērījumu rezultātu variācija

Augsnes kopējās elpošanas CO₂ emisiju Vilkoksona rangū summu testa rezultāti

	E2S_1 A	E2S_1 B	E2S_1 C	E2S_2 A	E2S_2 B	E2S_2 C	E2S_3 A	E2S_3 B
E2S_1 B	1	-	-	-	-	-	-	-
E2S_1 C	1	1	-	-	-	-	-	-
E2S_2 A	1	1	1	-	-	-	-	-
E2S_2 B	1	1	1	1	-	-	-	-
E2S_2 C	1	1	1	0,86	1	-	-	-
E2S_3 A	1	1	1	1	1	1	-	-
E2S_3 C	1	1	1	1	1	1	1	-
E2S_3 C	1	1	1	1	1	1	1	1

Augsnes N₂O starp pētījuma objektiem galvenokārt atšķiras statistiski nebūtiski, izņemot E2S_A objekta A parauglaukumā, kur tās bija statistiski būtiski lielākas nekā citos pētījuma parauglaukumos. Arī šī objekta B parauglaukumā bija novērojams liels emisiju ekstrēmu īpatsvars, un novērtētas vidējās emisijas tiecās būt lielākas nekā citos parauglaukumos. Tas var būt skaidrojams ar novērojumu, ka šajā objektā biogēno elementu pieejamība bija lielāka nekā citos pētījuma objektos. Šie novērojumi norāda, ka, lai gan izmēģinājumos bija dažādi kūdras slāņa biezuma un gruntsūdens līmeņa variācijas apstākļi, tie nav radījuši būtisku ietekmi uz novērtētajām augsnes N₂O emisijām.



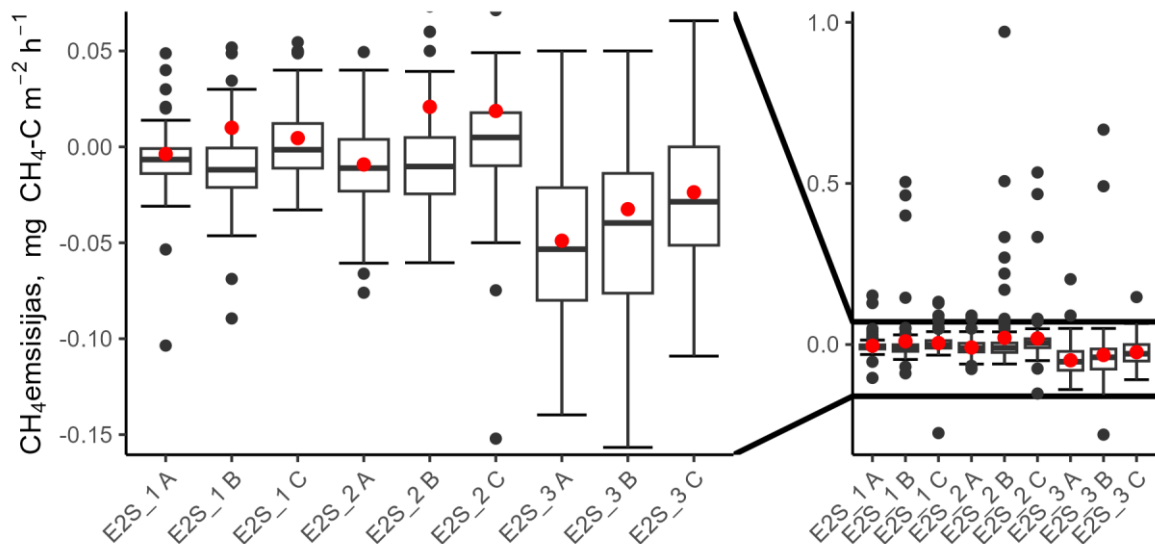
2.4. attēls Augsnes slāpekļa oksīda emisiju mērījumu rezultātu variācija

Tabula 2.5.

Augsnes N₂O emisiju Vilkoksona rangū summu testa rezultāti

	E2S_1 A	E2S_1 B	E2S_1 C	E2S_2 A	E2S_2 B	E2S_2 C	E2S_3 A	E2S_3 B
E2S_1 B	1	-	-	-	-	-	-	-
E2S_1 C	1	1	-	-	-	-	-	-
E2S_2 A	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-	-	-
E2S_2 B	1	0,85	1	0,004	-	-	-	-
E2S_2 C	1	1	1	<0,05	1	-	-	-
E2S_3 A	1	1	1	<0,05	1	1	-	-
E2S_3 C	1	1	1	<0,05	1	1	1	-
E2S_3 C	0,057	0,24	0,15	<0,05	<0,05	0,0423	0,36	0,20

Augsnes metāna emisijām raksturīga liela nenoteiktība, tā ietekmē novērtētās emisijas dažādos parauglaukumos savstarpēji galvenokārt ir būtiski atšķirīgas. Zīmīgi, ka lai gan E2S_1 bija objekts, kurā gruntsūdens līmenis bija pazemināts visa gada garumā, tas nav izcēlies ar pārliecinošu atmosfēras CH₄ piesaisti augsnē. Savukārt, izmēģinājumu objekta E2S_3 parauglaukumos novērtētās augsnes CH₄ negatīvās emisijas (piesaiste) ir būtiski atšķirīgā no emisijām citos parauglaukumos. Šāda parādība norāda, ka var būt situācijas, kad vidējais gruntsūdens līmenis vai tā variācija objektā nav pielietojami kā vienīgais faktors, kas ļauj prognozēt vai augsne sagaidāma kā CH₄ emisiju avots vai to piesaistītāja. Uzmanība vērsama uz apstākli, ka E2S_3 objektā ir salīdzinoši vismazākais kūdras slāņa biežums.



2.5. attēls **Augsnes metāna emisiju mērījumu rezultātu variācija**

Tabula 2.6.

Augsnes CH₄ emisiju Vilkoksona rangu summu testa rezultāti

	E2S_1 A	E2S_1 B	E2S_1 C	E2S_2 A	E2S_2 B	E2S_2 C	E2S_3 A	E2S_3 B
E2S_1 B	1	-	-	-	-	-	-	-
E2S_1 C	0,44	0,019	-	-	-	-	-	-
E2S_2 A	1	1	0,018	-	-	-	-	-
E2S_2 B	1	1	0,17	1	-	-	-	-
E2S_2 C	0,041	0,007	1	0,003	0,083	-	-	-
E2S_3 A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-
E2S_3 C	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1	-
E2S_3 C	0,006	0,03	<0,05	0,096	0,021	<0,05	0,003	0,47

3. Oglekļa piesaiste augu biomasā

Objektos E2S_1 un E2_2 parauglaukumos novērtētais C uzkrājums veģetācijas pazemes biomasā ir līdzīgs – diapazonā no 0,30 līdz 0,56 t C ha⁻¹ (vidēji 0,34±0,11 t C ha⁻¹). Savukārt, objektā E2_3 C uzkrājums pazemes biomasā ir būtiski lielāks – vidēji 2,49±0,17 t C ha⁻¹.

Tabula 3.1.

Oglekļa piesaistes pazemes biomasā mērījumu rezultāti

Objekts	Parauglaukums	C saturs pazemes biomasā, C g kg ⁻¹	Pazemes biomasas, t ha ⁻¹	C uzkrājums pazemes biomasā, t C ha ⁻¹
E2S_1	A	420±30	0,62±0,32	0,27±0,15
	B	390±57	0,76±0,3	0,29±0,11
	C	431±5	0,7±0,47	0,3±0,2
E2_2	A	410±38	0,73±0,36	0,3±0,16
	B	389±20	0,86±0,32	0,34±0,13
	C	407±21	1,35±1,19	0,56±0,51
E2S_3	A	433±36	5,9±1,12	2,58±0,63
	B	410±31	5,67±2,32	2,29±0,88
	C	364±40	7,21±1,51	2,59±0,39

Virszemes biomasas visos pētījuma objektos ir salīdzināma – vidēji 1,78±0,93 t C ha⁻¹. Tādējādi C uzkrājums veģetācijas virszemes un pazemes biomasā kopā objektu E2S_1 un E2S_2 parauglaukumos bija no 1,4 līdz 3,8 t C ha⁻¹ (vidēji 2,47±0,93 t C ha⁻¹), bet E2S_3 objektā vidēji 3,3,57±0,9 t C ha⁻¹. Oglekļa uzkrājuma proporcija pazemes un virszemes biomasā pētījuma objektos E2S_1 un E2S_2 bijusi 19±7 %, bet objektā E2S_3 oglekļa uzkrājums pazemes biomasā bija vairāk kā divas reizes lielāks nekā virszemes biomasā, jeb 254±110 % no C uzkrājuma virszemes biomasā. Tas skaidrojams ar novērojumu, ka šajā objektā novērtēta vismazākā biogēno elementu pieejamība, kā rezultātā augi tiecas viedot lielāku pazemes veģetācijas biomasu, lai nodrošinātu barības vielu uzņemšanu.

Oglekļa piesaistes pazemes biomasā mērījumu rezultāti

Objekts	Parauglaukums	C saturs virszemes biomasā, C g kg ⁻¹	Virszemes biomasā, t ha ⁻¹	C uzkrājums virszemes biomasā, tons C ha ⁻¹
E2S_1	A	437±37	2,57±0,99	1,09±0,49
	B	463±9	3,29±2,55	1,36±1,25
	C	426±41	5,78±6,4	2,48±2,74
E2_2	A	463±8	8,32±2,43	3,47±1,29
	B	459±12	7,37±3,57	2,84±1,34
	C	451±10	3,8±1,82	1,52±0,65
E2S_3	A	436±57	1,62±0,94	0,68±0,34
	B	460±22	3,21±1	1,32±0,45
	C	462±5	3,41±1,33	1,24±0,49

4. SEG emisiju faktoru izstrādāšana organiskām augsnēm daudzgadīgajos zālajos un integrācija Nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā

Pētījuma ietvaros izstrādāti emisiju faktori organiskām augsnēm lauksaimniecībā izmantojamās zemēs, kurās kūdras slāņa biezums ir mazāks par 40 cm, kā arī sagatavots vērtējums par SEG emisijām organiskām vielām bagātās augsnēs lauksaimniecībā izmantojamās zemēs, kur kūdras slāņa biezums ir mazāks par 20 cm, kas saskaņā ar citu pētnieku atziņām arī var būt nozīmīgs emisiju avots. Turpmākajās nodaļās raksturoti empīrisko datu ieguves principi, aprēķinu gaita un emisiju faktoru nenoteiktība. Izstrādātie emisiju faktori atbilst Starpvalstu klimata pārmaiņu padomes 2006. gada vadlīniju prasībām 2. līmeņa (tier 2) metodēm. Izstrādāto emisiju faktoru pielietošanai SEG inventarizācijas sistēmā jāizdala jauna augšņu grupa (lauksaimniecībā izmantojamo zemju platības, kur kūdras slāņa biezums ir vismaz 20 cm un nepārsniedz 40 cm), kas iekļaujama minerālaugšņu kategorijā, lai nodrošinātu organisko augšņu platības uzskaites integritāti ar citiem ziņojumiem, kuros uzrādīta organisko augšņu platība. Turpmākajos pētījumos tāds pats emisiju faktoru un zemes izmantošanas dalījums jāizveido arī meža zemēm, kur organisko augšņu kūdras slāņa biezuma robežvērtība pagaidām ir 20 cm.

SEG emisiju faktoru izstrādes pamatprincipi

SEG (CO₂, CH₄ un N₂O) emisiju faktori zemā purva kūdras augsnēm izstrādāti balstoties uz augsnes kopējās elpošanas, augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O plūsmu mērījumiem izmēģinājuma objektos. Sākotnēji veikta iegūto SEG datu (koncentrācijas izmaiņu laikā) atbilstības lineārai regresijai novērtēšana, izmantojot datus par SEG (augsnēs kopējās elpošanas, CH₄ un N₂O) koncentrāciju kamerā uzreiz pēc kameras novietošanas uz gredzena un 10, 20, 30 minūtes pēc pirmā parauga paņemšanas. Iegūto rezultātu ticamības nodrošināšanai veikta datu kontrole un dati, kas neseko lineārai gāzu koncentrācijas izmaiņai laikā, tālākā analizē netika iekļauti. Papildus novērtēts katras iegūtā lineārā regresijas vienādojuma

determinācijas koeficients, un turpmākā augsnes SEG emisiju aprēķinā izmantoti iegūtie slīpuma koeficienti (mainīgais “b” vienādojumā 4.1) no vienādojumiem ar $R^2 > 0,7$, izņemot gadījumus, kad novērtētā maksimālās un minimālās SEG koncentrācijas starpība kamerā ir mazāka par pielietotās paraugu testēšanas ar gāzu hromatogrāfu metodes nenoteiktību (Butlers, 2023). Iegūtie lineāro vienādojumu slīpuma koeficienti, kas raksturo SEG koncentrācijas izmaiņas kamerā gāzu paraugu ņemšanas laikā, izmantoti, lai ar ideālās gāzes stāvokļa vienādojumu aprēķinātu gaisa un augsnes, tajā skaitā kamerā ietvertās veģetācijas, SEG gāzu apmaiņu:

4.1

$$SEG = \frac{M \times P \times V \times b}{R \times T \times S}, \text{ kur}$$

SEG – SEG apmaiņa starp augsni un atmosfēru, tajā skaitā kamerā ietverto veģetāciju, $\mu\text{g SEG m}^{-2} \text{ h}^{-1}$;

M – attiecīgās SEG molmasa, g mol^{-1} ;

P – gaisa spiediens kamerā, 101 300 Pa;

V – kameras tilpums, $0,063 \text{ m}^3$;

b – lineāras regresijas vienādojuma slīpuma koeficients, kas raksturo attiecīgās gāzes koncentrācijas izmaiņas kamerā laika vienība, ppm h^{-1} ;

R – universālā gāzu konstante, $8,314 \text{ m}^3 \text{ Pa K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$;

T – gaisa temperatūra, K;

S – augsnes gredzena laukums, $0,1995 \text{ m}^2$.

Gada kopējo (ikgadējo) augsnes SEG emisiju aprēķinā pieņemts, ka veiktie ikmēneša emisiju mērījumu rezultāti ir vienādi ar attiecīgā mēneša kopējām augsnes emisijām parauglaukumā. Attiecīgi ikgadējās augsnes SEG emisijas izmēģinājumu objektā aprēķinātas kā ikmēneša augsnes SEG emisiju summa (vienādojums 4.2):

4.2

$$SEG_{ikgadēji} = \sum SEG_{ikmēneša (jan...dec)}, \text{ kur}$$

$SEG_{ikgadēji}$ – ikgadējās augsnes SEG emisijas izmēģinājumu objektā, kg ha^{-1} gadā;

$SEG_{ikmēneša}$ – mēneša (janvāris līdz decembris) kopējās augsnes SEG emisijas izmēģinājuma objektā, kg ha^{-1} mēnesī.

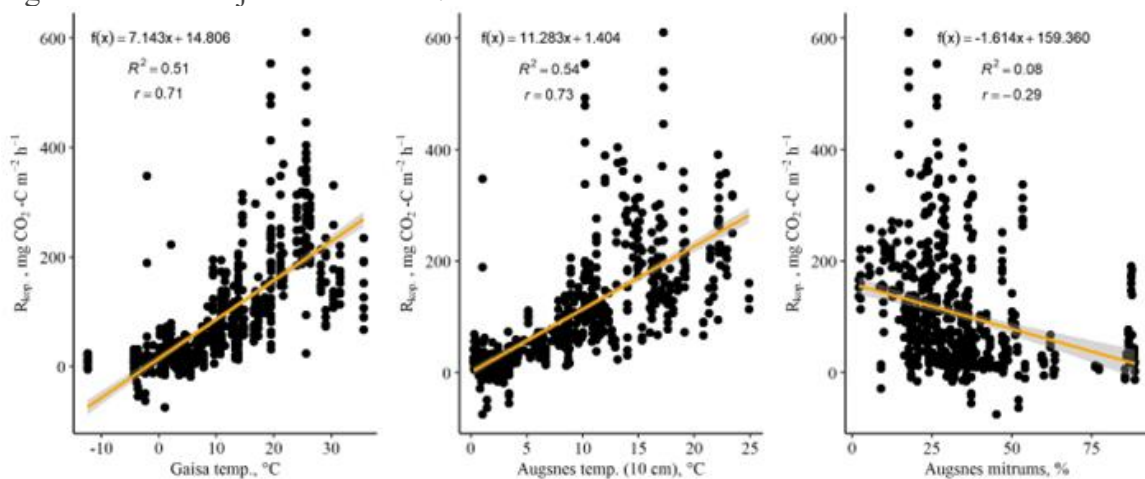
Ikgadējais augsnes CO_2 emisiju faktors aprēķināts kā starpība starp augsnes ikgadējo heterotrofo elpošanu ($R_{\text{het.}}$) un oglekļa (C) ienesi ar augu virszemes un sakņu daļas atliekām. Balstoties uz augsnes kopējās ($R_{\text{kop.}}$) un heterotrofās elpošanas mērījumu rezultātiem, pieņemts, ka ikgadējā augsnes heterotrofā elpošana ir 70,3% no ikgadējās augsnes kopējās elpošanas. Ikgadējā C ienese augsnē ar augu atlikām aprēķināta pieņemot, ka C ienese ar augu virszemes daļām ir vienāda ar C uzkrājumu augu virszemes daļās veģetācijas sezonas beigās, savukārt ikgadējā C ienese ar veģetācijas saknēm aprēķināta, pieņemot, ka sakņu dabiskā atmiruma koeficients (*turnover*) ir 0,5 atbilstoši Gill & Jackson (2000).

Galvenie rezultāti

Sauszemes ekosistēmās augsnes kopējā elpošana ($R_{\text{kop.}}$, autotrofās un heterotrofās komponentes summa) ir viena no galvenajiem oglekļa (C) un barības elementu aprites komponentēm (Pumpanen et al., 2010). Augsnes autotrofā elpošana reprezentē CO_2 , ko izdala augu saknes un ar tām saistītā rizosfēra (mikoriza un rizosfēras mikroorganismi), bet augsnes heterotrofā elpošana ($R_{\text{het.}}$) reprezentē CO_2 , kas rodas sadaloties augsnes organiskajai vielai (tai

skaitā nobirām) mikroorganismu darbības rezultātā (Epron, 2010; Tang et al., 2020a, 2020b). Šī pētījuma ietvaros noskaidrots, ka mēneša vidējā $R_{kop.}$ zālajos ar zemā purva kūdras augsnēm variē no $-19,0 \pm 11,8 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ decembrī līdz $435,6 \pm 62,0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ jūnijā. Gada vidējā $R_{kop.}$ starp dažādiem pētījumā iekļautiem mērījumu punktiem variē no $84,2 \pm 28,8$ līdz $114,6 \pm 33,7 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Statistiski būtiskas atšķirības $R_{kop.}$ variācijā starp dažādiem mērījuma punktiem ar atšķirīgu organiskās augsnes slāņa biezumu netika konstatētas ($r = -0,47$, $p > 0,41$). Lai gan iezīmējas tendence, ka vērojama lielāka $R_{kop.}$ samazinoties organiskā C saturam augsnē, būtiska sakarība starp $R_{kop.}$ un organiskā C saturu augsnē ($r = -0,39$, $p = 0,103$), kā arī starp $R_{kop.}$ un organiskā C uzkrājumu augsnē 0-20 cm slānī ($r = -0,39$, $p = 0,103$) netika konstatēta.

Noskaidrojām, ka momentānā $R_{kop.}$ pozitīvi korelē ar gaisa temperatūru ($r = 0,71$, $p < 0,001$) un augsnes temperatūru 10 cm dziļumā ($r = 0,73$, $p < 0,001$), bet būtiskas sakarības ar citiem vides parametriem, ieskaitot augsnes mitrumu un gruntsūdens līmeni, netika konstatētas. Līdz ar to par vides parametru, kas vislabāk izskaidro $R_{kop.}$ variāciju, var uzskatīt augsnes temperatūru 10 cm dziļumā (lineāras regresijas determinācijas koeficients R^2 ir 0,54). Papildus parametru (izskaidrojošo mainīgo) kā, piemēram, organiskās augsnes slāņa biezums, C saturs augsnē un citu vides parametru iekļaušana regresijas vienādojumā nepalielināja vienādojuma koriģēto determinācijas koeficientu¹.



4.1. attēls Sakarība starp momentāno augsnes kopējo elpošanu ($R_{kop.}$) un gaisa temperatūru, augsnes temperatūru 10 cm dziļumā un augsnes mitrumu. Pelēkā josla ap regresijas līkni atspoguļo regresijas ticamības intervālu.

Mēneša vidējā augsnes heterotrofā elpošana ($R_{het.}$) starp dažādiem pētījumā iekļautiem mērījumu punktiem laika posmā no aprīļa līdz novembrim variēja no $13,9 \pm 0,5 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ novembrī līdz $274,6 \pm 82,7 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ jūlijā. Pētījuma perioda (no aprīļa līdz novembrim) vidējā $R_{het.}$ starp dažādiem pētījumā iekļautiem mērījumu punktiem variēja no $74,2 \pm 17,8$ līdz $150,1 \pm 29,9 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Konstatējām, ka $R_{het.}$ veido 70,3% no augsnes kopējās elpošanas. Tas atbilst $R_{het.}$ īpatsvara no augsnes kopējās elpošanas intervālam, kas konstatēts iepriekš veiktos pētījumos, piemēram, Zviedrijā (Berglund et al., 2011, 2021; Norberg et al., 2016).

Momentānā $R_{het.}$ pozitīvi korelē ar gaisa temperatūru (atkarībā no mērījuma punkta r variēja līdz 0,72, $p < 0,001$) un augsnes temperatūru 10 cm dziļumā (r variēja līdz 0,68, $p < 0,001$), bet ar citiem vides parametriem konstatēta vāja korelācija ($r < |0,50|$) vai korelācija netika konstatēta. Līdz ar to par vides parametru, kas vislabāk izskaidro $R_{het.}$ variāciju, var uzskatīt gaisa temperatūru (lineāras regresijas determinācijas koeficients R^2 ir 0,20, polinomiāla

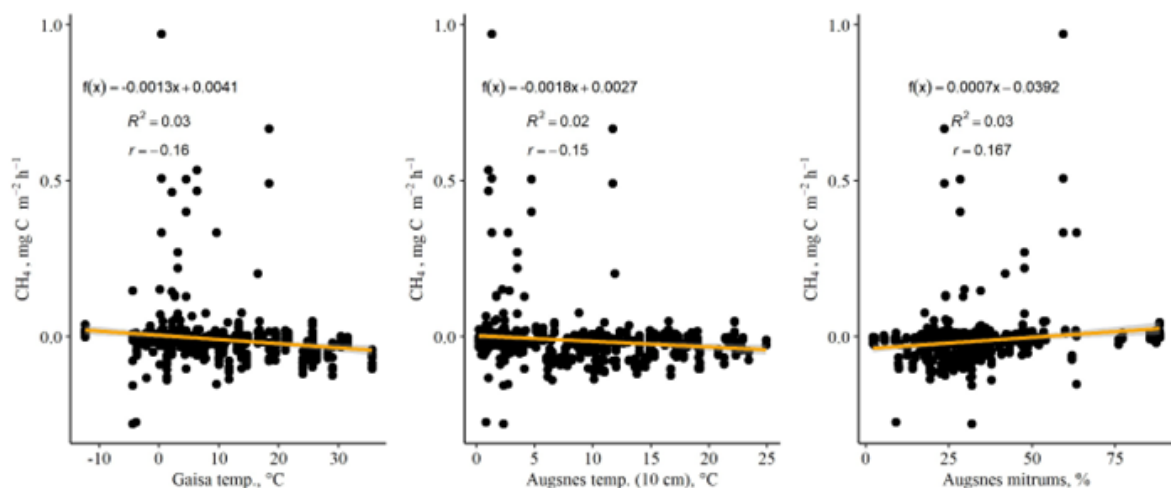
¹ Koriģētais determinācijas koeficients dod iespēju salīdzināt modeļus ar dažādu izskaidrojošo mainīgo skaitu.

vienādojuma R^2 ir 0,21). Jāatzīmē, ka kopumā konstatēta augsta mērījuma punktiem specifiska $R_{het.}$ variācijas atkarība no monitorētiem vides parametriem.

Lai gan cieša sakarība starp $R_{het.}$ un augsnes mitrumu netika konstatēta, vērojama tendence, ka pie augstas gaisa temperatūras un zema augsnes mitruma $R_{het.}$ neturpina palielināties atbilstoši lineārai regresijai. Tātad, pie augstas gaisa temperatūras un vienlaicīgi zema augsnes mitruma $R_{het.}$ intensitāte var pat samazināties. Arī iepriekš veiktos pētījumos ir konstatēts, ka augsnes mitrums ir cieši saistīts ar CO_2 emisiju intensitāti - konstatēta paraboliska CO_2 emisiju atkarība no augsnes mitruma (Säurich et al., 2019).

CH_4 veidošanās notiek anaerobos apstākļos metanogēzes procesā, savukārt aerobos apstākļos var notikt augsnes un atmosfēras CH_4 oksidēšana (van den Pol-van Dasselaar, 1998). Pētījuma periodā galvenokārt netika novērotas būtiskas CH_4 emisijas vai pat novērota neliela CH_4 piesaiste; kopumā momentānās CH_4 emisijas reti pārsniedza $0,50 \text{ mg } CH_4\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Mēneša vidējās CH_4 emisijas variēja no $-0,099 \pm 0,005 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ jūlijā līdz $0,207 \pm 0,114 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ aprīlī, savukārt gada vidējās CH_4 emisijas starp dažādiem mērījuma punktiem variēja no $-0,057 \pm 0,009$ līdz $0,012 \pm 0,010 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Konstatējām, ka organiskās augsnes slāņa biezums un organiskā C saturs augsnē, kā arī organiskā C uzkrājums augsnē būtiski ietekmē CH_4 emisijas – CH_4 emisijas palielinās palielinoties organiskās augsnes slāņa biezumam un organiskā C saturam augsnē.

Tiek uzskatīts, ka temperatūra ir būtisks CH_4 emisiju ietekmējošs faktors, jo gan CH_4 veidošanās, gan CH_4 izmantošana ir mikroorganismu vadīts process (van den Pol-van Dasselaar, 1998). Līdzīgi arī gruntsūdens līmenis un augsnes mitrums ir vieni no galvenajiem CH_4 emisiju ietekmējošiem faktoriem, turklāt tiek uzvērts, ka CH_4 emisiju intensitāte būtiski palielinās, ja gruntsūdens līmenis ir tuvu zemes virsmai pietiekami ilgu periodu (van den Pol-van Dasselaar, 1998, Butlers et al., 2023). Šī pētījuma ietvaros CH_4 emisijas būtiski nesvārstījās pētījuma periodā, neskatoties uz temperatūras, augsnes mitruma un gruntsūdens līmeņa svārstībām. Būtiskas korelācijas starp momentānām CH_4 emisijām un dažādiem vides parametriem netika konstatētas. Līdzīgi rezultāti tika iegūti, piemēram, pētījumā Dānijā, kas īstenots lauksaimniecības zemēs ar organiskām augsnēm (Petersen et al., 2012).



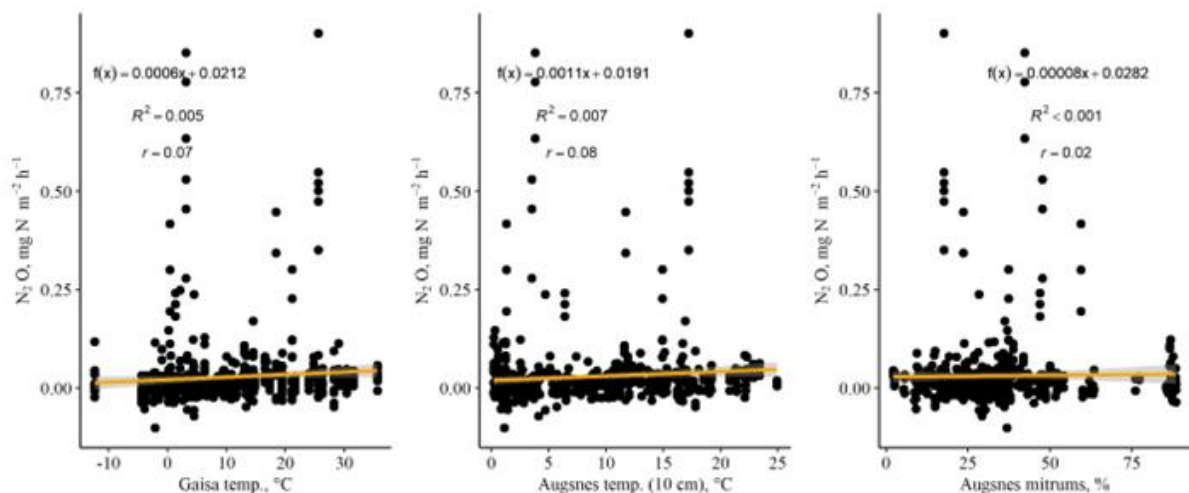
4.2. attēls Sakarība starp momentānām CH_4 emisijām un gaisa temperatūru, augsnes temperatūru 10 cm dziļumā un augsnes mitrumu. Pelēkā josla ap regresijas līkni atspoguļo regresijas ticamības intervālu.

Lauksaimniecības organiskās augsnēs N_2O emisijas galvenokārt rodas kā blakusprodukts denitrifikācijas un nitrifikācijas procesos (Pärn et al., 2018). Šī pētījuma ietvaros galvenokārt tika konstatētas zemas N_2O emisijas visos mērījumu punktos, turklāt

momentānās N₂O emisijas nepārsniedza 1,0 mg N₂O-N m⁻² h⁻¹. Mēneša vidējās N₂O emisijas starp dažādiem mērījuma punktiem variēja no -0,027 ± 0,004 mg N m⁻² h⁻¹ decembrī līdz 0,550 ± 0,076 mg N m⁻² h⁻¹ jūnijā, bet gada vidējās momentānās N₂O emisijas starp mērījuma punktiem variēja no -0,001 ± 0,004 līdz 0,072 ± 0,030 mg N m⁻² h⁻¹.

Statistiski būtiskas atšķirības N₂O emisijās starp mērījumu punktiem ar dažādu organiskās augsnes slāņa biezumu netika konstatētas ($r = -0,18$, $p = 0,68$). Līdzīgi arī netika konstatēta būtiska sakarība starp N₂O emisijām un organiskā C saturu augsnē 0-20 cm dziļumā ($r = 0,05$, $p = 0,89$). Vidējās N₂O emisijas pozitīvi korelē ar C uzkrājumu augsnē 0-20 cm dziļumā ($r = 0,46$) un N saturu augsnē 0-40 cm dziļumā ($r = 0,59$), lai gan korelācija nav statistiski būtiska ($p = 0,215$ un $p = 0,094$, attiecīgi).

Līdz šim veiktos pētījumos noskaidrots, ka N₂O emisiju intensitāti var ietekmēt virkne faktoru kā, piemēram, klimatiskie faktori (īpaši temperatūra), elektronu donoru pieejamība, minerālā N koncentrācija, skābekļa statuss, augsnes C/N attiecība un pH (Petersen et al., 2012; Pärn et al., 2018; Yu et al., 2022). Šī pētījuma ietvaros netika konstatētas būtiskas sakarības starp momentānām N₂O emisijām un dažādiem vides parametriem ($r < |0,50|$, $p > 0,05$).



4.3. attēls Sakarība starp momentānām N₂O emisijām un gaisa temperatūru, augsnes temperatūru 10 cm dziļumā un augsnes mitrumu. Pelēkā josla ap regresijas likni atspoguļo regresijas ticamības intervālu.

Ikgadējās augsnes kopējās elpošanas ($R_{kop.}$), heterotrofās elpošanas ($R_{het.}$), C ieneses ar augu virszemes un sakņu daļām, kā arī ikgadējo neto CO₂, CH₄ un N₂O emisiju no zemā purva kūdras augsnēm kopsavilkums parādīts 4.1. tabulā. Visas pētījumā ietvertās organiskās augsnes ir CO₂ emisiju avots. Ikgadējās neto CO₂ emisijas no kūdrainām augsnēm zālajos, kas aprēķinātas kā starpība no ikgadējās augsnes heterotrofās elpošanas un C ieneses ar augu atliekām (veģetācijas virszemes un sakņu daļām), variēja no 2,06 līdz 5,08 t CO₂-C ha⁻¹ gadā (vidējā vērtība ir 3,48 ± 0,33 t CO₂-C ha⁻¹ gadā). Pētījuma ietvaros noteiktais CO₂ emisiju faktors ir mazāks par Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) noklusēto CO₂ emisiju faktoru (IPCC, 2014), kas dots dziļi drenētiem zālājiem ar barības vielām bagātu organisko augsni mērenā klimata zonā (6,1 t CO₂-C ha⁻¹ gadā) un ar barības vielām nabadzīgu organisko augsni (5,3 t CO₂-C ha⁻¹ gadā). Tajā pašā laikā pētījuma ietvaros noteiktais CO₂ emisiju faktors ir līdzīgs IPCC noklusētam CO₂ emisiju faktoram (IPCC, 2014), kas dots vidēji drenētiem zālājiem ar barības vielām bagātu organisko augsni (3,6 t CO₂-C ha⁻¹ gadā) un emisiju faktoram, kas noteikts, piemēram, pētījumā Somijā (3,95 t CO₂-C ha⁻¹ gadā, Maljanen et al., 2004). Ikgadējais neto CO₂ emisiju faktors, kas noteikts

meliorētiem zālājiem ar kūdras augsni iepriekš veiktā pētījumā Latvijā (Licite, Lupikis, 2020) ir nedaudz lielāks ($4,4 \text{ t CO}_2\text{-C ha}^{-1}$ gadā) nekā noteikts šī pētījuma ietvaros. Pētījuma ietvaros būtiska korelācija starp ikgadējam neto CO_2 emisijām un organiskās augsnes slāņa biezumu vai organiskā C uzkrājumu augsnē netika konstatēta ($r < 0,50$, $p > 0,05$), bet ikgadējās neto CO_2 emisijas pozitīvi korelēja ar vidējo gruntsūdens līmeņa dziļumu ($r = 0,52$), lai gan korelācija nav statistiski būtiska ($p = 0,150$).

Tabula 4.1.

SEG (neto CO_2 , CH_4 un N_2O) emisiju faktori zālājiem ar zemā purva kūdras augsnēm. Salīdzinājumam tabulā pievienoti arī IPCC noklusētie emisiju faktori (IPCC, 2014) un emisiju faktori zālājiem ar kūdras augsnēm, kas izstrādāti iepriekš veiktā pētījumā Latvijā (Licite, Lupikis, 2020)

Organiskās augsnes slāņa biezums, cm	Izmēģinājuma objekts (RS), mērījumu punkts	CH_4 , kg C ha^{-1} gadā	N_2O , kg N ha^{-1} gadā	$R_{\text{kop.}}$, t C ha^{-1} gadā	$R_{\text{het.}}$ *, t C ha^{-1} gadā	C_{ienese} ** t C ha^{-1} gadā	$R_{\text{het.}} - C_{\text{ienese}}$, t C ha^{-1} gadā
< 20 cm	RS1, A	-0,66	4,63	8,78	6,17	1,28	4,90
	RS3, A	-5,03	1,27	10,09	7,09	2,01	5,08
	RS3, B	-4,09	1,81	8,85	6,22	2,62	3,60
20-40 cm	RS1, B	0,59	1,23	7,76	5,46	1,67	3,78
	RS1, C	0,26	1,15	8,47	5,95	2,72	3,23
	RS2, A	-0,82	6,29	9,52	6,69	4,01	2,69
	RS3, C	-2,73	-0,06	8,04	5,65	2,87	2,78
> 40 cm	RS2, B	0,86	4,12	8,03	5,64	3,58	2,06
	RS2, C	1,07	1,03	7,42	5,21	2,01	3,21
< 20 cm	Vidēji	$-3,26 \pm 1,33$	$2,39 \pm 0,70$	$8,55 \pm 0,29$	$6,01 \pm 0,20$	$2,53 \pm 0,30$	$3,48 \pm 0,33$
20-40 cm	Vidēji	$-0,68 \pm 0,75$					
> 40 cm	Vidēji	$0,96 \pm 0,10$					
Organiskās augsnes ar kūdras slāņa biezumu > 40 cm and C saturu augsnē (0-20 cm slānī) > 190 g kg^{-1} (Licite, Lupikis, 2020)		$57,8 \pm 44,3$	$0,26 \pm 0,25$	-	-	-	$4,39 \pm 0,87$
Noklusētie IPCC emisiju faktori meliorētām, organiskām augsnēm zālajos (dziļi drenēta, barības vielām bagāta platība mērenā klimata zonā) (IPCC, 2014)		12,0 (95% ticamības intervāls: 1,8-21,7)	8,2 (95% ticamības intervāls: 4,9-11)	-	-	-	6,1 (95% ticamības intervāls: 5,0-7,3)

* $R_{\text{het.}}$ aprēķināts kā 70% no $R_{\text{kop.}}$ atbilstoši vidējiem $R_{\text{kop.}}$ un $R_{\text{het.}}$ mērījumu rezultātiem.

** Ikgadējā C ienese ar augu atliekām (veģetācijas virszemes un sakņu daļām).

Pētījumā ietvertās organiskās augsnes zālajos bija gan neliels CH₄ emisiju avots, gan CH₄ piesaistes vieta, vidējā CH₄ emisiju vērtība bija $-1,17 \pm 0,75$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā. Kopumā CH₄ emisijas un piesaiste dod nebūtisku ieguldījumu kopējā SEG emisiju bilancē organiskām augsnēm zālajos Latvijā. Zālāji ar organiskām augsnēm, kuras ir nelielas CH₄ piesaistes vietas vai CH₄ emisiju neitrālas, ir identificēti arī iepriekš veiktos pētījumos Dānijā (Petersen et al., 2012), Vācijā (Eickenscheidt et al., 2015) un Ziemeļvalstīs (piem., Maljanen et al., 2004, 2010). Noklusētais IPCC CH₄ emisiju faktors, kas dots meliorētiem zālājiem mērenā klimata zonā ir būtiski lielāks nekā noteikts mūsu pētījumā un variē no 1,8 kg CH₄ ha⁻¹ gadā ar barības vielām nabadzīgām organiskām augsnēm līdz 39 kg CH₄ ha⁻¹ gadā vidēji drenētām, ar barības vielām bagātām organiskām augsnēm (IPCC, 2014). Arī CH₄ emisiju faktors, kas noteikts meliorētiem zālājiem ar kūdras augsnēm (kūdras slāņa biezums > 40 cm) iepriekš veiktā pētījumā Latvijā (Licite, Lupikis, 2020) ir ievērojami lielāks ($57,8$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā) nekā šī pētījuma ietvaros noteiktais. Visi pētījumā ietvertie izpētes objekti bija dziļi drenēti un vidējais gruntsūdens līmenis bija > 50 cm, izņemot vienu mērījumu punktu, kurā vidējais gruntsūdens līmenis bija $27,2 \pm 3,8$ cm un organiskās augsnes slāņa biezums bija 70 cm. Šajā mērījumu punktā tika konstatētas arī lielākās ikgadējās CH₄ emisijas ($1,07$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā). Kopumā ikgadējās CH₄ emisijas pozitīvi korelē ar organiskās augsnes slāņa biezumu ($r = 0,63$, $p = 0,067$), organiskā C un kopējā N uzkrājumu augsnē ($r = 0,86$, $p = 0,003$ un $r = 0,62$, $p = 0,075$, attiecīgi). Korelācija starp ikgadējām CH₄ emisijām un vidējo gruntsūdens līmeni netika konstatēta. Iepriekš veiktos pētījumos ir konstatēts, ka CH₄ emisijas un to variācija palielinās palielinoties gruntsūdens līmenim (gruntsūdens līmenim pietuvojoties zemes virsmai) un būtiskas CH₄ emisijas novērojamas gruntsūdens līmenim sasniedzot vismaz 20 cm līmeni (Tiemeyer et al., 2016). Šī pētījuma ietvaros vidējais gruntsūdens līmenis mērījuma punktos nepārsniedza 27 cm, līdz ar to apstākļi ir labvēlīgāki metanotrofijai (metāna patērēšanai) nekā metanoģenēzei (metāna veidošanai).

Intensīvi apsaimniekoti zālāji ar organiskām augsnēm var būt būtisks N₂O emisiju avots (van Beek et al., 2010). Ikgadējās N₂O emisijas variēja no $-0,06$ līdz $6,29$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā (vidējā vērtība $2,39 \pm 0,70$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā). Noklusētais IPCC emisiju faktors, kas dots meliorētiem zālājiem ar barības vielām bagātām organiskām augsnēm mērenā klimata joslā, variē no $1,6$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā vidēji drenētām platībām līdz $8,2$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā dziļi drenētām platībā (IPCC, 2014). Šajā pētījumā ietvertie izpētes objekti atbilst dziļi drenētām platībām ar organiskām vielām bagātām augsnēm un noteiktais N₂O emisiju faktors ir mazāks kā attiecīgais noklusētais IPCC emisiju faktors. Savukārt N₂O emisiju faktors, kas noteikts meliorētām kūdras augsnēm (kūdras slāņa biezums > 40 cm) zālajos iepriekš veiktā pētījumā Latvijā (Licite, Lupikis, 2020), ir ievērojami mazāks ($0,3$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā) kā emisiju faktors, kas noteikts šī pētījuma ietvaros. Kopumā vērojama liela telpiska N₂O emisiju no organiskām augsnēm variācija līdzīgi kā tas bija konstatēts arī iepriekš veiktos pētījumos, piemēram Somijā (Maljanen et al., 2004) un Vācijā (Tiemeyer et al., 2016). Turklāt pētījumos nereti tiek uzsvērtā N saturošu mēslošanas līdzekļu lietošanas, gruntsūdens līmeņa un temperatūras ziemas periodā ietekme uz N₂O emisijām no organiskām augsnēm zālajos (van Beek et al., 2010, Leppelt et al., 2014). Šī pētījuma ietvaros tika konstatēt pozitīva korelācija starp N₂O emisijām un N uzkrājumu augsnē 0-40 cm dziļumā ($r = 0,59$, $p = 0,095$) un gruntsūdens elektrovadītspēju ($r = 0,65$, $p = 0,056$), savukārt negatīva korelācija tika konstatēta ar izšķīdušā organiskā oglekļa (DOC) koncentrāciju gruntsūdenī ($r = -0,80$, $p = 0,010$).

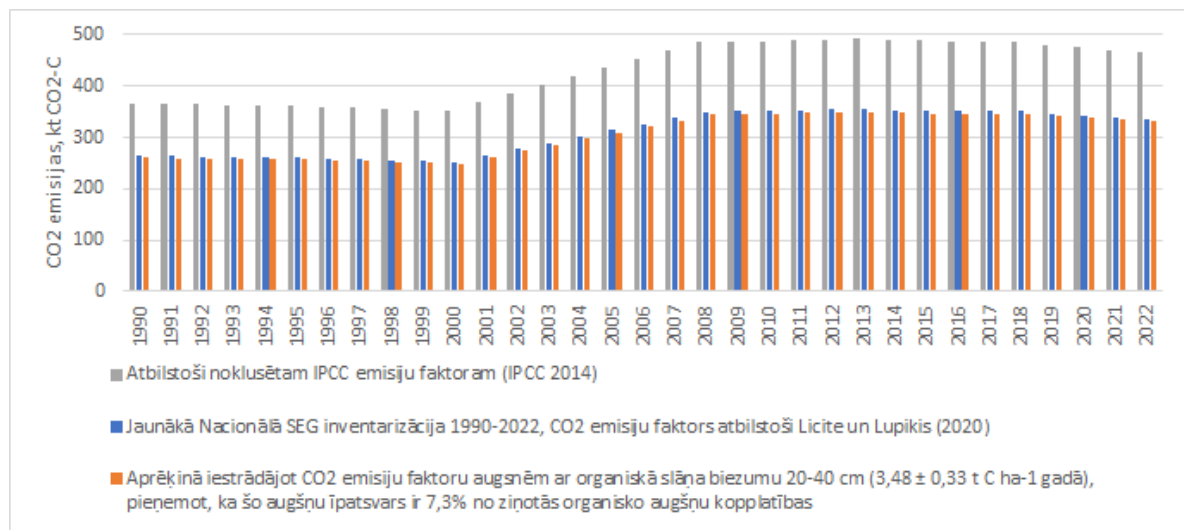
Plašāks pētījuma rezultātu izklāsts ietverts zinātniskā publikācijā (*Impact of soil organic layer thickness on soil-to-atmosphere GHG fluxes in grassland in Latvia*), kas sagatavota iesniegšanai žurnālā *Agriculture* (žurnāls indeksēts Scopus un SCIE (Web of Science) datu bāzēs, JCR Q1 (*Agronomy*)).

SEG emisiju faktoru integrācija Nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā

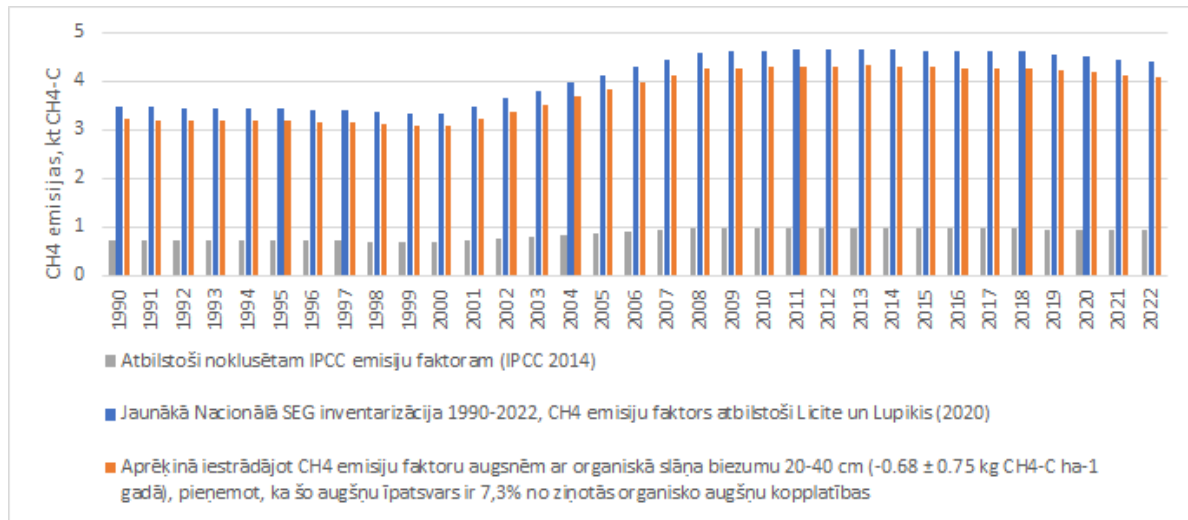
Pētījuma ietvaros izstrādāto SEG emisiju faktoru (augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm) integrācijas Nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā potenciālā ietekme uz SEG emisijām zālāju kategorijā parādīta attēlā 4.4. – 4.7. Attēlos atspoguļots šādu situāciju salīdzinājums (kopējā organisko augšņu platība atbilstoši jaunākajai Nacionālajai SEG inventarizācijai 1990.-2022. gadam):

1. SEG emisijas aprēķinātas atbilstoši IPCC noklusētiem emisiju faktoriem;
2. SEG emisijas aprēķinātas atbilstoši jaunākajā Nacionālajā SEG inventarizācijā izmantotai metodikai, emisiju faktori atbilstoši Licite, Lupikis (2020);
3. SEG emisijas aprēķinātas, aprēķinā integrējot pētījuma ietvaros izstrādātos SEG emisiju faktorus augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm, pieņemot, ka šo augšņu īpatsvars visā laika rindā (1990.-2022. gads) ir 7,3% no ziņotās organisko augšņu kopplatības.

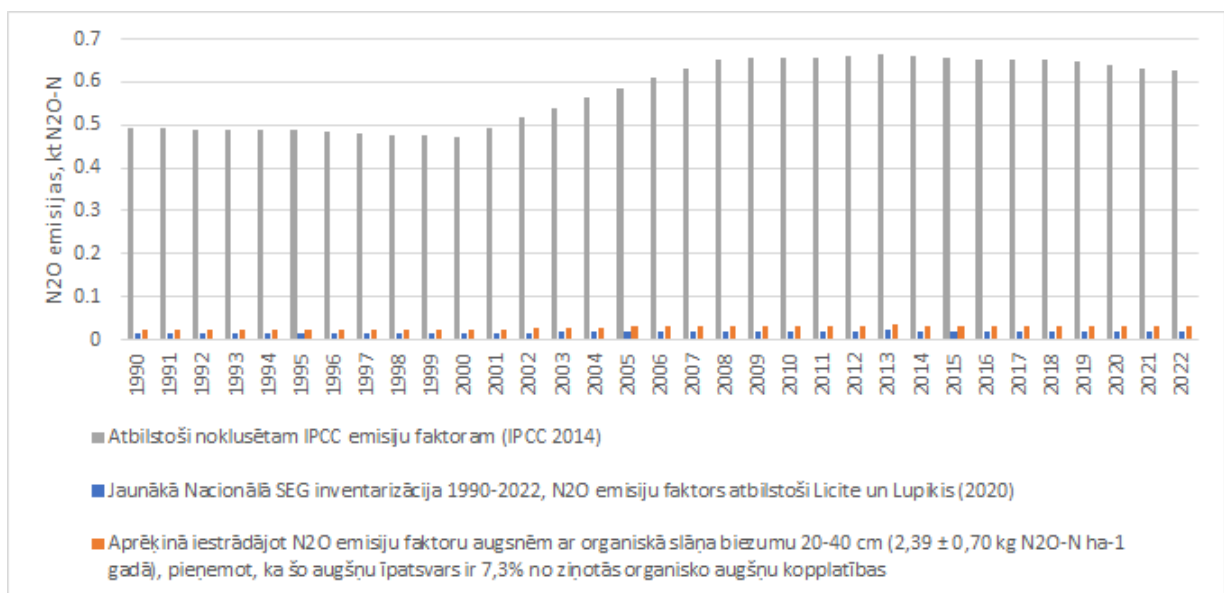
Kopumā vērojams SEG emisiju no organiskām augsnēm zālajos samazinājums, ja SEG emisijas aprēķinātas, aprēķinā integrējot pētījuma ietvaros izstrādātos SEG emisiju faktorus augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm (Tabula 4.1.), salīdzinot ar šobrīd ziņoto SEG emisiju apjomu. Kopējais SEG emisiju samazinājums ir tieši atkarīgs no augšņu ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm īpatsvara no kopējās organisko augšņu platības. Dotajā aprēķinā pieņemts, ka augšņu ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm īpatsvars ir 7,3% no kopējās organisko augšņu platības, bet organisko augšņu platības atkarībā no organiskā slāņa biezuma ir precizējamas turpmākajos pētījumos. Tāpat pētījuma rezultāti norāda, ka nozīmīgs SEG emisiju avots var būt ar organisko vielu bagātas augsnes, kurām organiskā slāņa biezums < 20 cm.



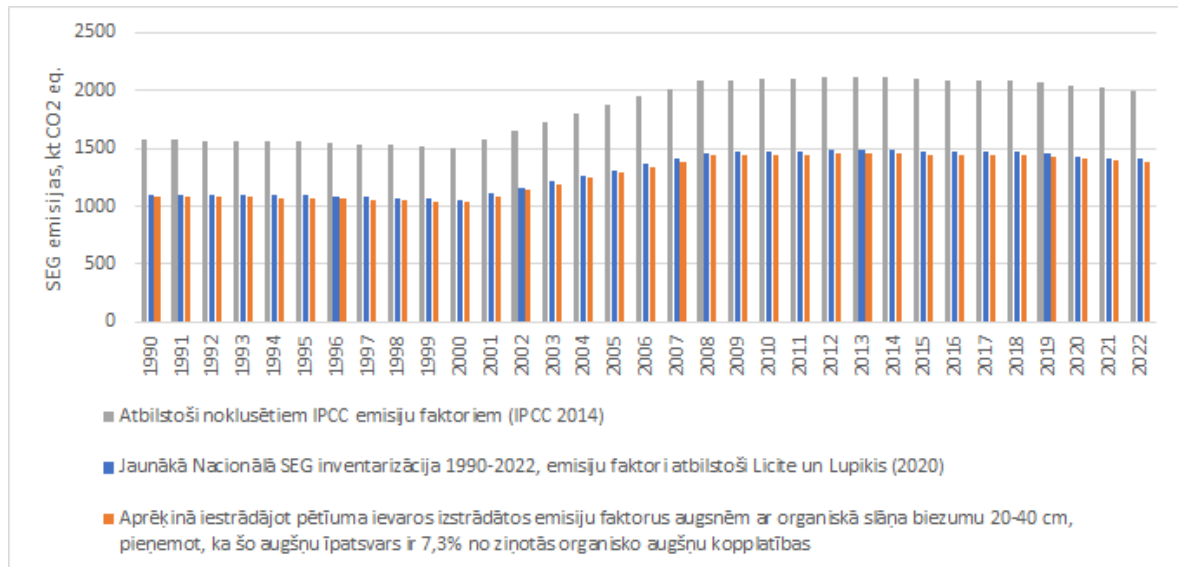
4.4. attēls **CO₂ emisijas no organiskām augsnēm zālajos**: 1) atbilstoši noklusētam IPCC CO₂ emisiju faktoram (6,1 t CO₂-C ha⁻¹ gadā, IPCC, 2014); 2) atbilstoši jaunākajai Nacionālajai SEG inventarizācijai (CO₂ emisiju faktors 4,4 t CO₂-C ha⁻¹ gadā atbilstoši Licite, Lupikis, 2020); 3) aprēķinā iestrādājot CO₂ emisiju faktoru augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm (3,48 ± 0,33 t CO₂-C ha⁻¹ gadā), pieņemot, ka šo augšņu īpatsvars ir 7,3% no ziņotās organisko augšņu kopplatības.



4.5. attēls **CH₄ emisijas no organiskām augsnēm zālajos**: 1) atbilstoši noklusētam IPCC CH₄ emisiju faktoram ($12 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1}$ gadā, IPCC, 2014); 2) atbilstoši jaunākajai Nacionālajai SEG inventarizācijai (CH₄ emisiju faktors $57,8 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1}$ gadā atbilstoši Licite, Lupikis, 2020); 3) aprēķinā iestrādājot CH₄ emisiju faktoru augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm ($-0.68 \pm 0.75 \text{ kg CH}_4\text{-C ha}^{-1}$ gadā), pieņemot, ka šo augšņu īpatsvars ir 7,3% no ziņotās organisko augšņu kopplatības



4.6. attēls **N₂O emisijas no organiskām augsnēm zālajos**: 1) atbilstoši noklusētam IPCC N₂O emisiju faktoram ($8,2 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ gadā, IPCC, 2014); 2) atbilstoši jaunākajai Nacionālajai SEG inventarizācijai (N₂O emisiju faktors $0,26 \pm 0,25 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ gadā atbilstoši Licite, Lupikis, 2020); 3) aprēķinā iestrādājot N₂O emisiju faktoru augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm ($2,39 \pm 0,70 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ gadā), pieņemot, ka šo augšņu īpatsvars ir 7,3% no ziņotās organisko augšņu kopplatības.



4.7. attēls **SEG emisijas no organiskām augsnēm zālajos**: 1) atbilstoši noklusētiem IPCC SEG emisiju faktoriem (IPCC, 2014); 2) atbilstoši jaunākajai Nacionālajai SEG inventarizācijai (SEG emisiju faktori atbilstoši Licite, Lupikis, 2020); 3) aprēķinā integrējot pētījuma ievaros izstrādātos SEG emisiju faktoros augsnēm ar organiskā slāņa biezumu 20-40 cm, pieņemot, ka šo augšņu īpatsvars ir 7,3% no ziņotās organisko augšņu kopplatības

Secinājumi

1. Pētījuma objektos ar biežāku kūdras slāni bija ne tikai lielāks organiskā oglekļa, bet arī visu citu vērtēto augsnes biogēno element uzkrājums augsnes viena metra slānī. Augsnes ūdens pH vērtība bija ar mazu variāciju pētījuma laikā un būtiski neatšķīrās starp pētījuma objektiem un parauglaukumiem. Savukārt, augsnes ūdens elektrovadītspējai ir tieša sakarība ar biogēno element uzkrājumu augsnē, kā arī novērojama sakarība biogēno element koncentrācijai gruntsūdenī būt lielākai, kur arī to uzkrājums augsnē ir lielāks. Tomēr pētījuma rezultāti nenorāda, ka elektrovadītspēja vai atsevišķu biogēno elementu pieejamība būtu pielietojama augsnes emisiju prognozēšanai. Tendence novērojama tikai augsnes N₂O emisiju gadījumā – lielākas augsnes emisijas bija novērojamas objektā ar lielāku biogēno element pieejamību, tomēr sakarība ar pētījumā iegūtajiem rezultātiem nav kvantificējama. Lielākoties novērtētās augsnes N₂O emisijas dažādos pētījuma objekta parauglaukumos nebija statistiski būtiski atšķirīgas.
2. Arī kopējās elpošanas CO₂ emisiju gadījumā vidējā gruntsūdens līmeņa variācijas, vidējā gruntsūdens līmeņa, kūdras slāņa biezuma, organiskā oglekļa un citu biogēno element uzkrājuma dažādie atstākļi pētījuma parauglaukumos neatstāja nozīmīgu ietekmi uz emisiju variāciju vai statistiski būtisku ietekmi uz vidējām emisijām. Zīmīgi, ka lai gan divos no objektiem bija novērojama īslaicīga platības applūšana un augsnes mitruma piesātinājuma apstākļi, tas nerādīja būtisku ietekmi uz novērtētajām vidējām augsnes CO₂ emisijām.
3. Lai gan divos no objektiem augsne pētījuma laikā sasniedza mitruma piesātinājuma apstākļus, viens no šiem objektiem bija pētījumā vienīgais, kurā augsne nodoršināja metāna piesaisti no atmosfēras. Šajā objektā ar novēroto metāna piesaisti ir vismazākais kūdras slāņa biezums, kas, iespējams, bija noteicošais netipiskajā tendencē starp gruntsūdens līmeņa dinamiku un metāna emisijām. Šajā objektā bija būtiski lielāka veģetācijas pazemes biomasa, kas skaidrojams ar ierobežotu barības vielu pieejamību. Iespējams, ka tieši

- palielinātā veģetācijas pazemes biomasa bija noteicošais, kas šajā objektā radīja metāna piesaisti augsnē no atmosfēras – veģetācijas sakņu un metanofilo mikroorganismu simbiozes rezultātā. Tas norāda, ka zālajos kūdras slāņa biezums vai barības vielu pieejamība (kas savukārt ietekmē veģetācijas pazemes biomasas apjomu), iespējams, izmantojams kā vidējā gruntsūdens līmeņa dziļumam papildinošais faktors augsnes metāna emisiju prognozēšanai.
4. Organiskās augsnes zālajos Latvijā ir neto CO₂ emisiju avots (vidēji $3,48 \pm 0,33$ t CO₂-C ha⁻¹ gadā), turklāt CO₂ emisijas ir galvenā kopējo SEG emisiju komponente. Pētījumā ietvertās organiskās augsnes galvenokārt bija N₂O emisiju avots (vidēji $2,39 \pm 0,70$ kg N₂O-N ha⁻¹ gadā), savukārt attiecībā uz CH₄ organiskās augsnes var būt gan emisiju avots, gan piesaistes vieta atkarībā no organiskās augsnes slāņa biezuma (ikgadējās CH₄ emisijas variē no $-3,26 \pm 1,33$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā, ja organiskās augsnes slāņa biezums < 20 cm, līdz $0,96 \pm 0,10$ kg CH₄-C ha⁻¹ gadā, ja organiskā augsnes slāņa biezums > 40 cm).
 5. Kopumā ikgadējās SEG emisijas no kūdrainām augsnēm zālajos ir mazākas kā noklusētie IPCC emisiju faktori meliorētām, ar barības vielām bagātām organiskām augsnēm zālajos mērenā klimata zonā (IPCC, 2014), turklāt izstrādātie neto CO₂ un CH₄ emisiju faktori ir mazāki kā iepriekš noteikts zālājiem ar kūdras augsnēm Latvijā (Licite, Lupikis, 2020).

Conclusions

1. In study sites with a thicker layer of peat, there was not only a greater stock of organic carbon, but also of all other evaluated biogenic elements in a one-meter layer of soil. The pH value of soil water showed little variation during the study and did not differ significantly between study sites and sample plots. However, there is a direct relationship between the soil water's electrical conductivity and the stock of biogenic elements in the soil, and a noticeable relationship with higher biogenic element concentrations in groundwater where their accumulation in the soil is greater. However, the study results do not indicate that electrical conductivity or the availability of individual biogenic elements could be used to predict soil greenhouse gas emissions. A tendency was only observed in the case of soil N₂O emissions – higher soil emissions were observed in areas with greater availability of biogenic elements, but the correlation with the obtained study results is not quantifiable. Mostly, the assessed soil N₂O emissions in various sample plots of the study site were not statistically significantly different.
2. In the case of total CO₂ respiration emissions, variations in the average groundwater level, peat layer thickness, organic carbon, and other biogenic element stock in soil in the study sample plots did not have a significant impact on emission variation or a statistically significant effect on average emissions. Notably, although two of the sites experienced temporary flooding and soil moisture saturation conditions, this did not show a significant impact on the assessed average soil CO₂ emissions.
3. Even though two of the sites reached soil moisture saturation conditions during the study, one of these sites was the only one in the study where the soil facilitated methane removals from the atmosphere. This site, with the observed methane removals, had the least thickness of peat layer, which possibly was the determining factor in the atypical trend between groundwater level dynamics and methane emissions. This site had significantly greater vegetation belowground biomass, which may be explained by limited nutrient availability. Possibly, the increased vegetation belowground biomass was the determining factor in this site for creating methane removals in the soil from the atmosphere – as a result of the symbiosis between plant roots and methanophilic microorganisms. This indicates that in grasslands, the thickness of the peat layer or nutrient availability (which in turn affects the

amount of vegetation belowground biomass), could potentially be used as a supplementary factor to the average groundwater level depth in predicting soil methane emissions.

4. Studied organic soils in grassland in Latvia were sources of net CO₂ emissions (mean 3.48 ± 0.33 t CO₂-C ha⁻¹ yr⁻¹), furthermore net soil C losses (CO₂ emissions) were the main component of total soil GHG emissions. Annual C input into soil with above- and belowground parts of vegetation in grassland does not compensate for losses of soil C caused by mineralization of soil organic matter. No evidences were obtained that thickness of soil organic layer (ranged from 10 to 70 cm) and OC stock in soil can be considered as one of the main affecting factors of magnitude of net CO₂ emissions from drained organic soil.
5. Studied soils were mostly sources of N₂O emissions (mean 2.39 ± 0.70 kg N₂O-N ha⁻¹ yr⁻¹), while they can both emit and consume atmospheric CH₄ depending on thickness of soil organic layer (range from -3.26 ± 1.33 kg CH₄-C ha⁻¹ yr⁻¹ when thickness of soil organic layer < 20 cm to 0.96 ± 0.10 kg CH₄-C ha⁻¹ yr⁻¹ when thickness of soil organic layer > 40 cm).
6. In general, soil-to-atmosphere GHG fluxes from studied organic soils in grassland in Latvia were lower than those provided by the IPCC for deep-drained, nutrient-rich areas in temperate zone, as well as net CO₂ and CH₄ emissions from studied soils were lower than those estimated previously in grassland with deep peat soils in Latvia (Licite, Lupikis, 2020).

Izmantotā literatūra

1. Butlers A. (2023) Siltumnīcefekta gāzu emisiju ietekmējošie faktori eitrofos purvaiņos un kūdreņos. Promocijas darba kopsavilkums, 209 lpp. Pieejams: <https://www.silava.lv/images/Produkti/Promocijas-darbi/2023-Butlers-Aldis-Promocijas-darbs-Kopsavilkums.pdf>
2. Gill R.A. and Jackson R.B. (2000) Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytol.* (2000), 147, 13–31. Pieejams: <https://jacksonlab.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj20871/files/media/file/np00.pdf>
3. Pumpanen J., Longdoz B., Kutsch W.L. (2010) Field measurements of soil respiration: principles and constraints, potentials and limitations of different methods. Kutsch W.L., Bahn M., Heinemeyer A. (eds). *Soil carbon dynamics. An integrated methodology.* Cambridge University Press.
4. Epron D. (2010) Separating autotrophic and heterotrophic components of soil respiration: lessons learned from trenching and related root-exclusion experiments. Kutsch W.L., Bahn M., Heinemeyer A. (eds). *Soil carbon dynamics. An integrated methodology.* Cambridge University Press.
5. Tang X., Du J., Shi Y., Lei N., Chen G., Cao L., Pei X. (2020a) Global patterns of soil heterotrophic respiration – A meta-analysis of available dataset. *CATENA*, 191: 104574. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104574.
6. Tang X., Pei X., Lei N., Luo X., Liu L., Shi L., Chen G., Liang J. (2020b) Global patterns of soil autotrophic respiration and its relation to climate, soil and vegetation characteristics. *Geoderma*, 369: 114339. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114339.
7. Berglund Ö., Berglund K., Klemetsson L. (2011) Plant-derived CO₂ flux from cultivated peat soils. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 61 (6), 508–513. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.510121>
8. Berglund Ö., Kätterer T., Meurer K.H.E. (2021) Emissions of CO₂, N₂O and CH₄ from cultivated and set aside drained peatland in Central Sweden. *Front. Environ. Sci.* 9:630721. doi: 10.3389/fenvs.2021.630721

9. Norberg L., Berglund Ö., Berglund K. (2016) Seasonal CO₂ emission under different cropping systems on Histosols in southern Sweden. *Geoderma Regional* 7(3), DOI: 10.1016/j.geodrs.2016.06.005
10. Säurich A., Tiemeyer B., Dettmann U., Don A. 2019. How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils? *Soil Biology and Biochemistry*, 135: 71–84. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.04.013.
11. Van den Pol-van Dasselaar A. (1998) Methane emissions from grasslands. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 179 p. <https://edepot.wur.nl/201574>
12. Butlers A.; Lazdiņš A.; Kalēja S.; Purviņa D.; Spalva G.; Saule G.; Bārdule A. CH₄ and N₂O emissions of undrained and drained nutrient-rich organic forest soil. *Forests* 2023, 14, 1390. <https://doi.org/10.3390/f14071390>
13. Petersen S.O., Hoffmann C.C., Schäfer C.-M., Blicher-Mathiesen G., Elsgaard L., Kristensen K., Larsen S.E., Torp S.B., Greve M.H. (2012) Annual emissions of CH₄ and N₂O, and ecosystem respiration, from eight organic soils in Western Denmark managed by agriculture. *Biogeosciences*, 9, 403–422. DOI:10.5194/bg-9-403-2012
14. Pärn J., Verhoeven J.T.A., Butterbach-Bahl K. et al. (2018) Nitrogen-rich organic soils under warm well-drained conditions are global nitrous oxide emission hotspots. *Nat Commun*, 9: 1135. DOI: 10.1038/s41467-018-03540-1.
15. Yu L., Zhang Q., Tian Y., Sun W., Scheer C., Li T., Zhang W. (2022) Global variations and drivers of nitrous oxide emissions from forests and grasslands. *Front. Soil Sci.*, 2. DOI: 10.3389/fsoil.2022.1094177.
16. IPCC. 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. (eds). IPCC, Switzerland.
17. Maljanen M., Komulainen V.M., Hytonen J., Martikainen P., Laine J. (2004) Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biol Biochem*, 36(11): 1801–1808. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.05.003.
18. Licite I., Lupikis A. (2020) Impact of land use practices on greenhouse gas emissions from agriculture land on organic soils. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia, p. 1823–1830. <https://www.tf.lbtu.lv/conference/proceedings2020/Papers/TF492.pdf>
19. Eickenscheidt T., Heinichen J., Drösler M. (2015) The greenhouse gas balance of a drained fen peatland is mainly controlled by land-use rather than soil organic carbon content. *Biogeosciences*, 12: 5161–5184. DOI:10.5194/bg-12-5161-2015
20. Maljanen M., Sigurdsson B.D., Guðmundsson J., Óskarsson H., Huttunen J.T., Martikainen P.J. (2010) Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordiccountries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences*, 7, 2711–2738. DOI: 10.5194/bg-7-2711-2010.
21. Tiemeyer B., Albiac Borraz E., Augustin J., Bechtold M., Beetz S., Beyer C., Drösler M., Ebli M., Eickenscheidt T., Fiedler S., Förster C., Freibauer A., Giebels M., Glatzel S., Heinichen J., Hoffmann M., Höper H., Jurasinski G., Leiber-Sauheitl K., Peichl-Brak M., Roßkopf N., Sommer M., Zeitz J. (2016) High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Glob Chang Biol.*, 22(12): 4134-4149. DOI: 10.1111/gcb.13303.
22. van Beek C.L., Pleijter M., Jacobs C.M.J., Velthof G.L., van Groenigen J.W., Kuikman P.J. (2010) Emissions of N₂O from fertilized and grazed grassland on organic soil in relation to groundwater level. *Nutr Cycl Agroecosyst* 86:331–340. DOI 10.1007/s10705-009-9295-2

23. Leppelt T, Dechow R, Gebbert S., Freibauer A., Lohila A., Augustin J., Drösler M., Fiedler S., Glatzel S., Höper H., Järveoja J., Lærke P.E., Maljanen M., Mander Ü., Mäkiranta P., Minkinen K., Ojanen P., Regina K., Strömgren M. (2014) Nitrous oxide emission hotspots from organic soils in Europe. *Biogeosciences*, 11, 6595–6612.
24. Loftfield, N., Flessa, H., Augustin, J., & Beese, F. (1997). Automated Gas Chromatographic System for Rapid Analysis of the Atmospheric Trace Gases Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide. *Journal of Environment Quality*, 26(2), 560. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600020030x

Pielikumi

1. Pielikums. Augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašības pētījuma parauglaukumos

Objekts	Paraug- laukums	Slānis, cm	Tilpummasa, kg m ⁻³	C _{kop.} , g kg ⁻¹	C _{org.} , g kg ⁻¹	C _{karb.} , g kg ⁻¹	pH _{KCL}	N _{tot.} , g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg, g kg ⁻¹
E2S_2	A	0-10	539,10	120,11	120,11	0,00	6,50	10,57	0,79	4,74	17,03	6,69
		10-20	669,10	133,34	133,34	0,00	6,47	10,94	0,84	6,23	21,71	11,10
		20-30	547,77	155,31	155,31	0,00	6,33	12,73	1,09	4,45	23,79	6,50
		30-40	967,29	16,79	16,79	0,00	6,29	1,31	0,31	2,88	5,27	4,53
		40-50	1575,54	7,58	7,58	0,00	6,10	0,57	0,28	3,71	4,38	5,49
		50-75	1332,61	30,53	28,80	1,73	7,00	0,55	0,48	12,70	31,48	16,87
		75-100	1314,09	33,72	31,35	2,38	7,50	0,46	0,45	13,80	34,26	17,03
E2S_2	B	0-10	811,96	114,57	114,57	0,00	6,81	9,79	0,81	3,91	21,38	6,25
		10-20	654,90	124,76	124,76	0,00	6,72	10,67	0,92	4,51	27,63	7,90
		20-30	588,72	137,18	137,18	0,00	6,69	11,86	1,13	4,41	32,14	6,52
		30-40	1190,39	25,20	25,20	0,00	6,90	2,04	0,36	1,69	4,87	2,42
		40-50	1563,29	4,78	4,78	0,00	7,12	0,33	0,17	0,99	2,11	1,69
		50-75	1286,27	37,40	35,24	2,17	7,39	0,46	0,45	10,49	36,03	17,46
		75-100	1319,02	33,01	30,67	2,35	7,53	0,44	0,46	13,11	36,53	17,43
E2S_2	C	0-10	603,85	122,40	122,40	0,00	5,91	9,88	0,95	4,48	15,42	4,89
		10-20	253,03	391,42	391,42	0,00	5,81	26,07	1,20	3,62	37,83	4,83
		20-30	222,54	388,66	388,66	0,00	5,84	26,04	1,10	3,78	41,35	5,22
		30-40	221,91	365,27	365,27	0,00	5,90	24,18	1,15	4,97	39,81	6,28
		40-50	260,87	359,60	359,60	0,00	5,93	21,37	0,82	4,36	42,04	5,92
		50-75	166,46	407,01	407,01	0,00	5,62	21,04	0,38	3,25	38,16	4,64
		75-100	1435,72	15,25	15,25	0,00	5,87	0,86	0,07	2,15	3,03	2,14

1. Pielikuma turpinājums

Objekts	Paraug- laukums	Slānis, cm	Tilpummasa, kg m ⁻³	C _{kop.} , g kg ⁻¹	C _{org.} , g kg ⁻¹	C _{karb.} , g kg ⁻¹	pH _{KCL}	N _{tot.} , g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg, g kg ⁻¹
E2S_3	A	0-10	582,00	107,38	107,38	0,00	5,79	9,61	0,86	0,93	7,08	1,32
		10-20	885,70	54,53	54,53	0,00	5,50	4,60	0,48	0,73	4,29	1,00
		20-30	1188,00	11,89	11,89	0,00	5,59	0,91	0,24	1,16	1,92	1,38
		30-40	1489,10	1,95	1,95	0,00	5,73	0,23	0,13	0,57	0,69	0,48
		40-50	1240,40	1,75	1,75	0,00	6,09	0,20	0,14	0,61	0,69	0,48
		50-75	1553,12	0,96	0,96	0,00	5,99	0,14	0,14	0,59	0,66	0,46
		75-100	1552,44	1,04	1,04	0,00	5,99	0,14	0,15	0,54	0,67	0,44
E2S_3	B	0-10	488,90	81,04	81,04	0,00	5,01	7,64	0,75	0,72	5,68	0,79
		10-20	1092,00	26,49	26,49	0,00	5,08	2,01	0,26	0,57	2,49	0,49
		20-30	1476,20	1,10	1,10	0,00	5,38	0,14	0,11	0,59	0,70	0,46
		30-40	1322,70	1,11	1,11	0,00	5,50	0,11	0,13	0,57	0,76	0,45
		40-50	1466,50	1,21	1,21	0,00	5,71	0,15	0,15	0,61	0,80	0,46
		50-75	1552,10	1,08	1,08	0,00	5,60	0,13	0,18	0,70	0,83	0,55
		75-100	1548,94	1,45	1,45	0,00	5,50	0,14	0,15	0,63	0,75	0,53
E2S_3	C	0-10	631,60	98,14	98,14	0,00	5,27	9,30	1,44	1,57	8,92	2,38
		10-20	720,50	64,59	64,59	0,00	5,15	6,11	1,36	1,08	5,45	1,60
		20-30	1373,30	0,90	0,90	0,00	5,34	0,11	0,20	0,59	0,98	0,65
		30-40	1393,20	0,76	0,76	0,00	5,48	0,16	0,20	0,61	0,89	0,57
		40-50	1220,60	1,01	1,01	0,00	5,51	0,14	0,21	0,61	0,89	0,55
		50-75	1554,40	0,81	0,81	0,00	5,77	0,12	0,18	0,51	0,83	0,49
		75-100	1549,11	1,43	1,43	0,00	5,70	0,20	0,18	0,48	0,75	0,43

1. Pielikuma turpinājums

Objekts	Paraug- laukums	Slānis, cm	Tilpummasa, kg m ⁻³	C _{kop.} , g kg ⁻¹	C _{org.} , g kg ⁻¹	C _{carb.} , g kg ⁻¹	pH _{KCL}	N _{tot.} , g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg, g kg ⁻¹
E2S_1	A	0-10	1119,18	60,20	60,20	0,00	4,95	4,88	0,42	0,92	5,21	1,66
		10-20	1277,68	66,18	66,18	0,00	5,10	5,34	0,43	0,93	5,33	1,63
		20-30	1247,27	68,98	68,98	0,00	5,16	5,51	0,42	0,89	5,08	1,53
		30-40	1724,06	8,85	8,85	0,00	5,10	0,65	0,25	1,00	2,65	1,77
		40-50	1700,56	2,99	2,99	0,00	5,33	0,26	0,21	0,89	1,75	1,57
		50-75	1973,02	9,93	9,04	0,89	8,21	0,10	0,18	0,54	25,00	1,78
		75-100	2156,12	16,30	14,86	1,44	8,46	0,08	0,14	0,45	30,53	1,73
E2S_1	B	0-10	1229,14	62,40	62,40	0,00	6,25	5,02	0,35	0,92	5,12	1,58
		10-20	1207,87	62,20	62,20	0,00	5,60	4,96	0,34	0,86	4,42	1,49
		20-30	1752,10	18,94	18,94	0,00	5,60	1,28	0,22	0,90	2,53	2,14
		30-40	1814,80	2,74	2,74	0,00	5,37	0,24	0,22	1,47	1,84	2,66
		40-50	1607,33	0,91	0,91	0,00	5,41	0,11	0,16	0,99	0,99	1,33
		50-75	2334,91	0,66	0,66	0,00	5,93	0,08	0,14	0,62	0,93	0,79
		75-100	2779,79	18,14	16,52	1,62	8,34	0,06	0,20	0,72	25,66	2,32
E2S_1	C	0-10	1287,33	38,35	38,35	0,00	7,61	1,97	0,35	0,90	19,64	2,14
		10-20	1557,02	34,10	34,10	0,00	7,44	1,89	0,32	0,93	19,31	2,42
		20-30	1675,75	22,79	21,12	1,67	8,23	0,13	0,14	0,53	28,36	2,57
		30-40	1673,66	17,90	16,27	1,63	8,46	0,10	0,15	0,53	27,75	3,54
		40-50	1596,25	17,89	16,43	1,46	8,30	0,14	0,17	0,65	25,92	3,04
		50-75	2225,01	7,97	7,24	0,73	8,17	0,27	0,19	0,78	21,05	1,93
		75-100	2811,77	19,40	17,88	1,52	8,11	0,23	0,22	0,83	27,23	2,87

2. Pielikums. Augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašību mērījumu vidējās vērtības pētījuma parauglaukumos atkarībā no augsnes slāņa

Objekts	Slānis, cm	Tilpummasa, kg m ⁻³	pH _{KCl}	C _{org.} , g kg ⁻¹	N _{tot.} , g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹
E2S_1	0-10	1212±85	6,27±1,33	53,65±13,3	3,95±1,72	0,37±0,04	0,91±0,01	9,99±8,36	1,79±0,3
	10-20	1348±185	6,04±1,23	54,16±17,49	4,06±1,89	0,36±0,06	0,91±0,04	9,69±8,35	1,85±0,51
	20-30	1558±272	6,33±1,66	36,35±28,29	2,31±2,83	0,26±0,14	0,77±0,21	11,99±14,24	2,08±0,52
	30-40	1738±72	6,31±1,87	9,29±6,78	0,33±0,29	0,21±0,05	1±0,47	10,75±14,73	2,66±0,88
	40-50	1635±57	6,34±1,69	6,78±8,43	0,17±0,08	0,18±0,03	0,84±0,17	9,55±14,18	1,98±0,93
	50-75	2178±186	7,44±1,31	5,65±4,41	0,15±0,1	0,17±0,03	0,65±0,12	15,66±12,91	1,5±0,62
	75-100	2583±370	8,3±0,18	16,42±1,51	0,12±0,09	0,19±0,04	0,67±0,2	27,8±2,49	2,31±0,57
E2S_2	0-10	652±143	6,41±0,46	119,02±4,03	10,08±0,43	0,85±0,09	4,38±0,43	17,94±3,08	5,94±0,94
	10-20	526±236	6,33±0,47	216,51±151,54	15,89±8,82	0,99±0,18	4,78±1,33	29,06±8,15	7,94±3,13
	20-30	453±201	6,29±0,43	227,05±140,25	16,88±7,95	1,1±0,02	4,21±0,38	32,43±8,79	6,08±0,75
	30-40	793±507	6,36±0,5	135,75±198,81	9,18±13	0,61±0,47	3,18±1,66	16,65±20,06	4,41±1,93
	40-50	1133±756	6,38±0,64	123,98±204,05	7,42±12,08	0,42±0,35	3,02±1,78	16,17±22,42	4,37±2,33
	50-75	928±660	6,67±0,93	157,02±216,52	7,35±11,86	0,43±0,05	8,81±4,94	35,22±3,41	12,99±7,24
	75-100	1356±69	6,97±0,95	25,75±9,1	0,59±0,23	0,33±0,22	9,69±6,53	24,61±18,72	12,2±8,72
E2S_3	0-10	568±72	5,35±0,4	95,52±13,37	8,85±1,06	1,02±0,37	1,07±0,44	7,23±1,62	1,5±0,81
	10-20	899±186	5,24±0,23	48,54±19,74	4,24±2,07	0,7±0,58	0,79±0,26	4,08±1,49	1,03±0,56
	20-30	1346±146	5,43±0,13	4,63±6,29	0,39±0,45	0,18±0,07	0,78±0,33	1,2±0,64	0,83±0,48
	30-40	1402±84	5,57±0,14	1,27±0,61	0,17±0,06	0,16±0,04	0,58±0,02	0,78±0,1	0,5±0,06
	40-50	1309±137	5,77±0,29	1,32±0,38	0,16±0,03	0,17±0,04	0,61±0	0,79±0,1	0,5±0,05
	50-75	1553±1	5,79±0,2	0,95±0,14	0,13±0,01	0,17±0,02	0,6±0,1	0,77±0,1	0,5±0,05
	75-100	1550±2	5,73±0,24	1,31±0,23	0,16±0,03	0,16±0,02	0,55±0,08	0,72±0,05	0,47±0,06

„Ilgtspējīgas augsnes resursu pārvaldības uzlabošana lauksaimniecībā (E2SOILAGRI)”

3.Pielikums. Principālo komponentu analīze izmantojot parauglaukumos veikto mērījumu vidējās vērtības

