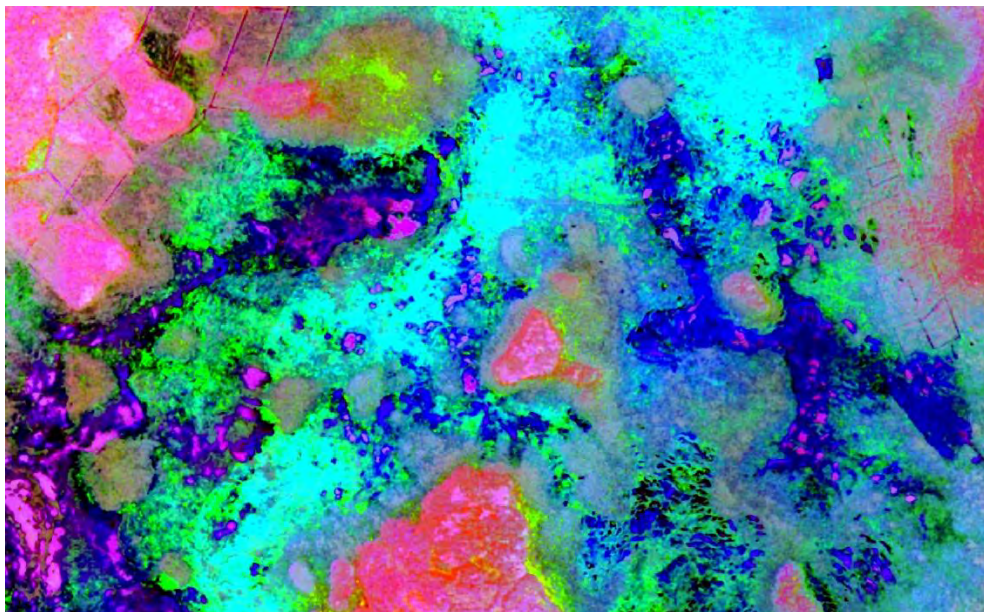


VIDES RISINĀJUMU INSTITŪTS



ATTĀLAJĀ IZPĒTĒ BALSTĪTA SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANAS METODIKA PURVIEM



2019

Autori: Rūta Abaja, Jevgēnijs Fiļipovs, Līga Strazdiņa, Māra Pakalne

Materiāla citēšanas paraugs: Abaja R., Fiļipovs J., Strazdiņa L., Pakalne M., 2019. Attāļajā izpētē balstīta siltumnīcefekta gāzu novērtēšanas metodika purviem. Vides risinājumu institūts, Priekuļu novads, 66 lpp.

Vāka attēla autors: Vides risinājumu institūts

Vāka attēls ir attāļās izpētes spektrālo datu apstrādes paraugs no Madiešēnu purva daļas dabas liegumā "Augstroze", kurā izcelta savstarpēji vismazāk korelējošā spektrālā informācija, t.i. izceļ spilgti spektrāli uztveramās atšķirības zemes segumā.



**Latvijas
vides
aizsardzības
fonds**

Materiāls sagatavots Latvijas Vides aizsardzības fonda finansētā projekta "Attāļajā izpētē balstītas SEG monitoringa metodikas izstrāde purviem" (Projekta Nr. 1-08/146/2018) ietvaros.

SATURS

IEVADS.....	5
1. SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANAS METOŽU APSKATS	6
1.1. TIEŠO MĒRĪJUMU METODES.....	6
Slēgto kameru metode.....	6
Eddi kovariācijas gāzu apmaiņas mērīšanas metode.....	11
1.2. NETIEŠO MĒRĪJUMU METODES	13
GEST metodika.....	13
Citas netiešo mērījumu metodes	17
2. ATTĀLĀS IZPĒTES PIELIETOJUMS SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANĀ.....	18
2.1. SATELĪTDATU ATTĀLĀ IZPĒTE	18
2.2. AVIĀCIJAS ATTĀLĀS IZPĒTES DATI.....	19
2.3. DRONU ATTĀLĀS IZPĒTES DATI	20
3. PROJEKTĀ IZSTRĀDĀTĀ SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANAS METODIKA....	21
3.1. IZPĒTES TERITORIJAS	21
Pēterezera viga un Kukšupes viga Slīteres nacionālajā parkā.....	21
Kaļķainais zāļu purvs dabas parkā “Engures ezers”	23
Sudas-Zviedru purvs Gaujas nacionālajā parkā	25
Madiešēnu purvs un Namītēnu purvs dabas liegumā “Augstroze”	26
3.2. DATU IEVĀKŠANA	28
Attālās izpētes dati	28
Lauka references dati	29
3.3. DATU ANALĪZE	31
4. PROJEKTA REZULTĀTS.....	36
4.1. MADIEŠĒNU PURVS UN NAMĪTĒNU PURVS DABAS LIEGUMĀ “AUGSTROZE”	36
4.2. SUDAS-ZVIEDRU PURVS.....	39
4.3. PĒTEREZERA VIGA	41
4.4. KUKŠUPES VIGA	42
4.5. ENGURES EZERA DABAS PARKA PURVI	44
5. FINANŠU UN LAIKA PATĒRIŅA IZVĒRTĒJUMS.....	48
5.1. KAĻĶAINAIS ZĀĻU PURVS DABAS PARKĀ “ENGURES EZERS”	48
5.2. MADIEŠĒNU UN NAMĪTĒNU PURVI DABAS LIEGUMĀ “AUGSTROZE”	49
6. SECINĀJUMI.....	51
6.1. SECINĀJUMI PĒC LITERATŪRAS ANALĪZES VEIKŠANAS	51
6.2. SECINĀJUMI PĒC PROJEKTA REZULTĀTIEM.....	52

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAĶSTS	53
PIELIKUMI	57

IEVADS

Klimata pārmaiņas kļūst par arvien aktuālāku tematu ne vien zinātnieku vidū, bet arī vispārējā sabiedrībā. Spēja novērst vai pielāgoties jau šobrīd jūtamām un nākotnē paredzamām klimata pārmaiņām ir atkarīga no objektīvu datu pieejamības, kas palīdz izvērtēt pašreizējo un iespējamo darbību sekmes. Kā norādīts Vides politikas pamatnostādņēs 2014.-2020. gadam Latvijā viena no aktuālajām problēmām klimata pārmaiņu saistībā ir datu un zināšanu trūkums. Šo datu un zināšanu trūkums traucē sekmīgu politikas plānošanas dokumentu izstrādi, kas nosaka pielāgošanās pasākumus klimata pārmaiņām.

Nepārprotami ir pierādīts, ka siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas apjomu palielināšanās ir saistīta ar cilvēka saimniecisko darbību un pakāpeniski noved pie būtiskām globālām klimata pārmaiņām. Neskatoties uz to, ka purvi kalpo par būtisku dabisko SEG krātuvi, taču kūdras ieguve un purvu nosusināšana atbrīvo purvos ieslēgtās SEG, veicinot klimata pārmaiņas (Lee *et al.*, 2017). Latvijā neskatoties uz to, ka purvi aizņem 4,9% no valsts teritorijas, bet kūdras atradnes 10,4% (Pakalne 2008). Tā ir būtiska daļa no valsts platības, kurā notiekošais ir cieši saistīts ar kopējo SEG apriti.

Latvija ir uzņēmusies īstenot ANO Klimata pārmaiņu konvencijā un Kioto protokolā minēto, kas ietver arī apņemšanos samazināt SEG emisiju apjomus. Lai šo uzdevumu veiktu, ir nepieciešams precīzs, efektīvs un starptautiski salīdzināms SEG emisijas apjomu monitorings. Starpvalstu klimata izmaiņu paneļa (no angļu val. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) izdotajās vadlīnijās par SEG emisiju novērtēšanu mitrājos (IPCC 2014, 2015) ir sniegtas metodes, kas piemērotas reģionāli ar dažādu degradēšanos un vides apstākļu ietekmi uz mitrājiem. To ieviešana līdz šim Latvijā SEG novērtēšanai purvos ir notikusi ierobežotā apmērā ar laika un finanšu resursu ietilpīgām metodēm. Sākot no 2026. gada, Latvija sāks atskaitīties starptautiski par SEG emisijas apjomiem no cilvēka darbības ietekmētiem mitrājiem. Līdz tam ir nepieciešams izstrādāt Latvijas mitrājiem atbilstošu SEG vērtēšanas sistēmu un uzskaiti.

Ar Latvijas vides aizsardzības fonda finansiālo atbalstu Vides risinājumu institūts projektā "Attālajā izpētē balstītas SEG monitoringa metodikas izstrāde purviem" (Projekta Nr. 1-08/146/2018) ir izstrādājis inovatīvu metodiku SEG novērtēšanai purvos. Metode ir balstīta uz Vācijā izstrādātās, bet Latvijā maz pazīstamas SEG novērtēšanas metodikas – GEST (no angļu val. *Greenhouse Gas Emission Site Types*), kas ir piemērota Latvijas apstākļiem un apvienota ar attālās izpētes tehnoloģiju sniegtajām iespējām datu ieguvē un analīzē. Šis metodiskais materiāls sniedz ieskatu gan par līdzšinējām SEG vērtēšanas metodēm, gan apraksta projektā izstrādāto metodiku. Metodiskā apraksta noslēgumā ir sniegts finansiālais un laika patēriņa izvērtējums par šajā projektā izstrādāto metodi un līdz šim Latvijas purvos biežāk pielietoto slēgto kameru metodi. Projektā gūtie secinājumi ir apkopoti darba nobeigumā un tie kā rekomendācijas ir iesniegti Vides reģionālās un attīstības ministrijai un Dabas aizsardzības pārvaldei, lai sekmētu SEG novērtēšanas metožu attīstību un to praktisko pielietojamību purvu biotopu atjaunošanas un stāvokļa uzlabošanas projektos Latvijā.

Rūta Abaja

Projekta vadītāja un Vides risinājumu institūta pētniece

1. SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANAS METOŽU APSKATS

Siltumnīcefekta gāzu mērījumu veikšanai purvos, nepieciešamas atbilstošas metodes, kuras atļauj pastāvīgi un precīzi veikt gāzu apmaiņas kopējo izmaiņu monitoringu – oglekļa dioksīda CO₂, metāna CH₄ un slāpekļa oksīda N₂O ilgākā laika posmā. Lai noteiktu ikdienas, sezonālās un ikgadējās atšķirības, nepieciešami pētījumi vairāku gadu garumā. Kopējo CO₂ izmaiņu noteikšana ir izaicinājums, jo jāņem vērā, ka kopējā CO₂ apmaiņa starp purva ekosistēmu un atmosfēru ir divu pretēju plūsmu rezultāts – augiem uzņemot CO₂ fotosintēzes rezultātā un CO₂ atbrīvošana augu, mikroorganismu un dzīvnieku elpošanas rezultātā.

Purvu nosusināšana un kūdras ieguve palielina aerobo sadalīšanos, kā rezultātā purvi pārveidojas no oglekļa uzkrājējiem par oglekļa emisiju avotu. Pasaulē purvu nosusināšanas rezultātā oglekļa un slāpekļa emisijas ik gadu sasniedz 2-3 gigatonnas CO₂ ekvivalenta (Joosten un Couwenberg, 2009).

Metodes, kuras pasaulē pielieto siltumnīcefekta gāzu (SEG) novērtēšanai, iedala divos veidos – tiešajās un netiešajās metodēs. Tiešās SEG novērtēšanas metodes balstās uz siltumnīcefekta gāzu iegūšanu un novērtēšanu lauka apstākļos, savukārt netiešās metodes pastarpināti novērtē SEG emisiju apmērus, neveicot pašu gāzu iegūšanu un novērtēšanu. Līdzšinējās SEG novērtēšanas metodes aplūkotas šajā nodaļā.

1.1. TIEŠO MĒRĪJUMU METODES

Piemērotākās un plašāk pielietotās metodes SEG tiešo mērījumu veikšanai ir slēgto kameru metode un Eddi kovariances gāzu apmaiņas mērīšanas metode.

Tiešos SEG emisiju mērījumus var veikt divējādi:

- nepārtraukti, izmantojot stacionārās iekārtas, kuras pastāvīgi analizē aktuālo koncentrāciju lauka apstākļos (*in situ*);
- ievācot paraugus stikla vai metāla traukos un veicot siltumnīcefekta gāzu mērījumus laboratorijas apstākļos, izmantojot gāzu hromatogrāfus.

Slēgto kameru metode

Lai noteiktu siltumnīcefekta gāzu CO₂, CH₄ un N₂O emisijas purvos, var izmantot necaurspīdīgo kameru metodi (Hutchinson un Livingston, 1993), un caurspīdīgo kameru metodi, kas ļauj noteikt zemesaugu fotosintētiskās aktivitātes radīto CO₂ piesaisti (Salm *et al.*, 2012).

Kameru metode ļauj veikt mērījumus telpā, kas mazāka par 1 m². Metodi var izmantot gan, lai paņemtu paraugus un analizētu tos vēlāk laboratorijā, gan arī veikt mērījumus purvā uz vietas ar atbilstošu aparāturu SEG noteikšanai.

Kameru veidi un izmēri SEG paraugu ievākšanai purvā var atšķirties. Tās var būt kantainas vai noapaļotas formas. Mērot SEG emisijas zemā augājā, kameras var būt zemākas. Ja augājs ietver, piemēram, augstos grīšļus zāļu purvā, tad kamerai ir jābūt augstākai.

Mērījumi ar necaurspīdīgajām kamerām

Slēgta necaurspīdīga kamera sastāv no divām daļām – kameras, kas ir izgatavota no PVC materiāla (piemēram, 40 cm augsta, ar 50 cm diametru un 65 l tilpumu) (1. attēls) un gredzena. Kamera ir baltā krāsā, lai novērstu pārāk lielu temperatūras paaugstināšanos mērījumu veikšanas laikā. Gredzena augšējā malā ir izveidota grope, kas atbilst kameras diametram un ir pildīta ar ūdeni. Šāds mehānisms

ir nepieciešams, lai, uzliekot kameru, tajā būtu nodrošināta pilnīgi slēgta vide un nepieklūtu gaiss (Lazdiņš un Lupiķis, 2019).



1. attēls. Mērījumi ar necaurspīdīgo kameru LIFE “Peat Restore” projektā Engures ezera dabas parka kaļķainajos zāļu purvos. Foto: M. Pakalne.

Pirms gāzu paraugu noņemšanas vismaz diennakti iepriekš purva kūdrā ievieto gredzenus. Ilgstoša monitoringa gadījumā, ja purvā vai kūdras laukā nenotiek saimnieciskā darbība, piemēram, kūdras ieguve, tad gredzenus purvā var atstāt visu SEG novērojuma laiku. Lai pārvietošanās neietekmētu gāzu sastāvu, purvos ap paraugu ņemšanas vietām izvieto laipas.

Gredzena ārējā malā ir paredzēta vieta ūdens iepildīšanai, lai nodrošinātu, ka kameras slēgtajā vidē neieplūst gaiss, kas nelabvēlīgi ietekmē paraugu kvalitāti. Lai pirmais paraugs (tūlīt pēc kameras uzlikšanas) būtu pēc iespējas kvalitatīvāks, kameru pirms pirmā parauga ņemšanas izvēdina, 4–5 reizes pavicinot gaisā, lai izvēdinātu un atbrīvotos no iespējamā sastāvējušā gaisa. Kameras augšējā daļā ir atvere gāzu paraugu ievākšanai izmantotās caurulītes ievadīšanai. Caurulīti ievada atverē, pievieno parauga pudelīti un šļirci (Lazdiņš un Lupiķis, 2019).

Gāzu paraugus no kamerām ievāc, izmantojot kamerā ievadītu caurulīti un tai piestiprinātu šļirci, ar kuras palīdzību gaiss no kamerām ievākts vakuumbūtās (0,3 mbar) 100 ml pudelītēs. No katras kameras vienas stundas laikā var ievākt četrus paraugus, ievērojot 20 minūšu intervālu: tūlīt pēc kameras uzlikšanas uz gredzena, kā arī pēc 20, 40 un 60 minūtēm (Augustin *et al.*, 1998). Paraugus ievieto speciāli sagatavotās un marķētās paraugu kastēs tā, lai katram paraugam būtu sava šūnas adrese atkarībā no tā, no kuras kameras un kurā minūtē paraugi ņemti.

Korektai paraugu ievākšanai svarīgi ievērot laiku, kurā veic mērījumus, tāpēc jāizmanto taimeris. Paraugus no pirmās kameras sāk iegūt nultajā minūtē, no otrās – otrajā, no trešās – ceturtajā utt., attiecīgi divdesmitās minūtes paraugus no pirmās kameras iegūst divdesmitajā minūtē, no otrās – divdesmit otrajā, no trešās – divdesmit ceturtajā utt. Kameras atstāj uz gredzeniem visu mērīšanas laiku, t.i., – vienu stundu. Tās noņemot, atkārtoti pārlicinās, vai tās ir bijušas pilnībā noslēgtas.

Optimāli paraugus ir ievākt visas dienas laikā no rīta līdz pēcpusdienai, lai sekotu līdzi laika apstākļu maiņai dienas laikā. Šādi var veiksmīgāk novērot pastāvošās sakarības un procesus, novērojot no augsnes izdalīto emisiju pārmaiņas laikā.

Mērījumi ar caurspīdīgajām kamerām

Līdzīgi kā mērījumos ar necaurspīdīgajām kamerām, arī slēgtā caurspīdīgā kamera sastāv no divām daļām – kameras, kas ir izgatavota no caurspīdīga organiskā stikla, piemēram, 40 cm augsta, ar 50 cm diametru un 65 l tilpumu, un gredzena, kas atrodas augsnē visu novērojumu laiku. Slēgtās kameras var būt arī kantainas. Kameras lielums var arī būt, piemēram, 60 × 60 × 30 cm, un to ir ieteicams aprīkot ar dzesēšanas sistēmu un ventilatoru. Šādu iekārtu lieto Tallinas Universitātē LIFE “Peat Restore” projektā, CO₂ mērījumiem lieto infrasarkanu gāzu analizatoru **Li-6400 (Li-Cor (USA))** un **Gasmet DX-4030**.

Causpīdīgo kameru būtisks trūkums ir siltumnīcas efekts, kas rodas kameras iekšienē. Saules gaismas ietekmē kameras iekšienē strauji pieaug temperatūra. Tāpēc kamera, ar ko nodrošināta slēgtas telpas izveidošana, ir aprīkota ar dzesēšanas iekārtu, kas samazina temperatūras paaugstināšanās ātrumu kameras iekšienē. Kamera ir aprīkota arī ar temperatūras sensoriem, kas savienoti ar **EGM-5** mēriekārtu, lai sekotu līdzi, vai temperatūras pārmaiņas nav pārāk straujas (Lazdiņš un Lupiķis, 2019) (2. attēls).



2. attēls. Causpīdīga kamera, ar kuru tiek veikti siltumnīcefekta gāzu mērījumi LIFE “Peat Restore” projekta vietās Vācijā un Polijā. Foto: M. Pakalne

Mērījumi sastāv no sekojošām darbībām. Pēc iekārtas ieslēgšanas mēriekārtu stabilizē (aptuveni 5 minūtes). Lai nodrošinātu korektu un optimālu iekārtas darbību, tai jāļauj uzkarst. Par iekārtas gatavību darbam liecina skaņas signāls un paziņojums uz ekrāna. Gropē, kas atrodas pie gredzena, kurā ievieto kameru, ielej ūdeni. Kad iekārta ir gatava, uz gredzena novieto caurspīdīgo kameru, pirms tam to izvēdinot gaisā. Pieslēdz **EGM-5** mēriekārtu. Sāk mērījumus ar pilnībā caurspīdīgu kameru. Mērījumu veic apmēram 150 sekundes. Kad mērījumu beidz, kameru aplāj ar pārklāju, kas par 25% samazina gaismas caurlaidību, un atkārti mērījumu 150 sekundes. To pašu atkārti arī ar pārklāju, kas laiž cauri 50% gaismas, un ar pilnībā necaurlaidīgu pārklāju. Nomainot

pārklājus, kamera ir vēlreiz jāizvēdina. Iepriekš aprakstītās darbības atkārto uz visiem gredzeniem attiecīgajā objektā. Paralēli ar **LI-190R** sensoru mēra fotosintētiski aktīvo saules radiāciju.

SEG emisiju līmeni aprēķina, pieņemot, ka gāzu koncentrācija vidē izmainās lineāri. Lai nodrošinātu lineāras pārmaiņas, kamerām ir jāatbilst noteiktām minimālā laukuma un tilpuma prasībām.

Paralēli SEG emisiju mērījumu veikšanai lauka apstākļos veic dažādu SEG emisiju ietekmējošu rādītāju mērījumus, tajā skaitā nomēra gaisa temperatūru un temperatūru kameras iekšienē, ūdenī izšķīdušā skābekļa daudzumu, ūdens līmeni (cm), ūdens elektrovadītspēju, ūdens duļķainību, kūdras pH un oksidēšanās-reducēšanās potenciālu. Veic arī augsnes temperatūras mērījumus četros dziļumos – 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, un nosaka augsnes elektrovadītspēju un mitruma saturu augsnē. Novērtē vaskulāro augu vidējo augstumu, sugu sastāvu un projektīvo segumu SEG mērījumu veikšanas vietā.

Slēgto kameru metodei nepieciešamais aprīkojums un speciālisti

Izmantojot kameru metodi SEG noteikšanai, var izmantot dažādas iekārtas.

Ir iekārtas, ar kurām SEG emisijas nosaka tieši purvā, piemēram, **Picarro G2508**, kas atrodas LLU Meža un ūdens resursu zinātniskajā laboratorijā (3. attēls). *Picarro G2508* ļauj veikt mērījumus lauka apstākļos, ņemot gāzi tieši no kameras, un noteikt četras gāzes: ogļskābo gāzi, metānu, slāpekļa oksīdu, amonjaku un ūdens tvaiku ar vienas sekundes intervālu starp mērījumu nolasījumiem. Mērījumus veic, izmantojot caurspīdīgas kameras. Lai novērstu nejaušas blakus ietekmes, nepieciešams ierīkot laipas, kas ļauj piekļūt mērījumu vietām, neradot nevēlamu ietekmi uz augāju un kļūdas izmērītajā gāzu emisiju apjomā.



3. attēls. Siltumnīcefekta gāzu mērījumi ar **Picarro G2508** iekārtu Madiešēnu purvā Augstrozes dabas liegumā. Foto: D. Beķere

Lauka apstākļos CO₂ satura izmaiņu mērījumus var veikt arī ar **EGM-5** pārnēsājamo digitālo CO₂ gāzes analizatoru (4. attēls). Tartu Universitātē gāzu paraugu analīzei laboratorijā izmanto **Shimadzu GC-2014** gāzu hromatogrāfu. Tas ir aprīkots ar elektronu satveres detektoru, liesmas jonizācijas detektoru un Loftfilda (*Loftfield*) automātisko paraugu ņemšanas ierīci (Lotfield *et al.*, 1997). Lai strādātu ar minētajām iekārtām, personālam jābūt kvalificētam un apmācītam.



4. attēls. Iekārta EGM-5 CO₂ noteikšanai lauka apstākļos. Foto: M. Pakalne

Metodes laukietilpīgums

Ar kameru metodi SEG noteikšana ir darba un laika ietilpīga metode, jo jāveic daudzkārtēji atkārtojumi dažādā dienas laikā un laika apstākļos.

Metodes pielietojuma izmaksas

Picarro G2508 ir dārga tehnika, toties ar tās palīdzību iespējams noteikt CO₂, CH₄ un N₂O tieši lauka apstākļos. Ir arī lētāka tehnika, bet tā nenosaka lauka apstākļos visas trīs gāzes, bet tikai CO₂. Tā ir liela priekšrocība, ja trīs galvenās SEG var mērīt uz vietas purvā. Tomēr situāciju sarežģī *Picarro* aparatūras svars, ko vēl palielina tai nepieciešamais barošanas bloks un ģenerators. Tam ir vajadzīgs darbaspēks, kas palīdz smago aparatūras komplektāciju droši ienest purvā.

Laboratoriski SEG noteikšana ir darbietilpīga un tehniski kompleksa. Šādas metodes pielietošana SEG mērījumu veikšanai ir ļoti dārga parastam monitoringam. Praksē ar kameru metodi veiktie mērījumi attaisnojas tikai izvēlētām pilota teritorijām, lai kalibrētu un verificētu modeļus, kuri ir ievērojami detalizēti. Modeļu rezultātus tad var pielietot citām vietām.

Lai noteiktu izmaksas, tajās jāiekļauj iekārtas cena, tās amortizācija, darbaspēka izmaksas un ceļš līdz pētījuma vietai, vai arī laboratorijai, uz kuru tiek vesti paraugi.

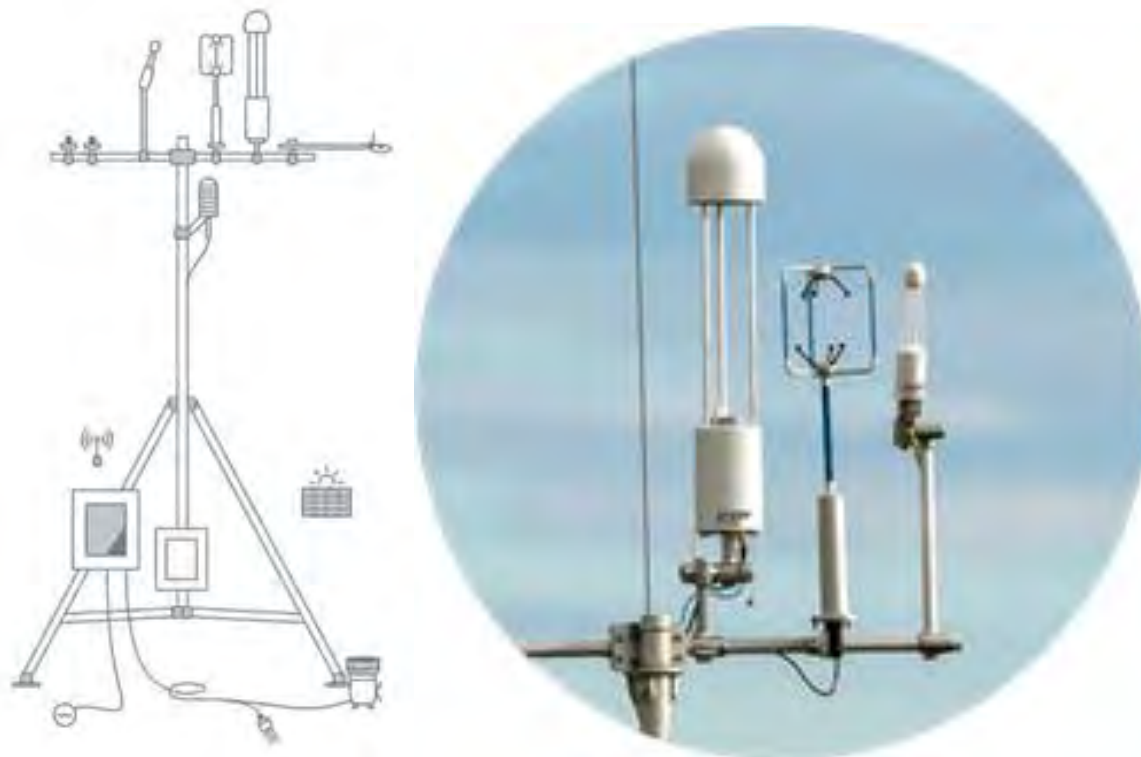
Metodes priekšrocības un trūkumi

Ja teritorijā ir veikti apsaimniekošanas pasākumi un ir vēlme novērtēt to efektu uz SEG emisiju apjomu, novērojumi jāveic vairākus gadus, lai samazinātu gadskārtējo laika apstākļu atšķirību ietekmi uz SEG emisiju vērtējumu. Tas padara SEG emisiju noteikšanu ar kameru metodi par ļoti dārgu.

Neskatoties uz izmaksām, slēgto kameru metode ir starptautiski plaši lietota un līdz ar to piemērota SEG mērījumu salīdzināšanai dažādos purvos.

Eddi kovariances gāzu apmaiņas mērīšanas metode

Eddi kovariances (angļu val. Eddy-covariance) gāzu apmaiņas mērīšanas metode (5. attēls) ir metode, kura ļauj mērīt SEG emisijas salīdzinoši lielās teritorijās (parasti 1 km² rādiusā).



5. attēls. Eddi kovariances sistēma siltumnīcefekta gāzu novērtēšanai ekosistēmas līmenī. Foto: https://www.licor.com/env/products/eddy_covariance/

Lai mērītu gāzu apmaiņu starp zemes virsmu un atmosfēru, tiek izmantota *LI-COR* *eddy covariance* risinājuma pieeja, kas apvieno precīzus instrumentus, kuri novietoti uz platformas, gāzu noteikšanas sistēmas (piemēram, IR sensors) un spēcīgu datu apstrādes programmatisko nodrošinājumu. Rezultātā ātri tiek iegūta informācija par SEG emisijām ekosistēmas līmenī. Izmantojot izejas datus, pilnībā integrētā *LI-COR* sistēma paātrina pētījumu procesu, dodot zinātniekiem piekļuvi mūsdienīgām gāzu apmaiņas mērījumu metodēm ekosistēmu līmenī.

LI-COR sistēmas sniegtie augstas kvalitātes dati tiek ievākti ātri, precīzi ar augstā līmenī konfigurējamiem digitāliem instrumentiem, kuri ir izvēlēti kā globālais standarts. Ar pilnīgu *LI-COR* sistēmu var būt pārliecināts, ka novērojumi akurāti parāda ekosistēmas gāzu apmaiņas atšķirības un to, ka rezultātu interpretācija ir uzticama. Liela ātruma *LI-COR* digitālajiem gāzu analizatoriem ir vismazākā strāvas ģeneratora nepieciešamība.

Ar **IR** sensoru (daļa no *LI-COR* sistēmas) var mērīt metānu, oglekļa dioksīdu un ūdens tvaikus. Raksturīgā iekārta parādīta 6. attēlā. IR sensors ir plaši izmantota tehnoloģija CO₂ noteikšanai (<https://www.vaisala.com/.../CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note>).



6. attēls. Eddi kovariances iekārta Skotijas augstkalnēs. Foto: M. Pakalne.

Eddi kovariances gāzu apmaiņas mērījumu metode ir piemērota ilglaicīgu SEG mērījumu veikšanai. Ar tās palīdzību var novērtēt SEG emisijas dažādas diennakts stundās, laika apstākļos, visas veģetācijas perioda laikā, kā arī vairāku gadu garumā. Taču pati metode ir ievērojami dārgāka par slēgto kameru metodi. Šo metodi sadārdzina tajā ietvertās aparatūras un programmatūru nodrošinājums, kuras gan var būt dažādas un līdz ar to arī kopējās dažādu Eddi kovariances sistēmu izmaksas ir atšķirīgas.

Galvenā Eddi kovariances gāzu apmaiņas mērījumu metodes priekšrocība ir to piegādātie dati par gāzu mērījumiem ekosistēmas līmenī, nevis konkrētos punktos, kā tas ir gadījumos, kad izmanto slēgto kameru metodi.

1.2. NETIEŠO MĒRĪJUMU METODES

Tieša SEG emisiju mērīšana purvos, piemēram, izmantojot iepriekšējā nodaļā aprakstīto kameru metodi, ir dārga un laikietilpīga, tādēļ to var veikt tikai ierobežotā apjomā. Tomēr SEG plūsmas ir mainīgas un atkarīgas no plaša parametru spektra, piemēram, augsnes temperatūras, ūdens līmeņa svārstībām, augu augšanas ātruma un zemes izmantošanas vēstures, kas būtiski atšķiras gan viena gada ietvaros, gan vairāku gadu laikā. Tādēļ SEG emisiju precīzai novērtēšanai būtu jāveic regulāri un ilgstoši novērojumi, lai aptvertu ikdienas, sezonālo un ikgadēju mainību (Couwenberg *et al.*, 2011). Piemērojot atbilstošus tiešo mērījumu metožu aizstājējus, emisijas var novērtēt plašāk – visās purvu vai purvu kompleksu teritorijās. Viena no šādām netiešajām SEG emisiju metodēm, kas balstīta uz purva veģetācijas sastāvu, ir GEST metodika (Schwill *et al.*, 2010, Koska *et al.*, 2001).

GEST metodika

GEST (abreviatūra no angļu val. *Greenhouse-Gas Emission Site Types* jeb Siltumnīcas efekta gāzu emisijas vietu tipi) metodoloģija izstrādāta Vācijā Greifswaldes Universitātē (*Universität Greifswald*) (Koska *et al.*, 2001). GEST metodikas princips ir balstīts uz zināšanām, ka augu sugas un sugu sabiedrības dabā izvietojas noteiktu abiotisko apstākļu gradientu robežās. Kā nozīmīgākie faktori uzskatīti ūdens līmeņa augstums, ūdens līmeņa svārstību amplitūda, barības vielu pieejamība (oglekļa un slāpekļa attiecība), vides pH, teritorijas dabiskuma/degradēšanās pakāpe. Metodikā īpaši nozīmīga loma ir ūdens līmeņa kvalitatīvajiem un kvantitatīvajiem rādītājiem. Ūdens līmeņa dziļums ietekmē CO₂ un CH₄ emisiju daudzumu, savukārt augi reaģē uz tiem pašiem abiotiskajiem faktoriem. Līdz ar to veģetācija parāda ūdens līmeņa apstākļus ilgtermiņā un tādā veidā norāda uz gada vidējo siltumnīcas efekta gāzu plūsmu (Couwenberg *et al.*, 2011).

Izstrādātajā metodikā kopā raksturoti **14 GEST tipi**, kas lielā mērā aptver dominējošās augu sabiedrības uz kūdras augsnēm (1. pielikums). Sistemātiski visi tipi sadalīti trīs pamatgrupās:

- atklāti, dabiski purvi (iekļauj astoņus tipus),
- krūmāji un meži uz kūdrainām augsnēm (pieci tipi),
- intensīvi izmantotas ganības un zālāji (viens tips ar 16 dažādām veģetācijas formām).

Atklāto un ar kokaugiem apaugušo purvāju GEST tipi tālāk klasificēti pēc barības vielu pieejamības vidē, sākot ar ļoti nabadzīgiem jeb oligotrofiem līdz ļoti bagātiem jeb politrofiem apstākļiem, pēc vides hidroloģijas no mēreni sausiem līdz pārmitriem apstākļiem, kā arī pēc vides bāziskuma no kaļķainas līdz skābai videi, iekļaujot arī skalas pārejas posmu jeb sub-neitrālu vidi (1. tabula). Ūdens līmeņa augstumu var definēt divējādi: (i) pēc vidējā ūdenslīmeņa ziemas-pavasara sezonā, kad purvos ir raksturīgs lielāks mitrums, vai (ii) pēc visa gada vidējā ūdenslīmeņa, kas ir vidēji par 5-10 cm zemāks nekā tikai nokrišņiem bagātajās sezonās. Atklātajiem purviem izšķir papildus GEST tipu, kas attīstījies sālsūdens vidē; krūmājiem un mežiem šādi specifiski apstākļi netiek nodalīti. Visi minētie abiotiskie faktori attiecināmi uz augsnes virskārtu līdz 30-50 cm dziļumam.

Lai atvieglotu atbilstošā GEST tipa piemērošanu pētāmajai teritorijai, tiek lietota mazāka mēroga vienība – veģetācijas forma, kam ir attāla līdzība ar klasiski botānikā lietotajām augu sabiedrībām un to asociācijām (Latvijas floras raksturošanai detalizētāk skatīt M. Laiviņš (2014) mežu veģetācijai, L. Salmiņa (2009) purvu veģetācijai). Veģetācijas formās ir apvienotas sugas ar līdzīgām prasībām pēc noteiktiem abiotiskajiem faktoriem, un tās statistiski biežāk dabā ir sastopamas vienuviet (Schwill *et al.*, 2010). Katram GEST tipam ir izdalītas 4-20 veģetācijas formas (1. pielikums). Atklātiem dabiskiem purvājiem kopā izdalītas 62 veģetācijas formas, krūmājiem un mežiem uz kūdrainām augsnēm – 43, intensīvi izmantotām ganībām un zālājiem – 16 formas. Precīzai veģetācijas formas atpazīšanai jāseko šādiem norādījumiem:

1) veikt homogēno veģetācijas vienību diferencēšanu lauka apstākļos, balstoties pēc ģeogrāfiski strukturālā, ekoloģisko apstākļu un floristiskā sastāva aspektiem;

2) telpiski nošķirt atpazītās veģetācijas vienības atbilstošas kvalitātes aerofoto vai cita veida kartogrāfiskā materiālā, raksturojot kvantitatīvos rādītājus (ha) katrai vienībai katrā pētāmajā teritorijā;

3) veikt reprezentatīvu veģetācijas kartēšanu katrai vienībai, norādot visu konstatēto sugu seguma procentuālo dominanci (2. pielikums).

Sugu kvantitatīvai raksturošanai ieteicamais parauglaukuma izmērs pa stāviem ir <0,5 m² sūnām, 4 m² lakstaugiem un sīkkrūmiem atklātos purvājos, 20-80 m² lakstaugiem pamestos kūdras izstrādes laukos, 100 m² kokiem un krūmiem ar meža veģetāciju klātos purvājos, krūmājos un mežos uz kūdrainām augsnēm.

1. tabula. Abiotisko apstākļu matrica un GEST tipu izkliede pēc ekoloģiskajām prasībām (pārveidota pēc Koska *et al.*, 2001)

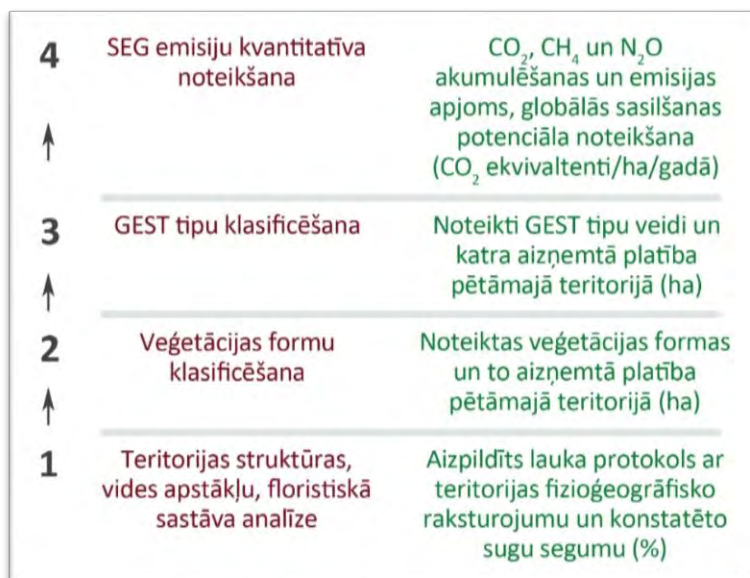
	Hidroloģija, vid. ūdens līmenis gadā						Vides pH	
	v.j.l., cm			z.j.l., cm				
	6+ (140-20)	5+ (20-0)	4+ (0-20)	3+ (20-45)	2+ (45-80)	2- (>80)		
Barības vielu pieejamība, C/N	o (oligotrofs, 33-40)		X O	O	O	O	sk (skābs <4,8)	
		X	X O	O	O	O		
	m (mezotrofs, 20-33)		X	X	X			n (neitrāls 4,8-6,4)
				X O	O	X O	X O	n-b (neitrāls-bāzisks)
	e (eitrofs, 10-20)							b (bāzisks >6,4)
					O	O		sk-n (skābs-neitrāls)
p (politrofs, <10)		X	X O	X O Δ	X O Δ	X O Δ	n-b (neitrāls-bāzisks)	

Apzīmējumi GEST tipiem: X – atklāti, dabiski purvāji; O – krūmāji un meži uz kūdrainām augsnēm; Δ – intensīvi izmantotas ganības un zālāji.

GEST metodikā papildus sagatavoti arī augu sugu saraksti ar norādēm uz sugu piederību atbilstošajām veģetācijas formām. Sarakstos iekļautas gan vaskulāro augu, gan sūnu sugas – kopā 500 sugas. Vaskulāros augus pārstāv kokaugu un krūmu sugas, lakstaugi, graudzāles un grīšļi, ūdensaugi. Sūnām pārstāvētas epigeiskās jeb augsnes sugas, kas bieži sastopamas mežos un purvos. Tomēr sugu sastāvs nav pilnīgs atšķirīgo klimatisko apstākļu dēļ starp Latviju un Vāciju. Piemēram, koku sugas kā baltalksnis *Alnus incana*, Zviedrijas kadiķis *Juniperus communis*, lakstaugi purva vārnkāja *Comarum palustre*, lācene *Rubus chamaemorus*, brūklene *Vaccinium vitis-idaea*, sūnas viļņainā divzobe *Dicranum polysetum*, parastā stāvaine *Hylocomium splendens*, Girgenzona sfagns *Sphagnum girgensohnii*, smalkais sfagns *S. tenellum*, kas ir raksturīgas Latvijā purvaiņu tipu mežos un purvos, sarakstā nav iekļautas. Arī ķērpji, kas ir zīmīgi indikatori purvājos (norāda uz degumu un nosusināšanas ietekmi (Marcisz *et al.*, 2017)), GEST metodikā nav iekļauti.

Lai noteiktu kopējo teritorijas SEG plūsmu apjomu, jārealizē vairāki secīgi etapi (7. attēls). Pirmais posms ir atrodies dabā vai ar attālo izpēti veikta detalizēta veģetācijas kartēšana, klasificējot visu konstatēto sugu sastopamību pa veģetācijas formām (2. pielikums). Apsverot dažādu ekoloģisko

faktoru raksturu, ūdens līmeņa un kūdras dziļuma mērījumus, tiek noteikti atbilstošie GEST tipi (1. pielikums) un to aizņemtā platība. Pēc tā savukārt var kvantitatīvi aprēķināt siltumnīcas efekta gāzu atlikumu visai pētāmajai teritorijai (Koska *et al.*, 2001).



7. attēls. GEST tipu noteikšanas un tālākas izmantošanas shēma SEG emisijas un akumulēšanas kvantitatīvai noteikšanai, un šo etapu izpildes rādītāji.

Lai veiktu GEST tipu pielietošanu praktiski, veic SEG gāzu emisiju kvantitatīvus aprēķinus, ņemot vērā katra GEST tipa aizņemto platību pētāmajā teritorijā. Emisiju aprēķinā krūmāju un mežu GEST tipiem uz kūdrainām augsnēm jāņem vērā arī kokaudzes raksturs, kas norāda uz fiksētā oglekļa apjomu biomasā. Fiksētā oglekļa apjomu tieši ietekmē tādi parametri kā koksnes blīvums, koku vecums, stumbra apkārtmērs un augstums, sakņu biomasu u.c.

GEST tipi gan dabiskā ceļā, gan cilvēka darbības ietekmē pakāpeniski mainās, izmainot arī kopējo SEG emisiju plūsmu attiecīgajā teritorijā. Ja purvāju biotopu atjaunošanas mērķis ir SEG emisiju samazināšana, pilnīgu GEST tipu kartēšanu un emisiju pārrēķināšanu rekomendēts veikt pirms atjaunošanas pasākumu uzsākšanas, divus gadus pēc to realizēšanas un atkārtoti vēl ik pēc pieciem gadiem.

Metodikai nepieciešamais aprīkojums un speciālisti

Pilnvērtīga GEST metodikas pielietošana iekļauj lauka darbus un iegūto datu analīzi, un to tālāku izmantošanu SEG plūsmas mērīšanai. Lauku darbu veikšanai nepieciešamais aprīkojums ietver ortofotokarti vai topogrāfisko karti ar izšķirtspēju 1:500-1:1000, lauka protokolus (2. pielikums), GPS iekārtu pētāmās teritorijas atrašanās vietas reģistrēšanai, fotoaparātu teritorijas fotofiksācijai. Ekspertam jābūt labām vaskulāro augu un sūnu sugu zināšanām.

Lai precīzi noteiktu teritorijai raksturīgos abiotiskos faktorus, jāveic augsnes ūdens un augsnes/kūdras pH mērīšana (kvantitatīvs rādītājs), jānosaka ūdens līmeņa augstums (kvalitatīvs rādītājs sešu ballu skalā vai kvantitatīvs rādītājs atkarībā no pieejamā aprīkojuma), jānovērtē vidē esošo barības vielu pieejamība (kvalitatīvs rādītājs četru ballu skalā vai kvantitatīvs rādītājs atkarībā no pieejamā aprīkojuma) (1. tabula). Hidroloģiskos parametrus optimāli veic profesionāla hidrologa vadībā. Augsnes pH un barības vielu pieejamību novērtē uz vietas dabā ar portatīvām mēriekārtām vai augsnes laboratorijā.

Tālākai datu apstrādei un analīzei nepieciešamas pamata prasmes darbībai ar datorprogrammām kā *Microsoft Excel*, kā arī karšu zīmēšanas programmām, lai precīzi noteikti klasificēto GEST tipu aizņemto platību. Jābūt pieejai labas izšķirtspējas ortofotokartēm vai spektrālajām kartēm elektroniskā formātā, uz kuru pamatnēm atzīmēt visu GEST tipu robežas. Darba realizēšanai rekomendējams piesaistīt ekspertu-kartogrāfu.

SEG emisiju kalkulācijai GEST tipos ar kokaudzi jāveic papildus aprēķins, lai noteiktu fiksētā oglekļa apjomu biomasā. Šim nolūkam nepieciešama informācija no Valsts mežu dienesta vai citām institūcijām par kokaudzes vecumu un sastāvu. Tāpat jānosaka koku stumbru apkārtmērs un augstums (ja to neveic dabā, var izmantot fotofiksācijas datus no pētāmās teritorijas).

Metodikas laikietilpīgums

Lauka datu ievākšanai pavadītais laiks ir atkarīgs no pētāmās teritorijas heterogenitātes – jo veģētācija ir vienveidīgāka, jo mazāk lauka protokolu jāaizpilda un vieglāk interpretējams teritorijai raksturīgais abiotisko faktoru kopums. Viena lauka protokola aizpildīšanai atkarībā no veģētācijas daudzveidības ir nepieciešamas vidēji 15-30 minūtes, neiekļaujot laiku, kas jāpavada ceļā. Tālāka datu analīze iekļauj precīzu katra GEST tipa platības aprēķināšanu, kas var ilgt vairākas dienas, ja pētāmajā teritorijā sastopama ļoti variējoša veģētācija. Zinot GEST tipu platību un kokaudzes parametrus, SEG plūsmu aprēķināšana ir relatīvi ātrs process. Laikietilpīgāka ir dažādu scenāriju piemērošana, jo jāparedz hidroloģisko apstākļu un veģētācijas izmaiņas apskatāmajā laika posma nogrieznī (pēc 30 gadiem, pēc 50 gadiem utml.).

Metodes pielietojuma izmaksas

Metodikas pielietojuma izmaksas var sadalīt trīs galvenajās pozīcijās: aprīkojums, ceļa izdevumi, ekspertu atalgojums. Aprīkojuma (GPS, pH-metrs, dators ar standarta programmatūru un karšu un attēlu apstrādes programmām, kancelejas piederumi) izmaksas var sasniegt vidēji 1500 EUR apjomu, bet var būt būtiski zemākas, ja aprīkojums jau ir pieejams. Ceļa izdevumi jāplāno, lai vienu teritoriju apsektu vismaz divas reizes. Latvijas mērogā, veicot hipotētisku braucienu Cēsis-Nida-Cēsis, maksimālie izdevumi var sasniegt 90 EUR par vienu braucienu. Atalgojums jāparedz biotopu ekspertam (lauku darbiem un tiem sekojošai iegūtās informācijas analīzei) un kartogrāfisko datu speciālistam (kartogrāfisko datu pārvēršanai pielietojamā formātā, to interpretācijai, kā arī datu verificēšanai un iegūto rezultātu kalibrēšanai sadarbībā ar biotopu ekspertu). Papildu samaksa jāparedz speciālistam iegūto rezultātu apkopošanai un SEG plūsmas aprēķināšanai. Atkarībā no veģētācijas heterogenitātes vienas teritorijas pilnīgai analīzei jāplāno vidēji 20-30 darba dienas. Kopumā, lai vienā teritorijā veiktu GEST kartēšanu un galarezultātā iegūtu SEG emisijas apjomu, visas izmaksas sasniedz vidēji 3000 EUR.

Metodikas priekšrocības un trūkumi

GEST metodikai joprojām ir arī nepilnības, kuras iespējams uzlabot, lai to padarītu precīzāku. Jāveic GEST tipu kvalitātes mērījumi un kalibrācija vairākās pēc klimata un teritoriju izmantošanas vēstures atšķirīgās vietās. Nepieciešams pielāgot šīs metodes praktisku pielietojumu dažādās valstīs un dažādos purvos (Koska *et al.*, 2001). Šobrīd daļa GEST tipu ir kalibrēti un notestēti ar tiešās SEG plūsmas mērīšanas metodēm, tomēr daļa ir balstīta tikai uz teorētiskiem pieņēmumiem (3. pielikums). Aprēķinu kalibrēšana ir apgrūtināta, jo dažādās pasaules daļās veic atšķirīgus mērījumus – atšķiras gan izmantotās metodes, gan mērītās SEG gāzes (piemēram, analizē tikai metāna (Audet *et al.*, 2013) vai tikai CO₂ emisijas (Aurela *et al.*, 2007)), gan arī pētāmās teritorijas, kas ne vienmēr ir viennozīmīgi salīdzināmas (piemēram, appludināti pamesti kūdras izstrādes lauki nav pretnostatāmi sausiem pamestiem kūdras izstrādes laukiem).

Atbilstošo GEST tipu piemērošanai jāveic sugu saraksta papildināšana ar Latvijas apstākļiem tipiskajiem augiem – gan vaskulārajām, gan sūnu sugām. To var panākt, tikai veicot praktiskus pētījumus (Sendžikaitē *et al.*, 2018) un aizpildot sugu protokolus, tādejādi paplašinot veģētācijas formām raksturīgo sugu apjomu (4. pielikums). Šī projekta ietvaros lauku pētījumos aizpildīti 23

protokoli, kuros no 142 konstatētajām sugām jau 35 sugas nav atrodamas GEST metodikas sugu sarakstos.

Citas netiešo mērījumu metodes

Jau vairāk nekā 30 gadus bez GEST metodikas ir izveidotas vēl citas netiešās SEG aprites novērtēšanas pieejas. Parasti šo pētījumu mērķis ir aizvietot tiešos metāna emisiju un abiotisko faktoru (it īpaši ūdens līmeņa augstuma un svārstību) mērījumus ar veģetācijas sastāva novērtēšanu, kas vienlīdz labi noder emisiju modelēšanā. Nav veikti nozīmīgi pētījumi par citu SEG gāzu, piemēram, oglekļa dioksīda, emisiju netiešu novērtēšanu, izmantojot veģetācijas kvalitatīvos vai kvantitatīvos parametrus.

Nīderlandē pēc veģetācijas sastāva, raksturojot dominanto sugu sastopamību, prognozētas metāna CH₄ emisijas degradētos purvos (Dias *et al.*, 2010). Minētajā pētījumā secināts, ka dažāds zemes lietojuma veids divos dabas rezervātos – no dabiska mitrāja līdz nosusinātai kūdras augsnei, kas izmantojama lauksaimniecībā – būtiski ietekmē to augu sugu sastopamību, kas ir saistīti ar noteiktu hidroloģisko stāvokli. Zīmīgi, ka pētījumā pierādīts, ka veģetācijas klašu salīdzināšanai pietika ar biežāk sastopamo sugu, nevis pilnīga sugu saraksta izmantošanu, kas būtu metodes priekšrocība metāna emisiju noteikšanai plašās teritorijās (piem., Kanādā, Sibīrijā, Grenlandē). Sagatavots saraksts ar 53 sugām un ģintīm, kas aptver spektru no metānu tolerantām sugām (piemēram, purva dadzis *Cirsium palustre*, niedre *Phragmites australis* un īssmailes sfagns *Sphagnum fallax*) līdz izteikti ar metānu nabadzīgās augsnēs sastopamām sugām (kā peldošā ūdenszāle *Glyceria fluitans* un purva pameldrs *Eleocharis palustris*). Pētījuma autori norāda, ka metodes uzlabošanai būtu nepieciešama papildus izpēte vēl citās teritorijās, lai iegūtu plašāku indikatorsugu spektru. Sūnas izpētes teritorijās bija sastopamas nelielā apmērā, kas arī būtu izmantojamas kā metāna emisiju indikatori (Dias *et al.*, 2010).

Vērtējot tikai sūnu stāvu, metāna emisiju apjoms pētīts Kanādas purvajos (Bubier *et al.*, 1995). Brioflora salīdzināta dažādos purvu veidos – no minerotrofiem zāļu līdz oligotrofiem sūnu purviem. Pētījuma rezultātā sastādīts saraksts ar 50 sūnu sugām, kas dažādi reaģē uz metāna koncentrāciju augsnē. Piemēram, pret metānu tolerantas (un sausākos apstākļos augošas) sugas ir smaillapu sfagns *Sphagnum capillifolium*, Magelāna sfagns *S. magellanicum* un purva krokvēcelīte *Aulacomnium palustre*. Pretējas īpašības (aug ar metānu nabadzīgos un pārmitros apstākļos) raksturīgas tādām sugām kā lielais sfagns *Sphagnum majus* un bezgredzena varnstorfija *Warnstorfia exannulata*. Sūnu izmantošana metāna emisiju modelēšanā pretstatā tiešiem vidējā ūdenslīmeņa mērījumiem ir priekšrocība, jo sūnu segumu tik strauji neietekmē ūdenslīmeņa svārstības nokrišņu vai ieilguša sausuma perioda rezultātā. Tāpat, zinot mūsdienu sūnu sugu sastopamību un to saistību ar metāna emisijām, var daudz precīzāk interpretēt paleoloģiskos kūdras sastāva datus par vides izmaiņām pagātnē vai prognozēt nākotnes situāciju klimata izmaiņu ietekmē. Pozitīvs aspekts sūnu izmantošanai ir iespēja noteikt sugu sastopamību plašās purvāju teritorijās ar attālās izpētes instrumentiem (Bubier *et al.*, 1995).

Lielbritānijā apstiprināta teorija, ka emisiju noteikšanai precīzāka vienība ir nevis auga suga, bet to funkcionālās grupas (Gray *et al.*, 2012). Suga kā taksonomiska vienība ir cieši saistīta ar evolucionāro izcelsmi un norāda uz reģionālo piederību, kas varētu būt metodikas pielietošanas ierobežojums ģeogrāfiski attālu reģionu salīdzināšanai. Savukārt, balstoties uz augu pazīmēm, kas saistītas ar bioģeoķīmiskiem procesiem (piemēram, aerenhīmas audu daudzums vaskulārajiem augiem vai sfagnu simbioze ar metanotrofiskajām baktērijām), var novērot korelāciju starp metāna produkciju un augu sastopamību.

2. ATTĀLĀS IZPĒTES PIELIETOJUMS SILTUMNĪCEFEKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANĀ

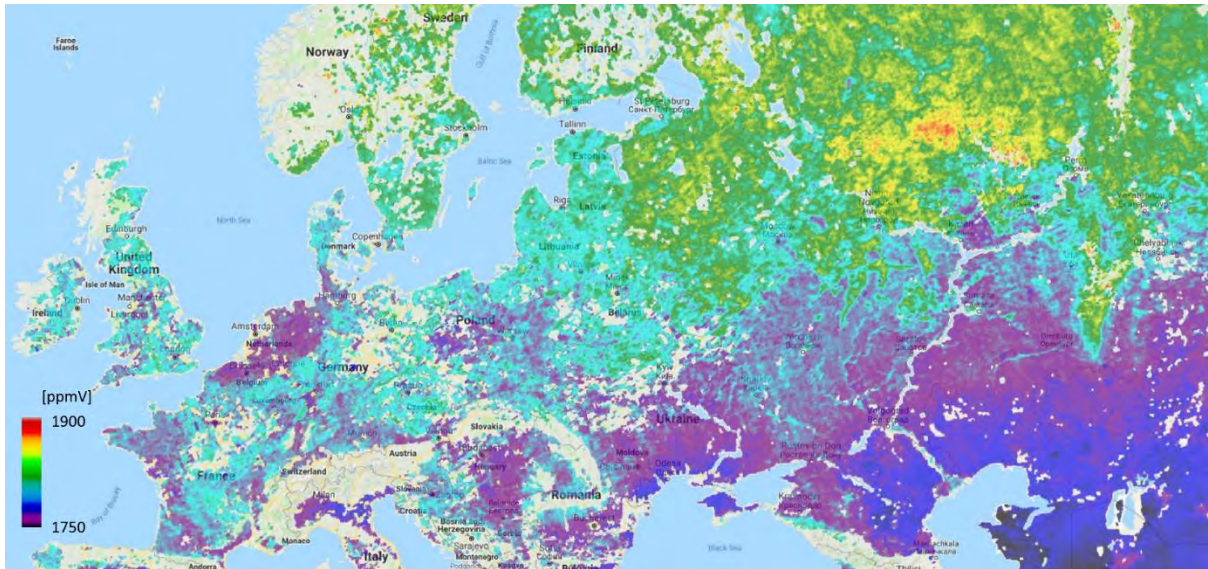
2.1. SATELĪTDATU ATTĀLĀ IZPĒTE

Satelītu attālā izpēte var sniegt informāciju par siltumnīcefekta gāzu emisijām divos dažādos veidos. Viena pieeja ir novērtēt troposfēriskās, virsmas tuvumā esošas CO₂ un CH₄ koncentrācijas, balstoties uz atstaroto saules staru intensitātes mērījumiem redzamajā un īsviļņu garumu joslās. Eiropas Kosmosa aģentūras (ESA) zemes novērošanas misijas, piemēram, **ERS-1** un **ENVISAT**, veica mērījumus ar zemas izšķirtspējas skenēšanas absorbciju spektrometriem atmosfēras kartogrāfijai (Frankenberg *et al.*, 2005) ar precizitāti 1–2% (Schneising *et al.*, 2008). Vienlaicīgi Japānas Aviācijas un Kosmosa Izpētes Aģentūra (JAXA) vadīja **GOSAT** sistēmu ar termālo un tuvās infrasarkanās gaismas diapazona sensoriem, lai novērotu oglekļa daudzumu atmosfērā (TANSO). GOSAT sistēmu izmanto joprojām CO₂ novērtēšanai (Kuze *et al.*, 2009). Visu iepriekšminēto instrumentu piemērotība SEG plūsmas aprēķiniem ir ierobežota (Yoshida *et al.*, 2011). **OCO-2** (Orbītas Oglekļa Observatorija), NASA satelīts ar precizitāti 1–2 ppmv CO₂ (CO₂ daļu skaits uz miljonu kopējo gāzveida daļu atmosfērā), var uztvert CO₂ un CH₄ uzkrāšanās vietu mainīgumu un avotus ar augstu telpisko izšķirtspēku un to izmaiņas laikā (Boesch *et al.*, 2011). NASA misija tika veiksmīgi uzsākta 2014. gada 2. jūlijā un bija paredzēta diviem gadiem (Greicius *et al.*, 2014).

Pēc GOSAT un OCO-2 darbības laika, CO₂ un CH₄ globālo koncentrāciju laikuņņēmumu turpinājums tika plānots ar Oglekļa Monitoringa Satelītu (CarbonSat). **CarbonSat** ir kandidātmisija ESAs Earth Explorer 8 (EE8) satelītam, kurš ir palaists orbītā 2016. gada 1. decembrī. Atšķirībā no iepriekšējām misijām, tā ir paredzēta, lai kartētu dabiskus un antropogēnus SEG avotus un uzkrāšanās vietas ar lielu telpisko izšķirtspēju (2 × 2 km²) un pārklājumu, lai lokalizētu spēcīgus emisijas avotus (Buchwitz *et al.*, 2013).

2017. gada 13. oktobrī Eiropas Kosmosa aģentūra Zemes novērošanas programmas (Copernicus programme) ietvaros ir palaidusi orbītā Sentinel-5P satelītu, kas ir pirmā Copernicus programmas misija, veltīta atmosfēras monitoringam. Satelīts nes troposfēras monitoringa mērinstrumentu kopu (**TROPOMI**), kura galvenais mērķis ir atmosfēras mērījumu nodrošinājums ar augstu telpisko izšķirtspēju un šo mērījumu izmaiņu novērtējums laikā (8. attēls). Ar TROPOMI mēra gaisa kvalitāti, ozona un UV radiāciju zemes virsmas līmenī, kā arī veic klimata monitoringu un laika apstākļu prognozēšanu. Mērinstrumenta nodrošinātie mērījumi sniedz informāciju par O₃, NO₂, SO₂, CO₂, CH₄, H₂CO (formaldehīdu), aerosoliem un mākoņiem (Fehr, 2016).

Ar attālās izpētes sensoru sistēmu iegūtais zemes seguma tipu telpiskā sadalījuma un tā izmaiņu kartējums, kas raksturo CO₂ un CH₄ avotus vai uzkrāšanās vietas, ir alternatīva tiešiem SEG koncentrācijas aprēķiniem. Rupjas līdz vidējas izšķirtspējas attālās izpētes dati nodrošina globāli konsekventu un objektīvu informāciju, lai ar telpiski izteiktu kartējumu atspoguļotu potenciālo oglekļa krājumu sadalījumu starp zemes segumu tipiem gan reģionālā, gan globālā mērogā ar atbilstošu lokālo izšķirtspēju. Tomēr, joprojām ir vērojama nenoteiktība datu analīzē izmantotajās apgabala teritoriālajās vienībās un attiecīgo zemes pārklājuma veidu sadalījumā (piemēram, pļavas, meži, neauglīga zeme, labības zeme, mitrājs) un līdz ar to nav vienota skatījuma par visā pasaulē uzglabātā oglekļa daudzumu (Herold *et al.*, 2008; Pflugmacher *et al.*, 2011). Šīs nenoteiktības tiek attiecinātas uz vairākiem ierobežojumiem, ko nosaka vai nu sensora tehniskā specifikācija (viļņa garums, spektrālā un telpiskais izšķirtspēja), vai arī atvasinātie datu produkti (piemēram, zemes segumu kartes). Atšķirībām starp zemes segumu kartēm ir liela nozīme globālo emisiju modelēšanā. Tādēļ, kartes izvēle var radīt būtisku novirzi jebkurā reģionālajā un globālajā oglekļa bilances modelī.



8. attēls. Sentinel 5P satelīta trīs mēnešu datu kolekcijas mozaikas piemērs par vidējo metāna daļiņu daudzumu sausā atmosfēras gaisā stabā virs centrālās Eiropas daļas.

2.2. AVIĀCIJAS ATTĀLĀS IZPĒTES DATI

Līdzšinējās avioskenēšanas metodes izmanto tiešo SEG paraugu ņemšanas pieeju, lai ievāktu informāciju par gāzēm no gaisa transektēm, piemēram, par dažādu tipu zemes izmantojuma veidiem, vai no tuvās virsmas līdz augstākam troposfēras augstumam. Amelio *et al.* (2009), piemēram, ievāca gaisa paraugus lidmašīnas augšupejošā un lejupejošā lidojuma trajektorijā (no 305 līdz 3600 m v.j.l.). Šos paraugus uzglabāja kolbās un laboratorijā ar gāzu hromatogrāfijas palīdzību analizēja, lai noteiktu CO₂, CH₄ un N₂O. Tomēr no gaisa veiktie mērījumi sniedz datus tikai īsā laika posmā un ar kopējo telpisko attālumu apmēram 10–100 km (Desjardins *et al.*, 1997, 2010; Kustas *et al.*, 2006; Pattey *et al.*, 2007).

MAMAP (Methane Airborn Mapper) ir spectrometrs, kas ir pasīvs attālās izpētes instruments, paredzēts aeroskenēšanas pielietojumam, lai mērītu CH₄ un CO₂ gaisa stabā dažādos līmeņos. Spectrometrs izstrādāts sadarbībā ar Brēmenes Universitāti un Helmholtz Postdam Centru, Vācu Geozinātņu Izpētes Centru (GFZ German Research Centre for Geosciences). MAMAP mēra saules starojumu tuvā (NIR) un īsviļņu (SWIR) infrasarkanajos spektrālajos diapazonos. Katram spektrālajam diapazonam tiek izmantoti atšķirīgi difrakcijas režģi. Pirmais instrumenta mērījums ir īsviļņu infrasarkanā diapazona viļņa garumos no 1590–1690 nm ar spektrālo rezolūciju 0,82 nm (FWHM), lai noteiktu CO₂ un CH₄ absorbcijas. Otrs mērījums ir tuvo infrasarkanā viļņa garumos no 757–768 nm ar spektrālo rezolūciju 0,46 nm (FWHM), lai noteiktu O₂ absorbcijas līmeni datu normalizācijas nolūkam. 2007. gada 1. jūnijā MAMAP sistēmu testēja, pārlidojot pāri un ievācot datus divām Vattenfall Europe Generation AG pārvaldībā esošajām ogļu spēkstacijām Vācijas teritorijā: Janschwalde un Schwarze Pumpe. Ievāktie dati tika apstrādāti divos dažādos veidos un rezultāti salīdzināti ar faktiskajiem mērījumiem (Krings *et al.*, 2011). 2014. gada septembrī MAMAP instruments tika pielietots COMEX kampaņas ietvaros, kur tika pētītas CH₄ emisiju plūsmas no četriem atkritumu savākšanas un pārstrādes poligoniem. Veicot pārlidojumus, tikai vienā no teritorijām bija novērojama nepārtaukta CH₄ plūsma, kas bija ļoti piemērota emisijas svārstību novērošanai (Krautwurst *et al.*, 2017).

2.3. DRONU ATTĀLĀS IZPĒTES DATI

Dronu tehnoloģijas strauji attīstās un arī tās tiek pielāgotas SEG novērtēšanai. Viens no piemēriem, kur ar dronu palīdzību veikti eksperimenti CO₂ un CH₄ emisiju noteikšanai, ir īstenots Lielbritānijā virs atkritumu poligona (Allen *et al.* 2019). Dronu aprīkoja ar pārvietojamo **Los Gatos** (LGR-UGGA) pētniecisko siltumnīcefekta gāzu analizatoru, kurš sastāv no **OA-ICOS** spektroskopa (Baer *et al.*, 2002) un diviem regulējamiem tuvās infrasarkanās gaismas diožu lāzeriem. Uz drona uzstādītais gāzu analizators vienlaikus mērīja arī ūdens tvaika koncentrāciju atmosfērā, kas nozīmīga precīzam CO₂ un CH₄ novērtējumam, tiešā veidā atmosfērā mērot šīs gāzes. Ar droniem testētā metode potenciāli ir piemērojama teritorijām, no kurām intensīvi izdalās SEG, kā atkritumu poligoni, naftas un dabasgāzes patērētāji, ūdens attīrīšanas iestādes. NASA ir veikusi dronu izpētes eksperimentus to pielietojamībai SEG mērījumiem attālām un bīstamām vietām, testējot dronu pielietojamību virs ledāja Svalbārā, Norvēģijā, kā arī virs lauksaimniecības zemēm (Berman *et al.* 2012). Pašreizējās tehnoloģijas SEG novērtēšanai ar dronu palīdzību vēl ir attīstībā, taču šajā virzienā tiek aktīvi veikti pētījumi, jo ar dronu palīdzību SEG novērtēšana potenciāli varētu būt lētāka izmaksu ziņā nekā citas līdz šim izmantotās metodes un tehnoloģijas.

3. PROJEKTĀ IZSTRĀDĀTĀ SILTUMNĪCEFĒKTA GĀZU NOVĒRTĒŠANAS METODIKA

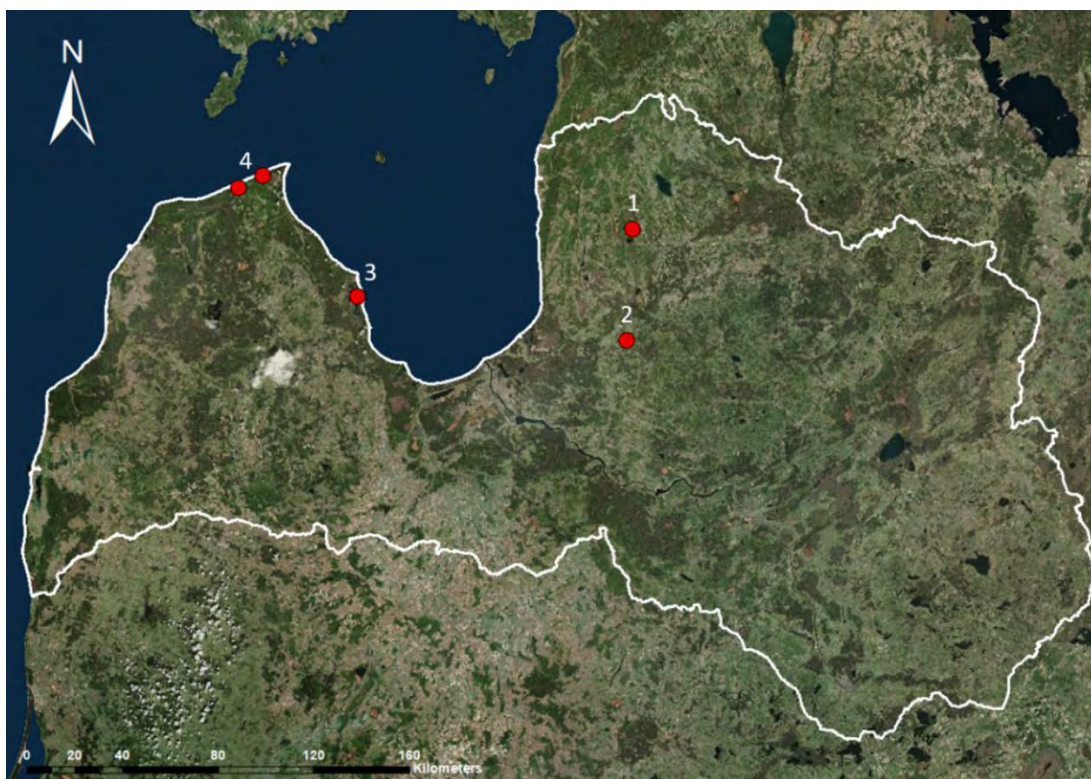
Projektā izstrādātā siltumnīcefekta gāzu novērtēšanas metodika pieder netiešo metožu iedalījumam. Tā ir balstīta 1.2. nodaļā aprakstītājā GEST metodikā, kura papildināta ar aviācijā bāzētas attālās izpētes tehnoloģiju piedāvātajām iespējām. Šāds risinājums ir pirmreizējs siltumnīcefekta gāzu novērtēšanai purvos ne tikai Latvijā, bet arī pasaulē. Nodaļā secīgi aprakstīts izstrādātās metodikas pielietojums projektā, kurš piemērojams citām purvu teritorijām siltumnīcefekta gāzu novērtēšanai.

3.1. IZPĒTES TERITORIJAS

Projektā analizētas sešas purvu teritorijas: (i) Pēterezera viga un (ii) Kukšupes viga Slīteres nacionālajā parkā, (iii) kaļķainais zāļu purvs dabas parkā “Engures ezers”, (iv) Sudas-Zviedru purvs Gaujas nacionālajā parkā, (v) Madiešēnu purvs un (vi) Namītēnu purvs dabas liegumā “Augstroze”. Aptverti visi Latvijā dominējošie purvu tipi – zemais, pārejas un augstais purvs. Visās teritorijās ir veikta vai tuvākā nākotnē plānota degradēto biotopu atjaunošana.

Pēterezera viga un Kukšupes viga Slīteres nacionālajā parkā

Slīteres nacionālais parks (turpmāk – Slīteres NP) atrodas Latvijas Z daļā, Ziemeļkurzemē, Piejūras ģeobotāniskajā rajonā, bijušajā Litorīnas jūras nevienmērīgas akumulācijas līdzenumā, kur pirms 8000–4000 gadiem radušies veidojumi (piekrastes vaļņi, sēkļi utt.). Teritorijas pamatnes rietumu daļai ir raksturīga vairākus kilometrus garu, līdz 50 m platu un 2–3 m augstu, paralēli bijušajam jūras krastam orientētu krasta vaļņu vai seno priekškāpu un kāpu (jeb kangaru) mija, kurus vienu no otra atdala šauras ieplakas (jeb vīgas) (Kalniņa, 2015).



9. attēls. Projekta izpētes teritoriju kopskats. Apzīmējumi: 1 – Madiešēnu un Namītēnu purvs dabas liegumā “Augstroze”, 2 – Sudas-Zviedru purvs Gaujas nacionālajā parkā, 3 – kaļķainais zāļu purvs dabas parkā “Engures ezers”, 4 – Pēterezera viga un Kukšupes viga Slīteres nacionālajā parkā. Fons: ArcGIS programmatūras pamatkaršu klāstā pieejamā satelītdatu mozaīka.

Pēterezera viga (9. attēls) atrodas starp Mazirbi un Sīkragu, autoceļu P124 un P125 tuvumā. Vīgas apskatei ierīkota dēļu laipa. Pēterezera viga ir viena no bioloģiski vērtīgākajām vīgām Slīteres NP, iekļaujot gan purvu, gan saldūdeņu un mežu biotopus, kuros sastopamas vairākas īpaši aizsargājamas un retas vaskulāro augu un sūnu sugas (10. attēls). Dominē Eiropas Savienības nozīmes biotopi 7140 Pārejas purvi un slīkšņas (18 ha) un 7110* Neskarti augstie purvi (20 ha), kā arī divos ezeros sastopams biotops 3150 Eitrofi ezeri ar iegrimušo ūdensaugu un peldaugu augāju (kopā 4,29 ha). Vīgā nozīmīgas sugu atradnes ir konstatētas vidējai rasenei *Drosera intermedia*, purva sūnenei *Hammarbya paludosa*, parastajai purvmirtei *Myrica gale* un sūnām – spīdīgajai āķītei *Homatocaulis vernicosus*, spurainajai dzīparenei *Paludella squarrosa* un trīsriņdu mēzijai *Meesia triquetra*.



10. attēls. Pēterezera viga Slīteres nacionālajā parkā. Foto: M. Pakalne

Kukšupes viga (9. attēls) ir izteikti garenstiepta viga vairāk nekā 5 km garumā autoceļa P124 malā starp ceļa pagriezieniem uz Pitragu un Saunagu. Cauri vīgai tek Kukšupes grāvis, kas ietek Vaides dīķī. Vīgā dominē Eiropas Savienības nozīmes biotops 7140 Pārejas purvi un slīkšņas (37 ha) (11. attēls). Sugu bagātība ir vidēji liela, kā nozīmīga minama Lēzela lipares *Liparis loeselii* atradne (Baumane, 2018a).

Dažādu un kompleksu iemeslu rezultātā (lauksaimniecības zemju meliorēšana, dabisko ūdensteču un ūdenstilpju hidroloģiskā režīma izmaiņšana ganību platību palielināšanai, maksšķerēšanas apstākļu uzlabošanai, ūdensdzīvnieku darbības efektīvizēšanai un ceļa būves vajadzībām) abās vīgās novērojama aizaugšana ar kokaugiem. Nozīmīgākais apaugums Pēterezera vīgā konstatēts no Lielā Pēterezera uz vīgas R galu, kur raksturīga teritorijas aizaugšana ar kokiem, galvenokārt ar priedi un purva bērzu. Vietām jaunās, netipiskās priedītes mijas ar veciem kokiem, kuru atrašanās biotopā ir dabiska un to izciršana nav nepieciešama. Pēterezera vīgas DR galā pie V1372 ceļa palielinājies melnalkšņa un pelēkā kārkla apaugums, kā arī ieviesusies niedre kādreizējā zāļu purva vietā. Kukšupes vīgā fragmentāri visa tās garumā novērojama teritorijas aizaugšana ar kokiem, galvenokārt ar melnalksni un purva bērzu, kas ieviesušies vīgas salīdzinoši sausākajās daļās attālāk no Kukšupes grāvja.



11. attēls. Kukšupes viga Slīteres nacionālajā parkā. Foto: M. Pakalne.

Saskaņā ar biotopu apsaimniekošanas plānu (Latvijas Universitāte, 2015a) LIFE projekta “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā” (LIFE 13 NAT/LV/000578) ietvaros vigās ierobežota koku un krūmu ieviešanās. Ciršana veikta 4 ha platībā Pēterezera vigā (12. attēls) un 3 ha platībā Kukšupes vigā 2016. g. ziemā un 2017./2018. g. ziemā. Aktivitāte tiks nodrošināta arī turpmākajos gados, lai novērstu atvašu ekspansīvu augšanu.



Pēterezera viga pirms apsaimniekošanas 2016. gadā



Pēterezera viga pēc apsaimniekošanas 2017. gadā

12. attēls. Apsaimniekošanas pasākumu rezultāts Pēterezera vigā. Foto: M. Pakalne.

Kaļķainais zāļu purvs dabas parkā “Engures ezers”

Dabas parks “Engures ezers” atrodas Piejūras zemienē, Engures līdzenumā, un ir Litorīnas jūras atstāto lagūnu veidots ezers. 1842. gadā izrokot Mērsraga kanālu, ezera līmenis pazeminājās par 1,5 m, kā rezultātā izveidojās lielas atklātas platības. Tās laika gaitā pārveidojušās par zāļu purviem. Dabas aizsardzības statuss sākotnēji veltīts ūdensputnu dzīvotņu saglabāšanai, tomēr dabas parks ir arī viena no Latvijā nozīmīgākajām teritorijām, kur labā kvalitātē saglabājušies ES nozīmes purvu biotopi 7210*

Dižās aslapes *Cladium mariscus* audzes ezeros un purvos (projekta teritorijā aizņem 16 ha) un 7230 Kaļķaini zāļu purvi (32 ha) (Latvijas Universitāte, 2018). Teritorijā atrodamas vairākas īpaši aizsargājamās augu sugas - rūsganā melncere *Schoenus ferrugineus* (13. attēls), dižā aslake *Cladium mariscus*, bezdelīgactiņa *Primula farinosa*, parastā kreimule *Pinguicula vulgaris*, parastā purvmirte *Myrica gale* un daudz orhideju dzimtas pārstāvju, ieskaitot mušu ofrīdu *Ophrys insectifera* (Blanka, 2011). Teritorijas apskatei un izpētei ierīkota infrastruktūra (dēļu laipa jeb “Orhideju taka”, putnu vērošanas tornis, Engures Ornitoloģisko pētījumu centrs).



13. attēls. Kaļķainais zāļu purvs ar rūsgano melnceri Engures ezera dabas parkā. Foto: M. Pakalne.

Lai ierobežotu dižās aslapes ekspansiju kaļķainā zāļu purva biotopā (14. attēls) un uzturētu atklātu zāļu purva ainavu, LIFE projekta “Degradēto purvu atjaunošana CO₂ emisiju mazināšanai Ziemeļeiropas zemienē” (LIFE15 CCM/DE/000138, LIFE Peat Restore) ietvaros saskaņā ar purva apsaimniekošanas plānu (Latvijas Universitāte, 2018) teritorijā veiks hidroloģiskā līmeņa stabilizēšanu, novēršot grāvju ietekmi, koku un krūmu izciršanu, ilgtermiņā - arī dižās aslapes pļaušanu un niedru noganīšanu. Pasākumu sekmju novērtēšanai jau ir uzsākts biotopu un hidroloģiskais monitorings.



14. attēls. Dižās aslapes audzes Engures ezera dabas parkā. Foto: M. Pakalne.

Sudas-Zviedru purvs Gaujas nacionālajā parkā

Sudas-Zviedru purvs (9. attēls) atrodas netālu no Siguldas un Augšlīgatnes, t.s. Vidzemes šosejas malā, Viduslatvijas zemienes un Viduslatvijas nolaidenuma ziemeļu daļā. Tas iekļauj Sudas purva rezervātu, Sudas purva Ratnieku ezera un purva liegumu, Sudas purva Mežaku liegumu un Sudas purva Mores liegumu. Teritorijas komplekss kopumā veido pēc platības lielāko augsto purvu sistēmu Gaujas nacionālajā parkā (turpmāk – Gaujas NP).

Biotops 7110* Neskarti augstie purvi (15. attēls) sastopams 1554 ha platībā, ko fragmentāri nomaina 7140 Pārejas purvi un slīkšņas (85 ha). Nozīmīgi objekti purva teritorijā ir upes un ezeri (Sudas upe, Zviedrupīte, Ratnieku upe, Muižnieku ezers, Ratnieku ezers, Zviedru ezers, Inderdēļu ezers), kas daudzveido purva ekosistēmu. Ievērojamu platību purvā aizņem arī boreālie un purvainie meži (kopā ~500 ha). Lielākā purva teritorijas daļa ir izcilas kvalitātes un cilvēku saimnieciskās darbības neskarta, tomēr nozīmīga purva platība ir degradēta pēc meliorācijas sistēmu ierīkošanas kūdras pakaišu ieguvei Padomju Savienības laikos, un tā aizņem 183 ha (Baumane, 2018b).

Saskaņā ar purva apsaimniekošanas plānu (Latvijas Universitāte, 2015b), LIFE projekta “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā” (LIFE 13 NAT/LV/000578) ietvaros, nosusināšanas ietekmes mazināšanai 2017./2018. g. ziemā uz grāvjiem ierīkoti aizsprosti. Purva zemsedzes atjaunošanai 1 ha lielā platībā veikta sfagnu un citu purva augu reintroducēšana. Aktivitāšu sekmju novērtēšanai ierīkoti biotopu monitoringa parauglaukumi un hidroloģiskā monitoringa urbumi.



15. attēls. Sudas-Zviedru purvs Gaujas nacionālajā parkā. Foto: M. Pakalne

Divus gadus pēc veiktajām darbībām purva biotopu hidroloģiskā stāvokļa uzlabošanai ir vērojama purvam raksturīgās veģetācijas atjaunošanās izveidoto kūdras aizsprostu tuvumā (16. attēls).



Kūdras aizsprosts Sudas-Zviedru purvā 2017. gadā pēc tā uzbūvēšanas.



Kūdras aizsprosts apaudzis ar veģetāciju Sudas-Zviedru purvā 2019. gadā.

16. attēls. Purva biotopu un hidroloģiskā režīma atjaunošanas rezultāti Sudas-Zviedru purvā. Foto: M. Pakalne

Madiešēnu purvs un Namītēnu purvs dabas liegumā “Augstroze”

Dabas liegums “Augstroze” (9. attēls) atrodas Ziemeļvidzemes ģeobotāniskajā rajonā, Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā netālu no Dikļiem un Limbažiem, pie P11 autoceļa. Teritorija ir nozīmīga migrējošo savvaļas putnu aizsardzībai, kā arī kultūrvēsturiskā mantojuma vieta ar viduslaiku nocietinājumu, Augstrozes pilskalnu ar pils drupām, un Augstrozes muižas kompleksu (Ikauniece, 2019).



17. attēls. Madiešēnu purvs dabas liegumā “Augstroze”. Foto: M. Pakalne.

Liegumā lielāko platību aizņem purvi (45%), meži (39%) un saldūdeņi, galvenokārt ezeri (13%). Bioloģiskā daudzveidība ir saistīta ar izcilas kvalitātes biotopiem (Ikauniece, 2019) – 7110* Neskartiem augstajiem purviem (1513 ha), 7140 Pārejas purviem un slīkšņām (295 ha), 3130 Ezeriem ar oligotrofām līdz mezotrofām augu sabiedrībām (469 ha), 9010* Veciem vai dabiskiem boreāliem mežiem (160 ha) un 91D0* Purvainiem mežiem (98 ha).

Nozīmīgā platībā visi biotopi sastopami lielākajā dabas lieguma purvā – Madiešēnu jeb Lāču purvā, kas ir tipisks augstais purvs ar ciņu grēdām un slīkšņu-lāmu kompleksu (17. attēls). Purvā lielā skaitā sastopamas retas un īpaši aizsargājamas augu, bezmugurkaulnieku un putnu sugas. Madiešēnu purvs ir vienīgais purvs dabas liegumā, kas ir būtiski degradēts meliorācijas ietekmē. Biotops 7120 Degradēti augstie purvi, kuros iespējama vai noris dabiskā atjaunošanās, purvā izveidojies aptuveni 100 ha platībā. Lai novērstu tālāku purva nosusināšanu un stabilizētu hidroloģisko režīmu, teritorijā LIFE projekta “Degradēto purvu atjaunošana CO₂ emisiju mazināšanai Ziemeļeiropas zemienē” (LIFE15 CCM/DE/000138, LIFE Peat Restore) ietvaros 2019./2020. g. ziemā uz meliorācijas grāvjiem tiks ierīkoti aizsprosti.

Namītēnu purvs atrodas Dauguļu Mazezera krastā, tajā dominē biotops 7140 Pārejas purvi un slīkšņas, kur tas izvietojis nefragmentēts un viendabīgs, aizņemot 63 ha. Purvs ir nozīmīgs ar vairāku retu un īpaši aizsargājamu augu un dzīvnieku sugu sastopamību (piemēram, pamīšziedu daudzlape *Myriophyllum alterniflorum*, sīkā lēpe *Nuphar pumila*, urālpūce *Strix uralensis*, melnā dzilna *Dryocopus martius*).

3.2. DATU IEVĀKŠANA

Projekta ietvaros ieguva gan attālās izpētes datus, gan arī lauka apstākļos ievāca references datus, kas raksturo purvu eksperta konstatētās veģetācijas atšķirības dabā purvos un kalpo par attālās izpētes analizēto datu kalibrācijas un validācijas materiālu.

Attālās izpētes dati

Attālās izpētes datus visās projekta teritorijās ievāca 2018. gada 3. jūnijā bezmākoņu debess apstākļos, izmantojot Vides Risinājumu Institūta (VRI) lidojošo laboratoriju ARSENAL (abreviatūra no angļu val. *Airborne Surveillance and Environmental monitoring system* jeb aviācijā bāzēta novērošanas un vides monitoringa sistēma) (Avots: ARSENAL raksturojums VRI mājaslapā).

Lai iegūtu nepieciešamo informāciju, datus ieguva ar iepriekš instalētām un kalibrētām iekārtām: augstas izšķirtspējas redzamās un tuvā infrasarkanā gaismas diapazona hiperspektrālo sensoru **CASI-1500** (ITRES, 2010) un augstas izšķirtspējas RGB vizuālo kameru **Trimble Aerial Camera 60M**.

Datu sagatavošana analīzei jeb priekšapstrāde ir nākamais posms pēc informācijas iegūšanas. Priekšapstrāde ietver sevī trīs galvenos procesus: attēlu radiometrisko korekciju, pozicionēšanas datu apstrādi, ģeometrisko korekciju. Katrs priekšapstrādes posms tika veikts ar attiecīgā sensora ražotāja izgatavotu programmatūru. Priekšapstrādes gala produkts ir lidojuma līniju mozaīka (katras teritorijas savienoto lidojuma līniju kopattēls).

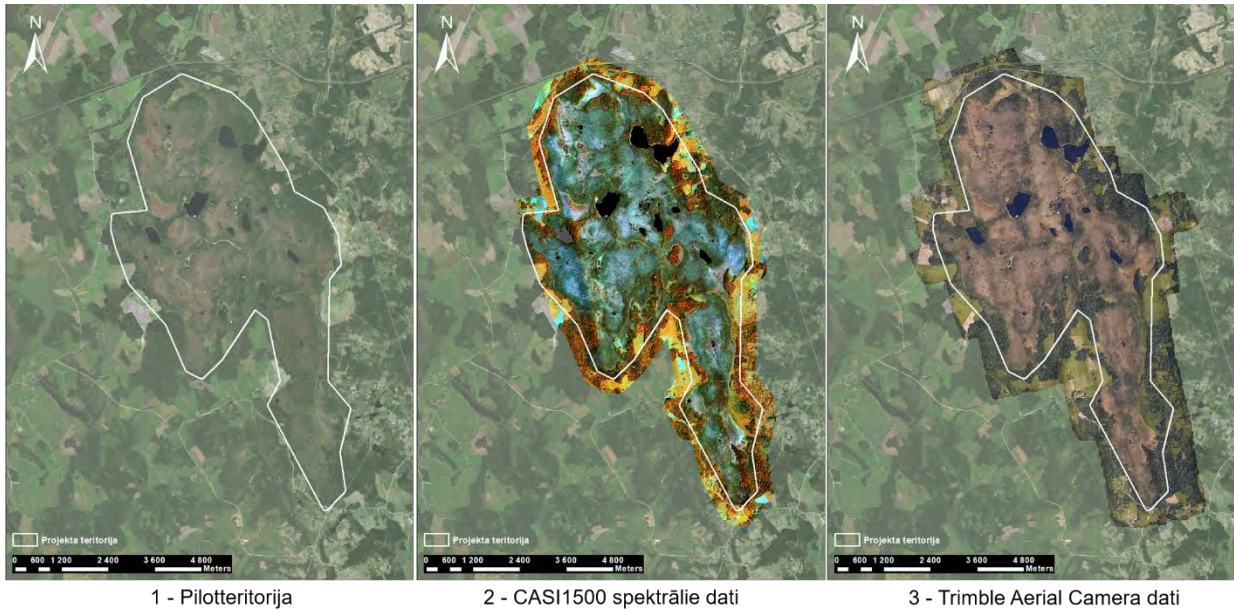
Radiometriskajā korekcijā datus attīra no nevēlamā signāla, piešķirot attēla pikseļiem fizikāla lieluma vērtības.

Pozicionēšanas datu apstrādē lidmašīnas veikto ceļu precizē no 10 m līdz 5 cm kļūdai, izmantojot lokāla mēroga GNSS bāzes staciju sistēmu LatPos, kuru apsaimnieko Latvijas Ģeotelpiskās Informācijas Aģentūra. Rezultātā iegūst lidmašīnas trajektoriju un lidaparāta kustību leņķiskās novirzes datu ievākšanas laikā.

Ģeometriskajā korekcijā, izmantojot pozicionēšanas datu apstrādes rezultātu, radiimetriski koriģētos attēlus ievieto koordināšu sistēmā, tos ģeometriski iztaisno, izmantojot lidmašīnas kustību leņķisko noviržu informāciju, kā arī attiecīgās teritorijas virsmas objektu augstumu modeli.

Priekšapstrādāto datu rezultātu piemērs Sudas-Zviedru purva pilotteritorijai ir attēlots 18. attēlā.

Iegūto produktu telpiskā izšķirtspēja – hiperspektrāliem datiem ir 2m uz pikseli un vizuālās kameras datiem tā ir 0,1 m uz pikseli. Katru teritoriju apstrādāja pēc līdzīga principa, ievērojot augstāk minētos priekšapstrādes soļus.



1 - Pilotteritorija

2 - CASI1500 spektrālie dati

3 - Trimble Aerial Camera dati

18. attēls. Priekšapstrādāto datu piemērs Sudas-Zviedru purva pilotteritorijai: 1 – pilotteritorijas poligons, 2 – augstas izšķirtspējas hiperspektrālo datu mozaīka, 3 – augstas izšķirtspējas vizuālās kameras datu mozaīka.

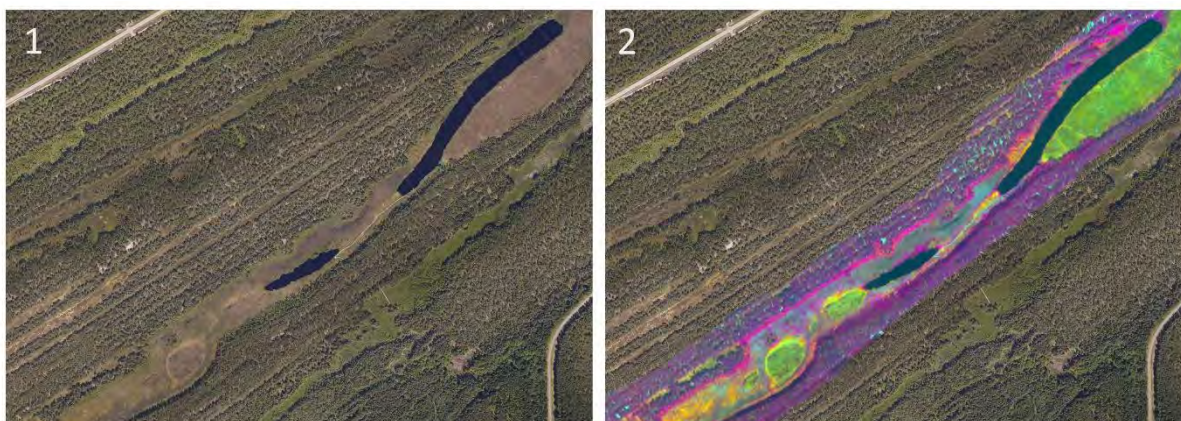
Lauka references dati

Visās projekta teritorijās jau iepriekš bija veikta detalizēta ES nozīmes biotopu kartēšana (2017. gadā – Madiēšenu un Namītēnu purvā dabas liegumā “Augstroze” un Engures ezera dabas parkā; 2015. gadā – Sudas-Zviedru purvā un abās vigās), kas veicināja mērķtiecīgāku lauku darbu plānošanu, jo lielā mērā katram biotopam atbilst kāds konkrēts GEST tips. Lai pārbaudītu šo hipotēzi, apsekojot teritorijas, apmeklēja vairākas vietas, kur bija zināma attiecīgā biotopa sastopamība. Purvu teritorijas references datu ievākšanai apsekoja abi projektam piesaisītie purvu biotopu eksperti – Līga Strazdiņa un Māra Pakalne (19. attēls). Purvu eksperti vigas apsekoja 2018. gada 2. un 3. augustā, purvus dabas liegumā “Augstroze” – 10. un 15. augustā, Sudas-Zviedru purvu – 11. augustā. Engures ezera dabas parka purvu platību apsekoja 2018. gada 13. augustā.



19. attēls. Purvu ekspertes veic lauka darbus Sudas-Zviedru purvā. Foto: J. Saulītis.

Situāciju dabā salīdzināja ar labas izšķirtspējas ortokartēm un Vides risinājumu institūta speciālistu sagatavotām purvu teritoriju spektrālajām kartēm, kurās viennozīmīgi bija izšķirama robeža starp atšķirīga veģetācijas sastāva vienībām (20. attēls). Robežzonās pievērsta uzmanība, vai krāsojuma atšķirības kartēs ir tehniska neprecizitāte, ģeogrāfiska īpatnība vai veģetācijas sastāva diferences. Visās apsekotajās vietās, kur konstatēja unikālu veģetācijas sastāvu, aizpildīja GEST metodikas lauka protokolu (2. pielikums), norādot dažādus abiotiskos parametrus un visu konstatēto vaskulāro un sūnu sugu segumu pēc septiņu ballu skalas. Katram protokolam piešķīra kodētu numuru un veica atzīmi ortokartē, kur un kādā platībā attiecīgais biotops/GEST tips sastopams. Darba precizitātes un kvalitātes uzlabošanai izmantoja arī GPS uztvērējus. Apsekotajās vietās veica fotofiksāciju (4. pielikums).



20. attēls. Teritoriju apsekošanā izmantotās kartes, piemērs no Pēterezera vīgas fragmenta Slīteres nacionālajā parkā: 1 – augstas izšķirtspējas ortofoto, 2 – Vides risinājumu institūta sagatavota augstas izšķirtspējas spektrālā karte.

Dabā novēroto veģetācijas vienību atbilstību GEST tipiem pārbaudīja pēc kataloga (1. pielikums), analizējot augu sugu sabiedrības jeb veģetācijas formas saistībā ar augsnes mitrumu, barības vielu daudzumu un augsnes pH vērtību. Lai pēc iespējas precīzi noteiktu GEST tipus, kā prioritāro rādītāju izvērtēja koku stāva/atklāta biotopa raksturu. Kā minēts iepriekš, pēc šī parametra metodikā ir klasificētas trīs galvenās GEST tipu grupas – atklāti, dabiski purvāji; krūmāji un meži uz kūdrainām augsnēm; intensīvi izmantotas ganības un zālāji. Tālāko dalījumu balstīja uz dominējošo sugu sastopamību, kas var būt gan lakstaugi, gan koki un krūmi, gan sūnas. Identiska veģetācijas sastāva gadījumos vērtēja abiotiskos faktorus.

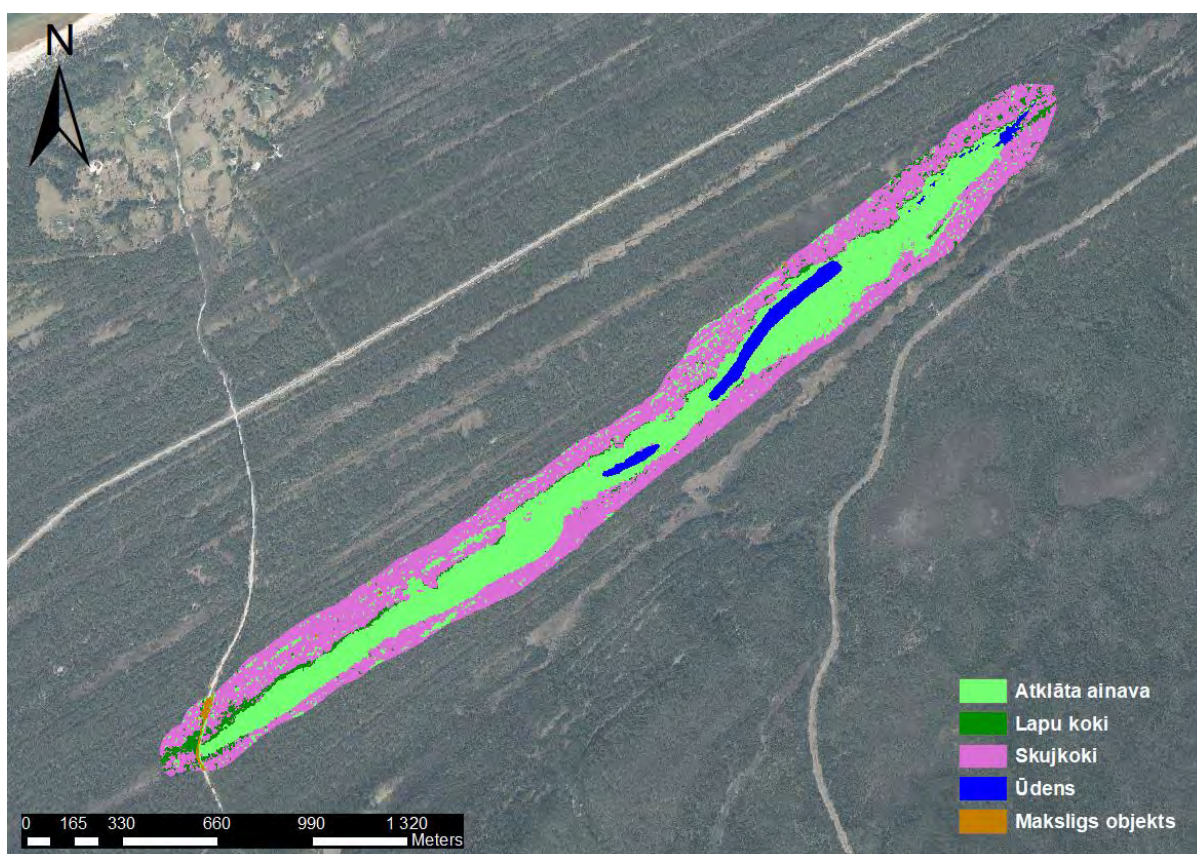
Pēc atbilstošu GEST tipu klasificēšanas atkārtoti analizēja kartogrāfiskos materiālus, lai precizētu katra tipa aizņemto platību un savstarpēju pārklāšanos. Atsevišķos gadījumos izteikti mozaikveidā sastopamos GEST tipus apvienoja, lai saglabātu teritorijas homogenitāti.

3.3. DATU ANALĪZE

Lai raksturotu katras purvu izpētes teritorijas siltumnīcefekta gāzu akumulēšanas, emisijas apjomu un globālās sasilšanas potenciālu, projektā veica darbības secīgā kārtībā. Darbu secība uzskaitīta pa soļiem zemāk un ietver ne tikai datu analīzi, bet arī parāda darba etapus, kuros tika veikta, piemēram, references datu ievākšana.

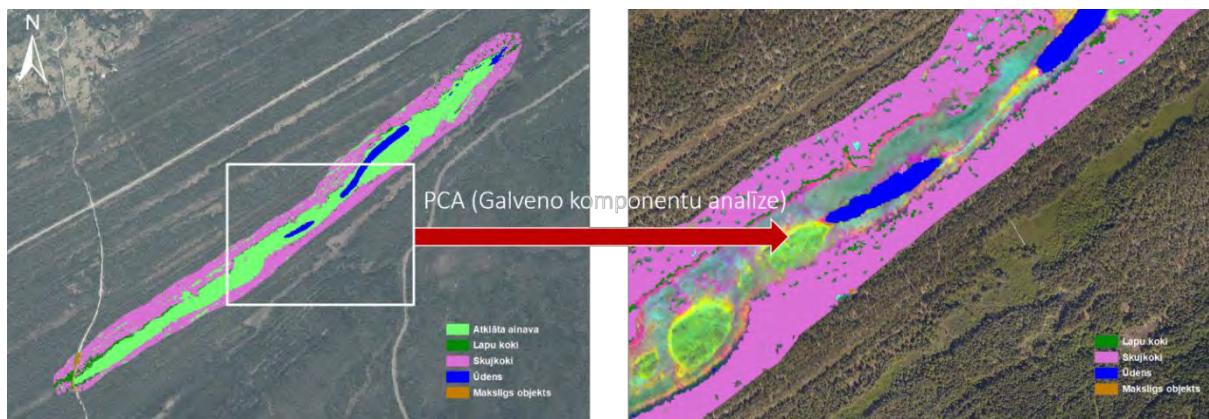
Datu analīze nav nošķirama no kopējās darba gaitas, tādēļ tā iekļauta kopējā darba gaitas apskatā šajā nodaļā. Projektā veiktie datu apstrādes un analīzes soļi bija sekojoši:

1. Uzņemti hiperspektrālie un augstas rezolūcijas ortofoto attēli ar attālās izpētes iekārtām (18. attēls).
2. Ar attēlu apstrādes programmām izgriezti mozaīkas attēli, atstājot informāciju, kas ietverta tikai purvu pilotteritoriju poligonos.
3. Atšifrēti spektrālo attēlu rezultāti, klasificējot veģetāciju pēc galvenajām grupām (21. attēls): ūdeņi, meži (lapu koku un skujkoku virs 5 m un zem 5 m), atklāta ainava, mākslīgs jeb cilvēka radīts objekts.



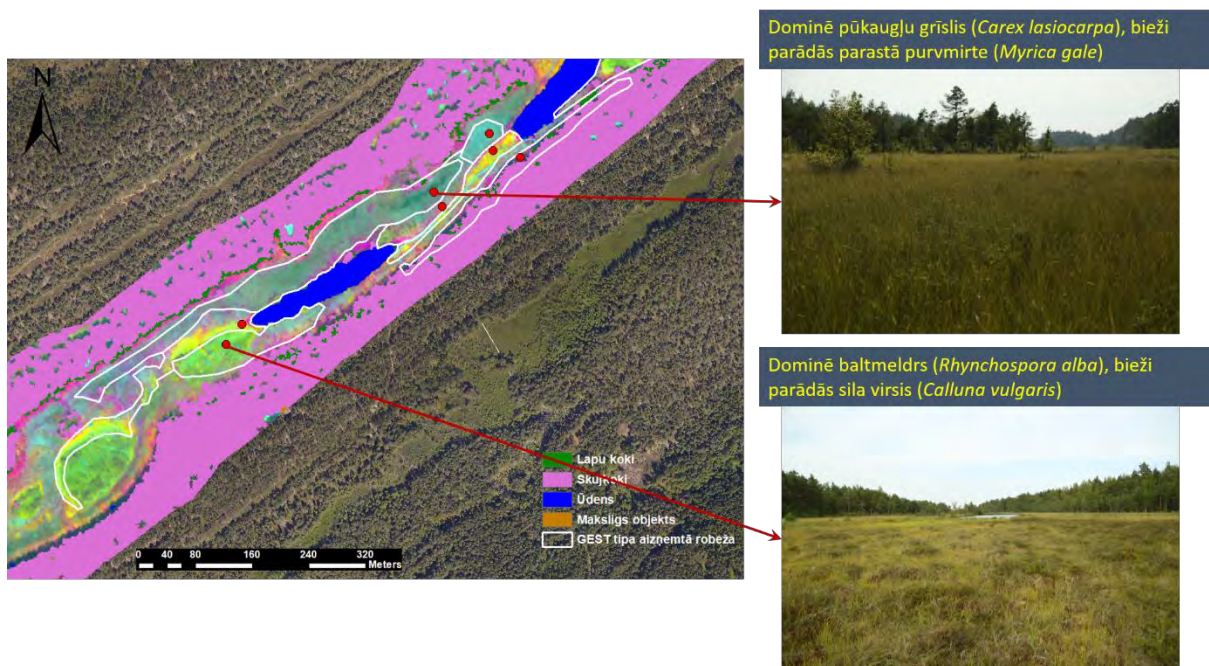
21. attēls. Zemes virsmas seguma galveno grupu klasifikācijas rezultātus Pēterezera vīgas teritorijai Slīteres nacionālajā parkā. Autors: Vides risinājumu institūts.

4. Apstrādāti hiperspektrālie dati atklātās ainavas klases ietvaros, izmantojot PCA (galveno komponentu analīzi), un attēloti trīs informatīvāko komponentu attēlā (22. attēls). Šis materiāls kalpo kā papildus informācija ekspertam dabā, lai precīzāk atzīmētu GEST tipa aizņemto robežu.



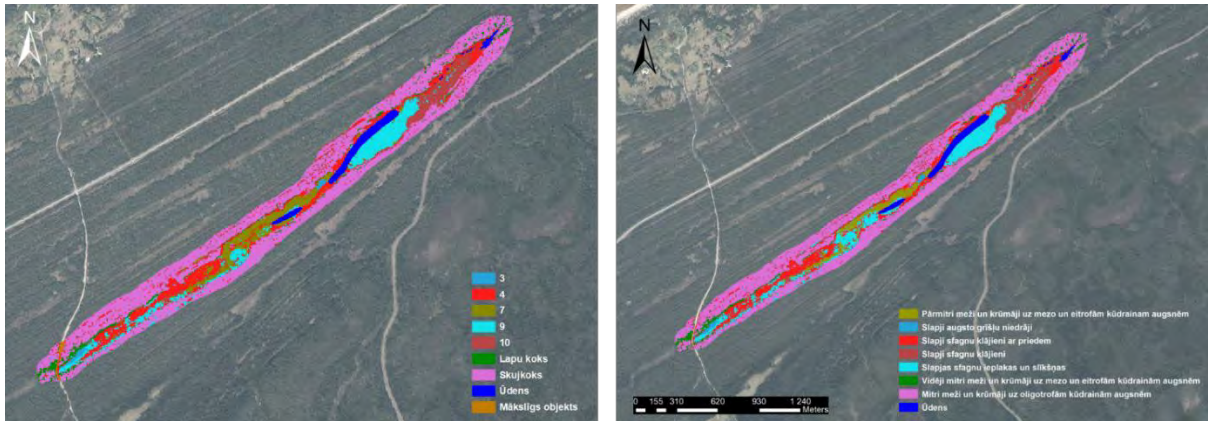
22. attēls. Zemes virsmas galveno grupu klasifikācija (kreisās puses attēls); galveno komponentu analīzes rezultāta trīs informatīvāko slāņu attēls integrēts atklātās ainavas teritorijā (labās puses attēls). Attēlos piemērs Pēterezera vīgas teritorijai Slīteres nacionālajā parkā. Autors: Vides risinājumu institūts.

5. Dabā apsektas dominējošās veģetācijas vienības, par katru aizpildīts GEST lauka protokols un veikta atzīme kartē par GEST tipa aizņemto robežu (23. attēls).



23. attēls. Laika kartēs atzīmētās GEST tipiem atbilstošās veģetācijas robežas (kreisās puses attēls) un šajās vietās atšķirīgas GEST tipa veģetācijas fotofiksācijas attēli ar atzīmēm kartē, norādot precīzu attēlu uzņemšanas lokācijas vietu (labās puses attēli). Attēlā piemērs Pēterezera vīgas teritorijai Slīteres nacionālajā parkā. Fotoattēlu autors: M. Pakalne.

6. Analizēti lauku protokoli, lai noteiktu atbilstošos GEST tipus un veģetācijas formas (sīkāk skatīt šī metodiskā materiāla iepriekšējā apakšnodaļā).
7. Apstrādāti attālās izpētes attēli, izmantojot mašīnāpmācības rīku kopā ar dabā iegūto references datu informāciju, lai precizētu veģetācijas vienību robežas visā teritorijā, norādot precīzu katra GEST tipa robežu un aizņemto platību hektāros (24. attēls).



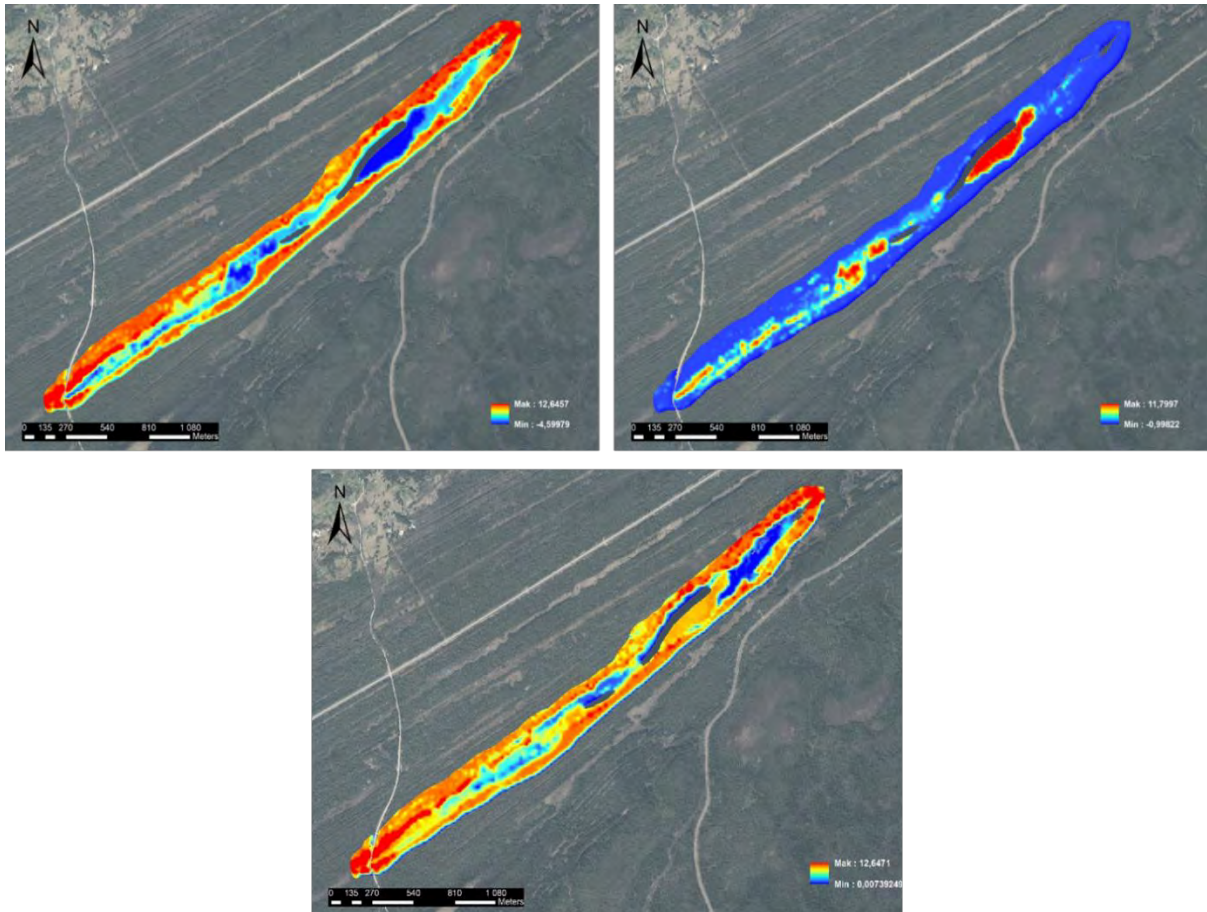
24. attēls. Veģetācijas vienību klasifikācijas rezultāta attēls (kreisās puses attēls); GEST tipu karte (labās puses attēls). Attēlos piemērs Pēterezera vigas teritorijai Slīteres nacionālajā parkā. Autors: Vides risinājumu institūts.

8. Pēc GEST tipu kataloga (1. pielikums) noteikta katra projekta teritorijās konstatētā GEST tipa CO₂, CH₄ un globālās sasilšanas potenciāla vērtība 1 ha vienībai (2. tabula). Izmantojot katalogā sniegtās vērtības, izveidots kartogrāfiskais materiāls, ievērojot 20 m pludenu robežu pāreju.

2. tabula. Projekta purvu teritorijās konstatēto GEST tipu izdalīto siltumnīcefekta gāzu emisiju vērtību tabula. Apzīmējumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība: (t/ha*g) - tonnas uz hektāru gadā.

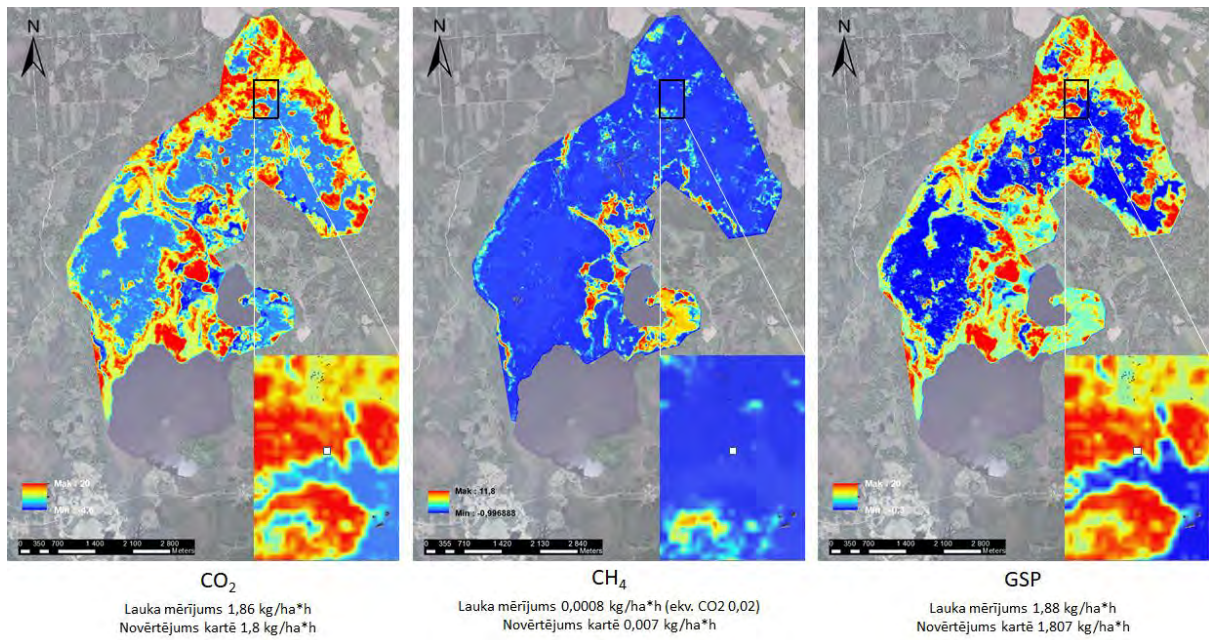
GEST tips	CO ₂ (t/ha*g)	CH ₄ (t/ha*g)	GSP (t/ha*g)
Mitri meži un krūmāji uz oligotrofām kūdrainām augsnēm	9,4	0	9,4
Slapji sfagnu klājieni	-0,5	0,3	-0,3
Vidēji mitri meži un krūmāji uz mezo un eitrofām kūdrainām augsnēm	20	0	20
Slapji augsto grīšļu niedrāji	-0,1	8,5	8,4
Pārmitri meži un krūmāji uz mezo un eitrofām kūdrainām augsnēm	-0,5	2,1	1,6
Slapji sfagnu klājieni ar priedēm	3,9	0,2	4,1
Slapjas sfagnu ieplakas un slišķšņas	-4,6	11,8	7

9. Izmantojot iegūto GEST tipu klasifikācijas kartogrāfisko materiālu, aprēķināts kopējais siltumnīcefekta gāzu akumulēšanas un emisijas apjoms un globālās sasilšanas potenciāls visai izpētes teritorijai katram purvam (25. attēls).



25. attēls. Siltumnīcefekta gāzu (CO_2 – augšējais attēls pa kreisi; CH_4 – augšējais attēls pa kreisi) un globālās sasilšanas potenciāla (GSP – apakšējais attēls) vērtību kartes. Vērtību mērvienība ir tonnas uz hektāru gadā. Attēlos piemērs Pēterezera vīgas teritorijai Slīteres nacionālajā parkā. Autors: Vides risinājumu institūts.

10. Apsverot veiktos vai plānotos purvu biotopu apsaimniekošanas pasākumus un to ietekmes izplatību, tika prognozētas GEST tipu veidu un platības izmaiņas, sagatavojot izmaiņu scenārija kartes situācijai pēc 50 gadiem. Katram scenārijam atbilstošās SEG akumulēšanas un emisijas un globālās sasilšanas potenciāla izmaiņas izteiktas skaitliski un ilustrētas vizuāli kā kartogrāfiskais materiāls.
11. Izmantojot pieejamos SEG emisiju mērījumu rezultātus, kas iegūti ar slēgto kameru metodi divās no projektā aplūkotajām teritorijām, un šo mērījumu veikšanu punkta koordinātēs (26. attēls), tika veikts salīdzinājums ar novērojumu izveidotajās purvu SEG kartēs, pārrēķinot kartes vērtības uz lauka mērījumu mērvienību (no $\text{t/ha} \cdot \text{g}$ uz $\text{kg/ha} \cdot \text{h}$).



26. attēls. Siltumnīcefekta gāzu vērtību salīdzinājums starp šajā projektā iegūto rezultātu SEG kartēs un ar slēgto kameru metodi iegūto SEG datu mērījumiem punktā, kurš izcelts attēlā. Piemērs dabas lieguma “Augstroze” purvu teritorijai. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Autors: Vides risinājumu institūts.

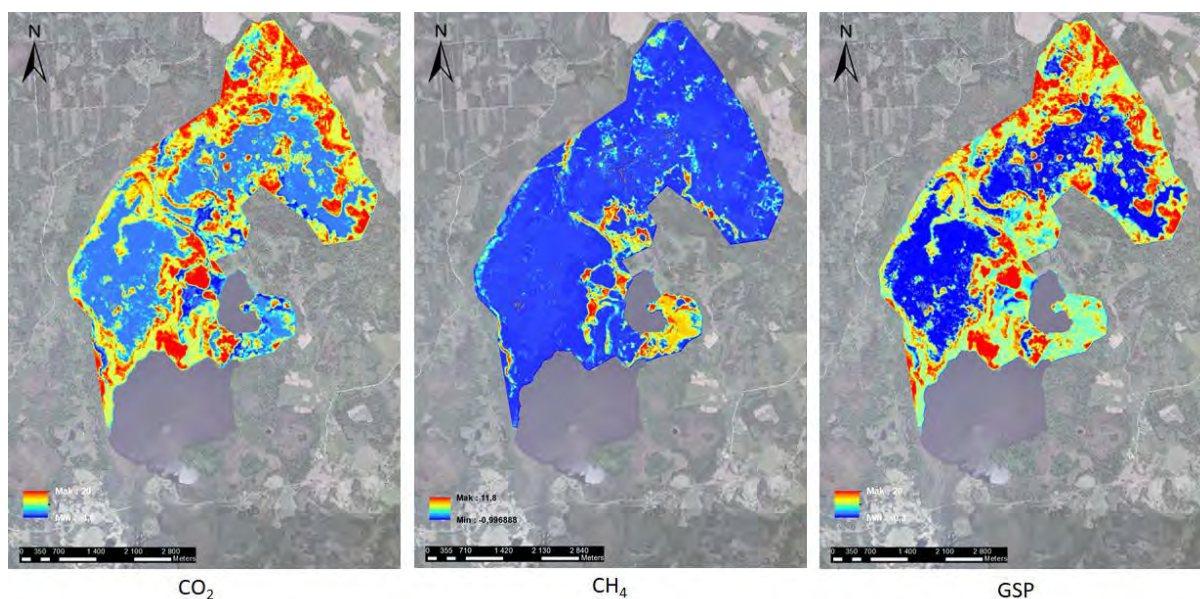
4. PROJEKTA REZULTĀTS

Projektā iegūtie GEST kartēšanas rezultāti ļāva iegūt katrai purvu teritorijai SEG emisiju kartes, kurās attēloja oglekļa dioksīda, metāna un globālās sasilšanas potenciāla vērtības. Minētie trīs SEG vērtēšanas parametri aprēķināti gan uz visu projektā analizēto purva teritoriju, gan atsevišķi izvērtēti tikai purva platībām, kurās notikušas vai tiek plānotas purvu biotopu stāvokli uzlabojošas darbības (hidroloģiskā režīma atjaunošana vai koku apauguma izciršana). Atsevišķām purvu teritorijām izvērtēja SEG prognozes 50 gadus uz priekšu pēc biotopu stāvokli uzlabojošām darbībām.

Iegūtos SEG vērtējuma rezultātus divām teritorijām (Madiešēnu purvam dabas liegumā “Augstroze” un kaļķainajam purvam Engures ezera dabas parkā) salīdzināja ar faktiskajiem SEG mērījumu datiem, kas šīm teritorijām ir iegūtas cita projekta “Degradēto purvu atjaunošana CO₂ emisiju mazināšanai Ziemeļeiropas zemienē” (LIFE15 CCM/DE/000138, LIFE Peat Restore) ietvaros.

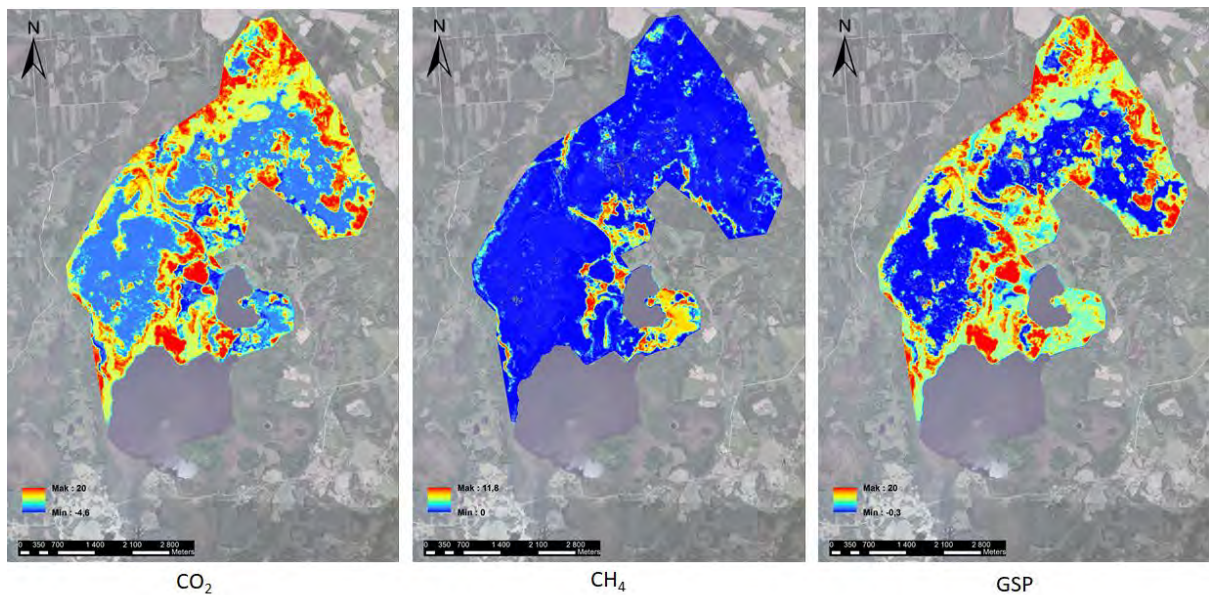
4.1. MADIEŠĒNU PURVS UN NAMĪTĒNU PURVS DABAS LIEGUMĀ “AUGSTROZE”

Madiešēnu un Namītēnu purvā pašreiz (uz 2019. gada nogali) vēl nav uzsāktas LIFE Peat Restore projektā plānotās purvu biotopu hidroloģiskā režīma uzlabojošās darbības. Šajā projektā aprēķinātās pašreizējās SEG vērtības attēlotas 27. attēlā.



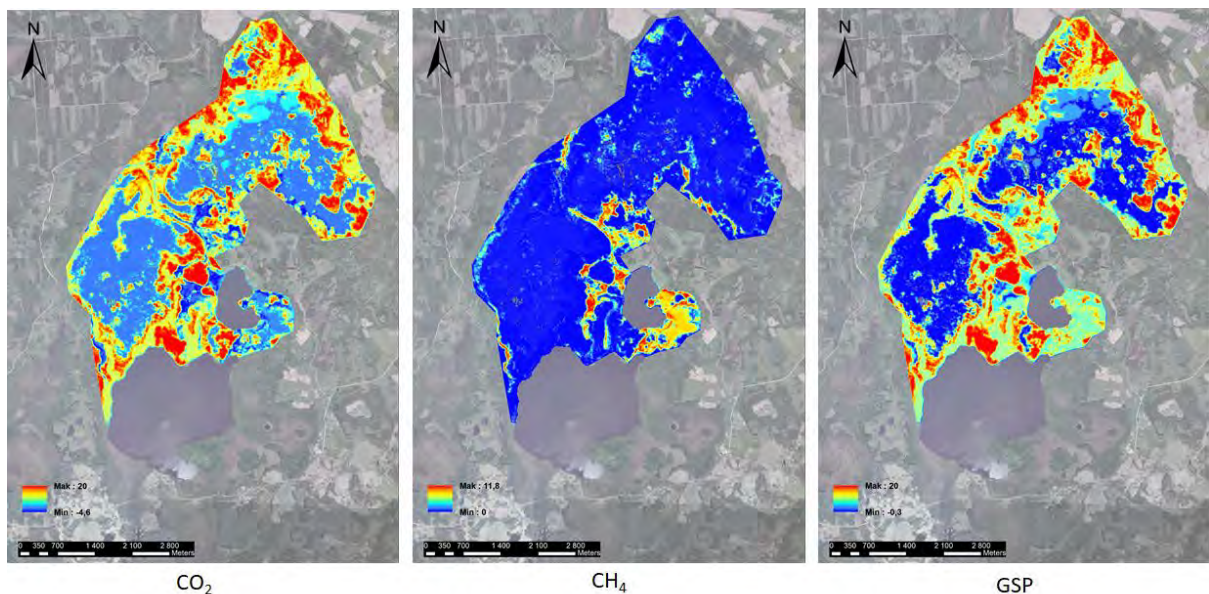
27. attēls. Pašreizējie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji dabas liegumā “Augstroze” esošiem Madiešēnu un Namītēnu purviem. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Lai varētu izvērtēt LIFE Peat Restore projektā plānoto darbību paredzamo ieguldījumu uz SEG emisiju samazinājumu pēc 50 gadiem, tika modelēti divi scenāriji. Pirmais scenārijs paredz, ka projekta darbības (grāvju aizsprostošana) mēreni palielinās mitruma apstākļus Madiešēnu purva ziemeļu daļā, kur laika posmā starp 1983. gadu un 1998. gadu ierīkoti nosusināšanas grāvji meža augšanas apstākļu uzlabošanai. Prognozēts (28. attēls), ka saglabāsies blīvs koku stāvs, kāds tas ir esošajā situācijā, tikai zemsedzes veģetācijā būs izmaiņas - samazināsies sila virša *Calluna vulgaris* segums, bet sūnu stāvā - būs lielāks sfagnu segums



28. attēls. Prognozētie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji Augstrozes dabas liegumā esošiem Madiešēnu un Namītēnu purviem pēc 50 gadiem pēc pirmā scenārija. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Otrais scenārijs (29. attēls) ir optimistiskāks un tajā SEG emisijas modelētas situācijai, kad projektā plānotās darbības nodrošina slapjus apstākļus un tiem atbilstošas purva veģetācijas sabiedrības izveidi. Hidroloģiskā stāvokļa stabilizēšanas rezultātā būtiski samazinātos koku un krūmu stāvs, veidotos atklāta purva ainava.



29. attēls. Prognozētie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji dabas liegumā “Augstroze” esošiem Madiešēnu un Namītēnu purviem pēc 50 gadiem pēc otrā scenārija. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

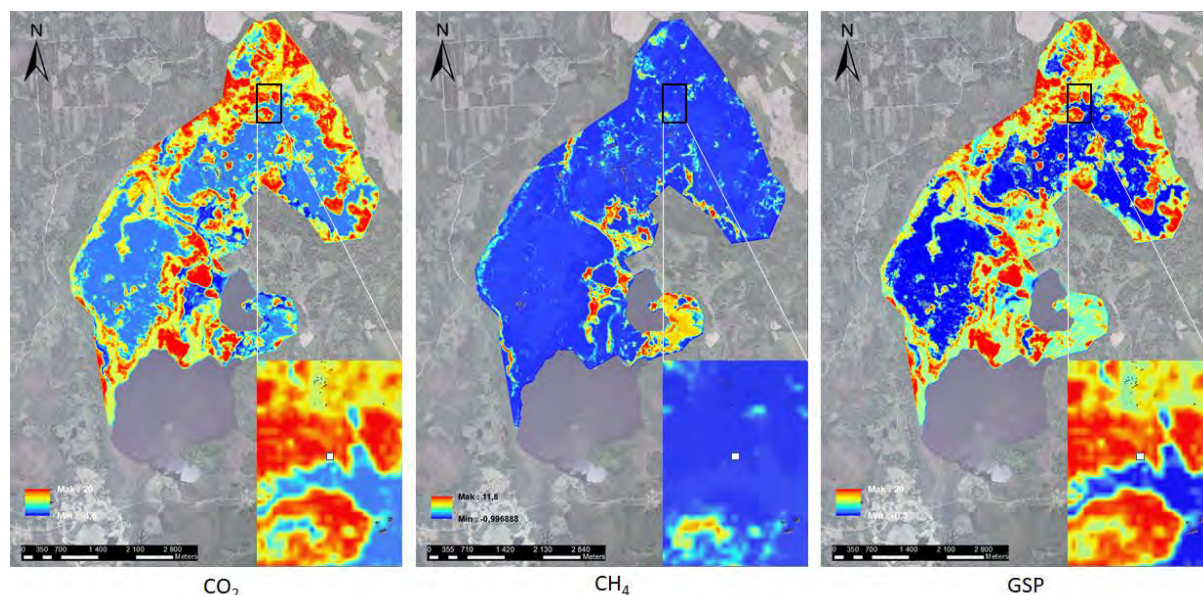
Pārrēķinot kopējās SEG vērtības uz visu purvu teritoriju un atsevišķi aktivitāšu teritorijām, 3. tabulā redzams izvērtējums, cik lielā mērā gada ietvaros pašreiz un ir nākotnē paredzamās SEG emisiju izmaiņas pēc 50 gadiem. Ja uz visu purvu kopumā paredzamās izmaiņas pēc otrā scenārija CO₂ vērtībā samazinās par 4%, tad pašā purvu biotopu atjaunošanas platībā samazinājums ir paredzams

par 56%, salīdzinot ar pašreizējo CO₂ vērtību. Līdzīgi izmaiņas var aprēķināt metānam un globālās sasilšanas potenciāla vērtējumam.

3. tabula. Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju aprēķini pēc projektā iegūtajām SEG kartēm dabas liegumā “Augstroze”, Madiešēnu un Namītēnu purvos. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā.

	Visā purva teritorijā			Purvu biotopu atjaunošanas platībās		
	CO ₂	CH ₄	GSP	CO ₂	CH ₄	GSP
Pašreizējā situācija	7,33	1,28	8,58	7,56	0,71	7,59
1. scenārijs	7,18	1,27	8,40	5,20	0,48	5,64
2. scenārijs	7,03	1,28	8,26	3,30	0,55	3,80

Pateicoties LIFE Peat Restore projektā uzsāktajiem tiešajiem siltumnīcefekta gāzu mērījumiem šajā purvu teritorijā, radās iespēja šī projekta SEG mērījumu datus salīdzināt ar pirmajiem SEG mērījumu datiem, kas iegūti ar kameru metodi 2019. gada maijā, jūnijā Latvijas valsts mežzinātnes institūta “Silava” pētnieku vadībā (30. attēls).



30. attēls. Pašreizējie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji pēc šajā metodiskajā materiālā aprakstītās metodikas dabas liegumā “Augstroze” esošiem Madiešēnu un Namītēnu purviem punktā, kurā tiek veikti tiešie SEG mērījumi ar kameru metodi LIFE Peat Restore projektā. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

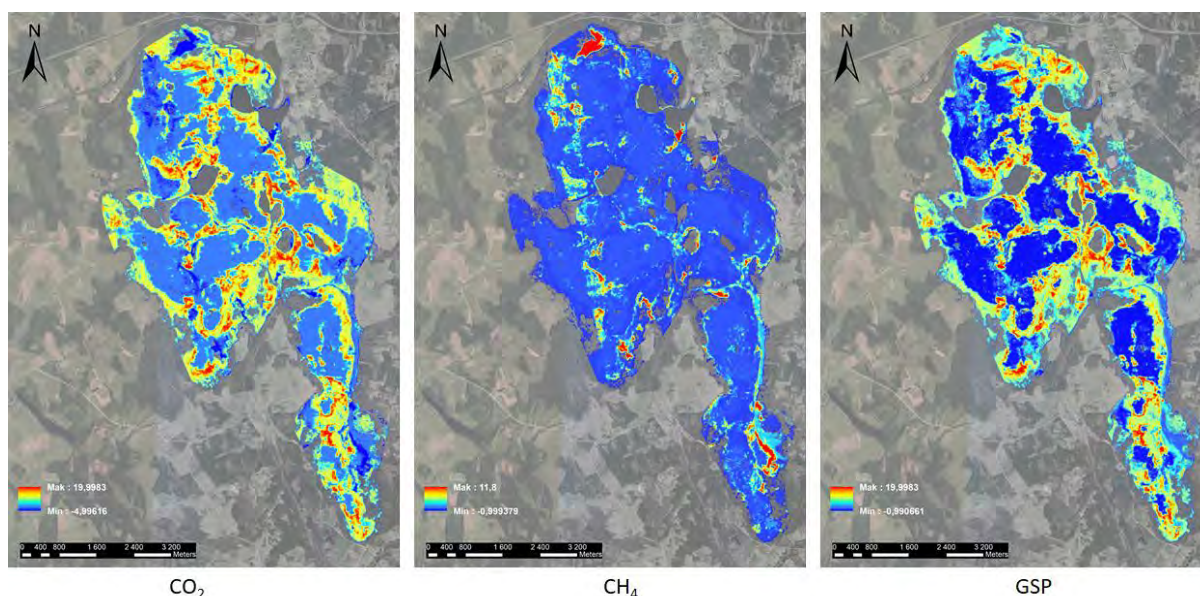
Lai arī tik īsa laika perioda tiešo mērījumu datus nav adekvāti izmantot salīdzinājumam, tomēr arī tie dod zināmu ieskatu par šī projektā izstrādātās un aprakstītās metodikas iegūto datu atbilstību un ticamību. Pēc datu pārrēķina uz salīdzināmām mērvienībām, iegūtais rezultāts uzrāda tuvu SEG vērtību sakritību attiecībā uz CO₂ vērtībām starp abām metodēm un arī metāna vērtību atšķirības daudz neietekmē globālās sasilšanas potenciāla vērtību līdzību (4. tabula).

4. tabula. Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju salīdzinājums starp šajā projektā izstrādāto attāļajā izpētē balstīto GEST metodikas pielietojumu un ar kameru metodi iegūtajiem tiešajiem SEG mērījumiem dabas liegumā “Augstroze”, Madiešēnu un Namītēnu purvos. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir kilogrami uz hektāru stundā.

	CO ₂	CH ₄	GSP
Ar šajā projektā izstrādāto metodi iegūtās SEG vērtības	1,80	0,0070	1,807
LIFE Peat Restore projektā ar kameru metodi iegūtās SEG vērtības	1,86	0,0008	1,880

4.2. SUDAS-ZVIEDRU PURVS

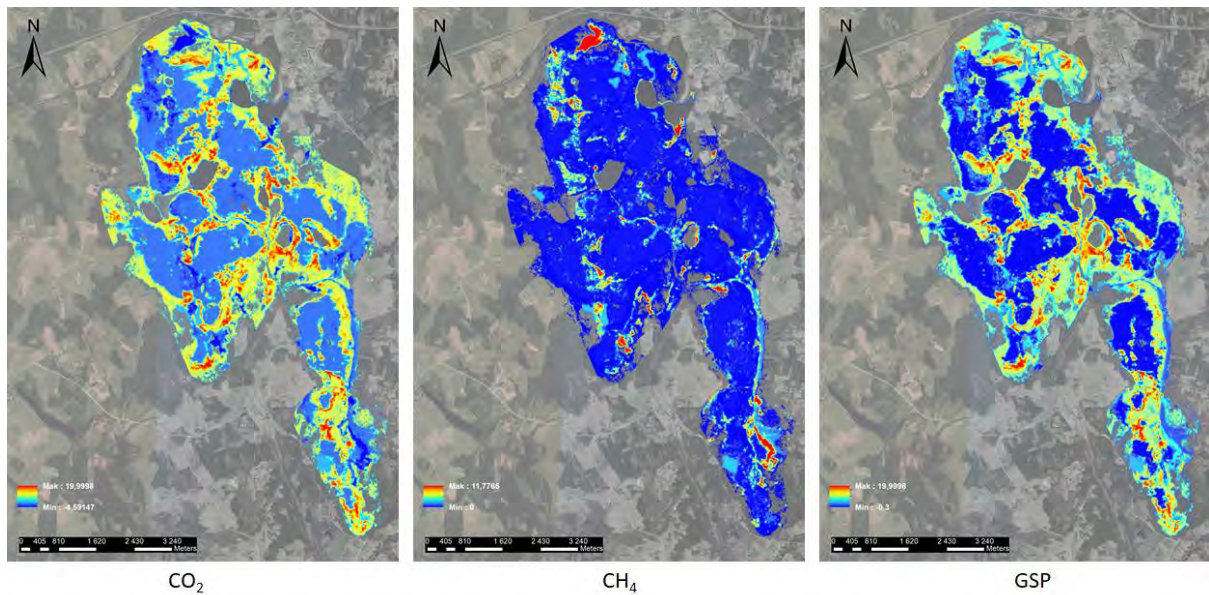
Sudas-Zviedru purvā hidroloģiskā režīma atjaunošanas darbības īstenotas 2017., 2018. gadā LIFE projektā “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā” (LIFE 13 NAT/LV/000578). Šajā projektā aprēķinātās SEG vērtības parāda situāciju purvā gadu vēlāk pēc minētajā LIFE projektā īstenotajiem nosusināšanas ietekmi mazinošajiem pasākumiem (31. attēls).



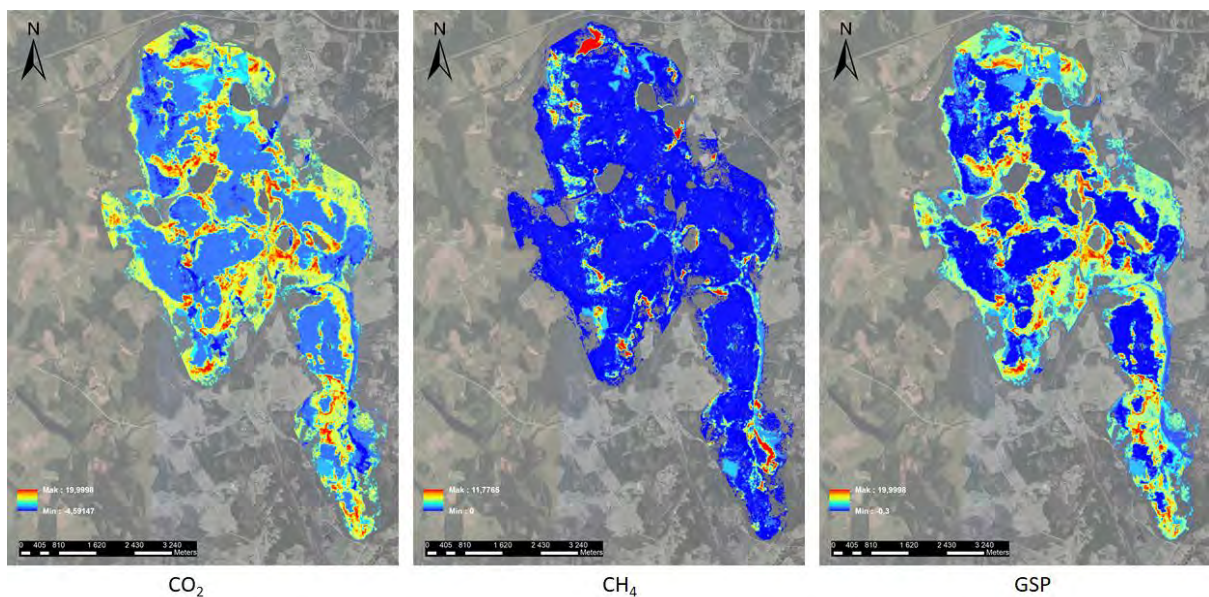
31. attēls. Pašreizējie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji Sudas-Zviedru purvā. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Veģetācijas sabiedrības purvā gada laikā izmainās minimāli. Tādēļ, lai novērtētu paredzamās SEG emisiju izmaiņas Sudas-Zviedru purvā, šī projekta ietvaros veikta veģetācijas sabiedrību modelēšana pēc diviem scenārijiem. Pirmais scenārijs (32. attēls) paredz mērenāku samitrinājumu, galvenokārt meliorācijas grāvju tuvumā, kur stabilizēts hidroloģiskais stāvoklis. Ar to saistītās veģetācijas sabiedrības izmaiņas ir nelielas un līdz ar to arī mazāk jūtamas izmaiņas SEG emisijas apjomos.

Otrais scenārijs (33. attēls) paredz situāciju, kad susināšanas ietekme ir būtiski mazināta. Tā rezultātā veģetācijas sabiedrības mainījās, sastopamas pārmitriem apstākļiem raksturīgās augu un sūnu sugas.



32. attēls. Prognozētie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji Sudas-Zviedru purvā pēc 50 gadiem pēc pirmā scenārija. Saīsinājums: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.



33. attēls. Prognozētie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji Sudas-Zviedru purvā pēc 50 gadiem pēc otrā scenārija. CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

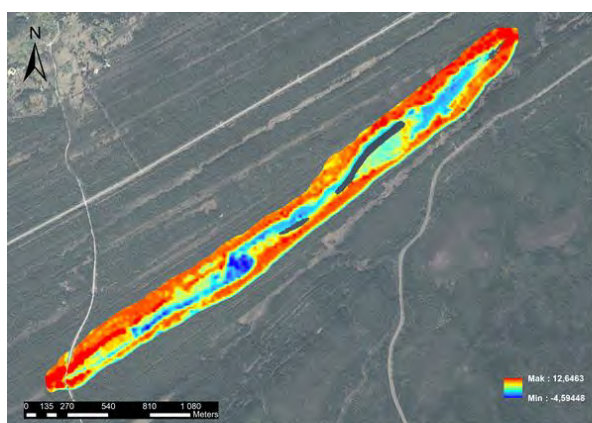
Pārreķinot kopējās SEG vērtības uz visu Sudas-Zviedru purva teritoriju un atsevišķi aktivitāšu teritorijām, 5. tabulā redzams izvērtējums, cik lielā mērā gada ietvaros ir pašreizējās un paredzamās SEG emisiju izmaiņas pēc 50 gadiem. Ja uz visu purvu kopumā paredzamās izmaiņas pēc otrā scenārija CO₂ vērtības samazinās par 5%, tad pašā purvu biotopu atjaunošanas platībā samazinājums ir paredzams par 53%, salīdzinot ar pašreizējo CO₂ vērtību. Līdzīgi izmaiņas var aprēķināt pēc 5. tabulā sniegtajiem datiem metānam un globālās sasilšanas potenciāla vērtējumam.

5. tabula. Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju aprēķini pēc projektā iegūtajām SEG kartēm Sudas-Zviedru purvā. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā.

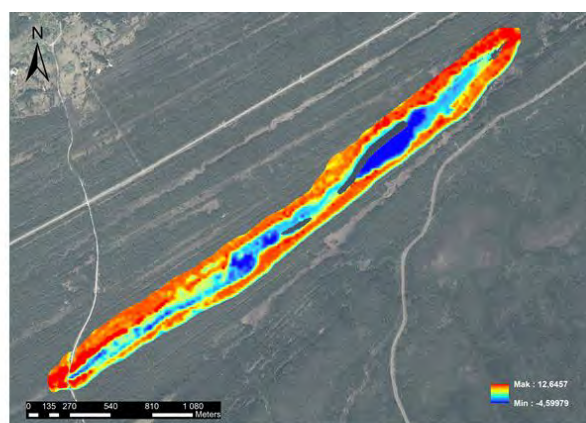
	Visā purva teritorijā			Purvu biotopu atjaunošanas platībās		
	CO ₂	CH ₄	GSP	CO ₂	CH ₄	GSP
Pašreizējā situācija	4,56	0,96	5,46	5,92	0,92	6,90
1. scenārijs	4,41	1,06	5,41	3,71	1,42	5,09
2. scenārijs	4,34	1,06	5,34	2,77	1,46	4,17

4.3. PĒTEREZERA VIGA

Pēterezera viga un tajā esošie purvu biotopi, to stāvoklis 2016. un 2017./2018. gada ziemā uzlabots, veicot koku apauguma izciršanu LIFE projektā “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā” (LIFE 13 NAT/LV/000578). Izmantojot iepriekš 2016. gada 5. maijā iegūtus attālas izpētes datus, bija iespējams novērtēt SEG emisiju izmaiņas pirms un pēc šos purvu biotopu uzlabošanas pasākumu veikšanas. Ja oglekļa dioksīda emisiju apjoms pēc koku un krūmu izciršanas ir stipri samazinājies (34. attēls), tad metāna emisiju apjoms ir pieaudzis (35. attēls).

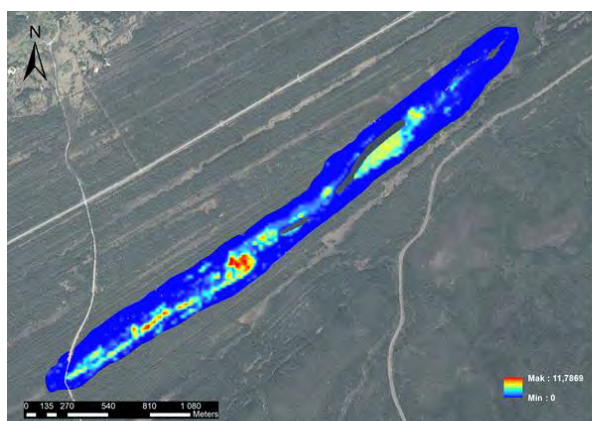


CO₂ pirms koku izciršanas

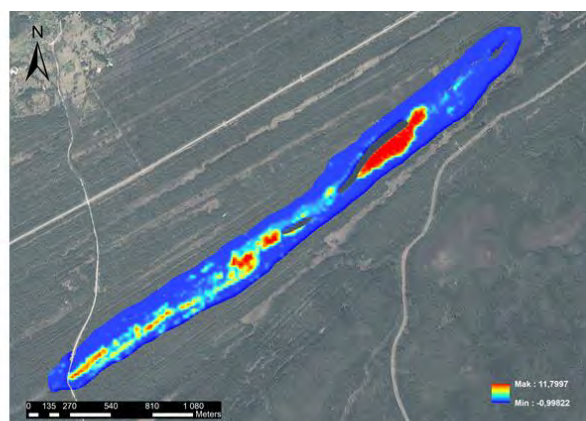


CO₂ pēc koku izciršanas

34. attēls. Oglekļa dioksīda (CO₂) emisiju izmaiņas pirms un pēc koku un krūmu izciršanas Pēterezera vigā Slīteres nacionālajā parkā. Mērvienība CO₂ izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.



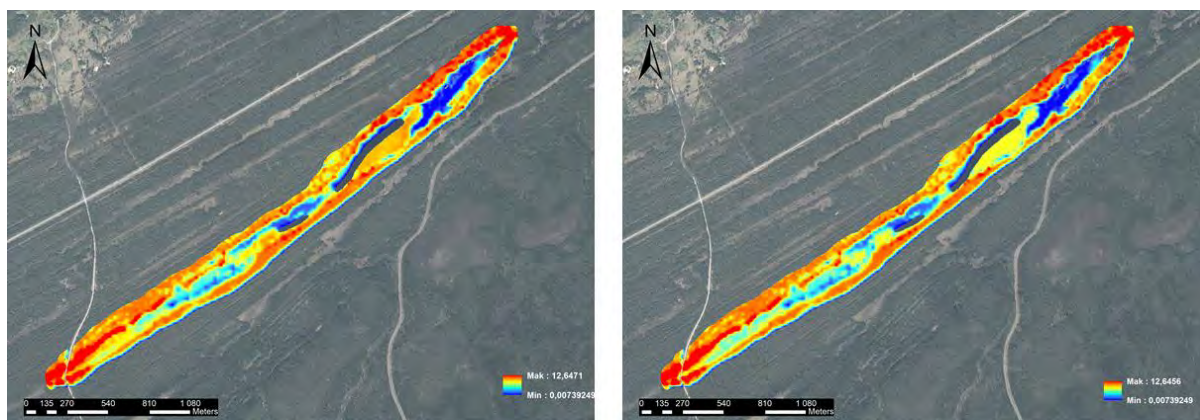
CH₄ pirms koku izciršanas



CH₄ pēc koku izciršanas

35. attēls. Metāna (CH₄) emisiju izmaiņas pirms un pēc koku un krūmu izciršanas Pēterezera vigā Slīteres nacionālajā parkā. Mērvienība CH₄ izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Globālās sasilšanas potenciāla vērtība, kas summāri ņem vērā gan metāna, gan oglekļa dioksīda gāzu ietekmi, parāda (36. attēls), ka veiktā izciršana ir atstājusi pozitīvu iespaidu uz SEG izmaiņām Pēterezera vigā, samazinot šī rādītāja vērtību.



GSP pirms koku izciršanas

GSP pēc koku izciršanas

36. attēls. Globālās sasilšanas potenciāla (GSP) izmaiņas pirms un pēc koku un krūmu izciršanas Pēterezera vigā Slīteres nacionālajā parkā. Mērvienība GSP izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

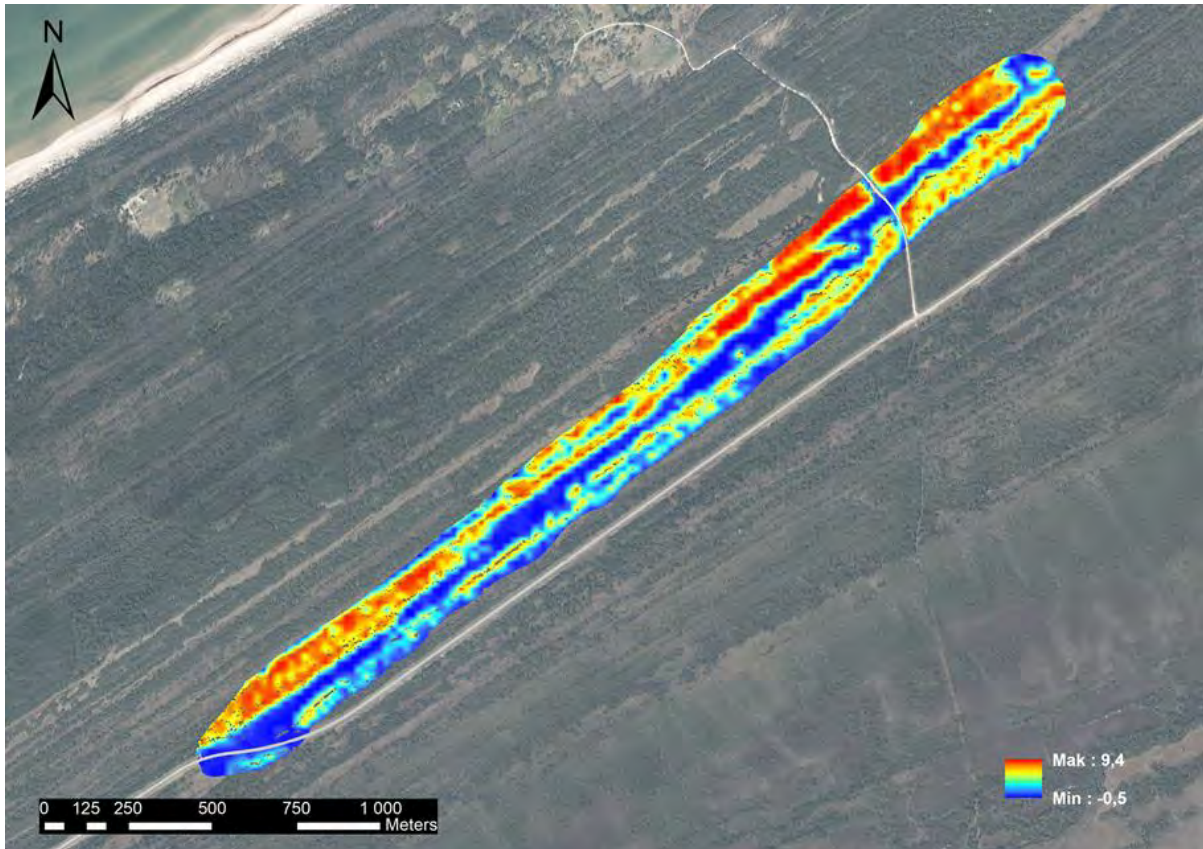
Pārrēķinot kopējās SEG vērtības uz visu analizēto Pēterezera vigas teritoriju un atsevišķi aktivitāšu teritorijām, 6. tabulā redzams izvērtējums, cik lielā mērā koku krūmu izciršanas pasākums atstāj ietekmi uz SEG emisiju vērtībām pirms un pēc šī pasākuma. Ja uz visu teritoriju kopumā CO₂ vērtības samazinās par 11%, tad pašā purvu biotopu atjaunošanas platībā samazinājums ir konstatēts par 91%, salīdzinot ar iepriekšējo CO₂ vērtību. Līdzīgi izmaiņas var aprēķināt pēc 6. tabulā norādītajām vērtībām metānam un globālās sasilšanas potenciāla vērtējumam.

6. tabula. Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju aprēķini pēc iegūtajām SEG kartēm Pēterezera vigas purvos Slīteres nacionālajā parkā. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā.

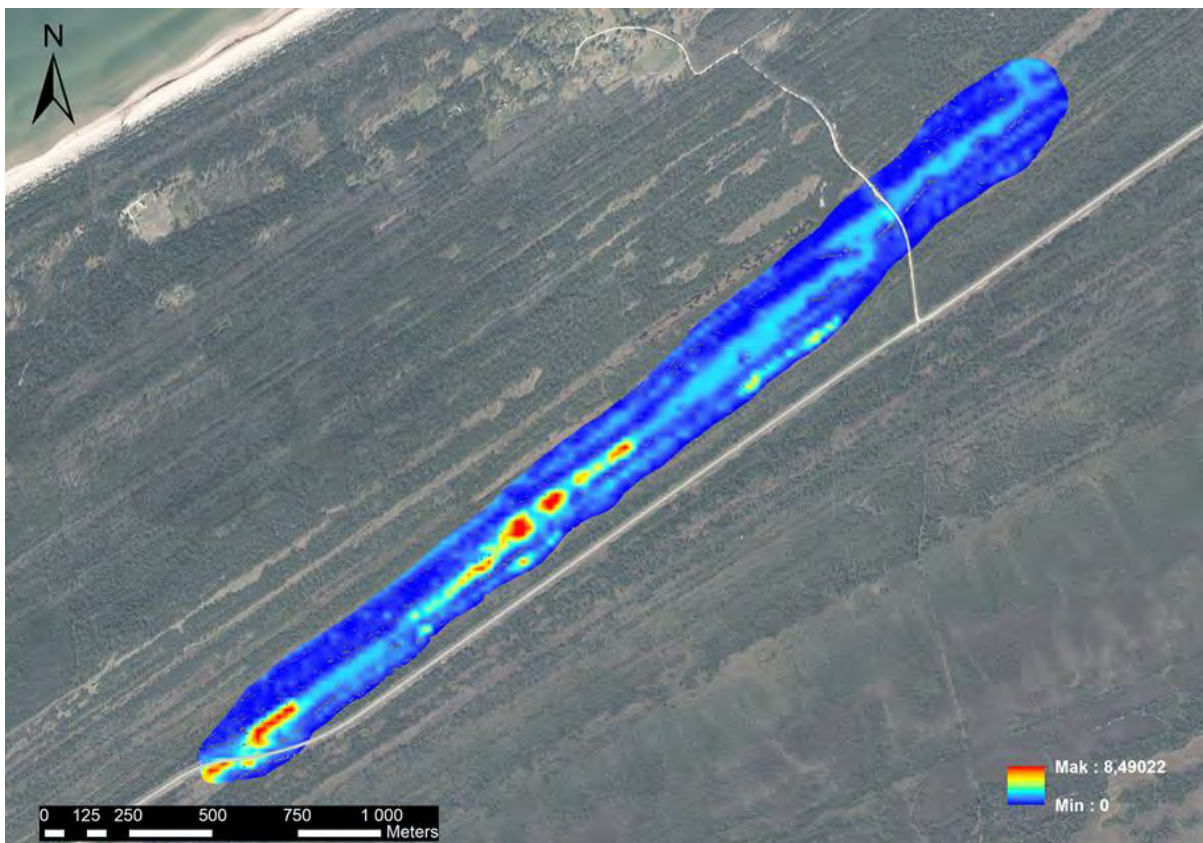
	Visā vigas teritorijā			Purvu biotopu atjaunošanas platībās		
	CO ₂	CH ₄	GSP	CO ₂	CH ₄	GSP
Pirms koku ciršanas	5,95	1,24	7,17	3,59	3,82	7,35
Pēc koku ciršanas	5,27	1,66	6,97	0,34	6,22	6,46

4.4. KUKŠUPES VIGA

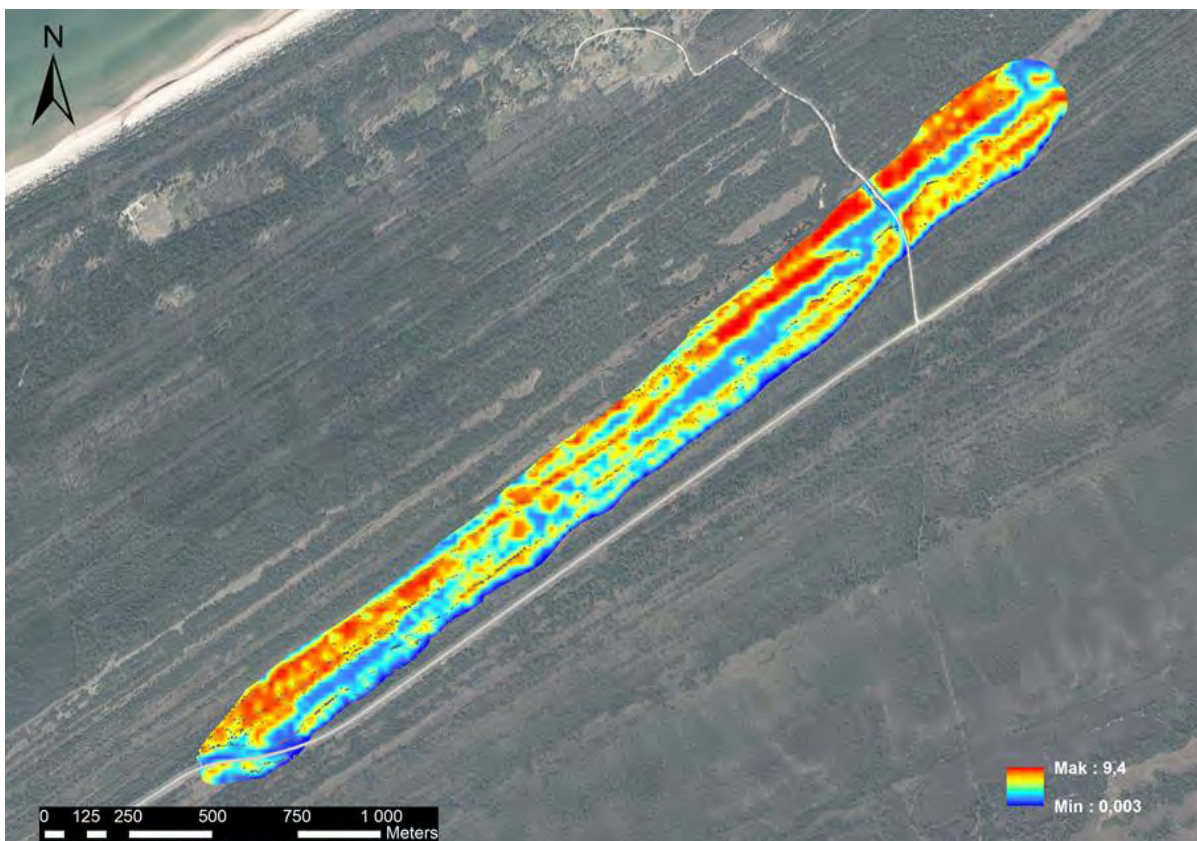
Kukšupes viga un tajā esošie purvu biotopi, to stāvoklis 2017./2018. gada ziemā uzlabots, veicot koku apauguma izciršanu LIFE projektā “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā” (LIFE 13 NAT/LV/000578). Šai teritorijai diemžēl nebija pieejami iepriekšēji attālās izpētes dati, tādēļ izmantoti tikai pašreizējie (projekta laikā iegūtie) - pēc koku apauguma izciršanas iegūtie SEG kartējumi un to aprēķini, kas atspoguļoti 37., 38., 39. attēlā.



37 attēls. Oglekļa dioksīda (CO₂) emisiju kartējums pēc koku apauguma izciršanas Kukšupes vigā Slīteres nacionālā parkā. Mērvienība CO₂ izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.



38. attēls. Metāna (CH₄) emisiju kartējums pēc koku apauguma izciršanas Kukšupes vigā Slīteres nacionālā parkā. Mērvienība CH₄ izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.



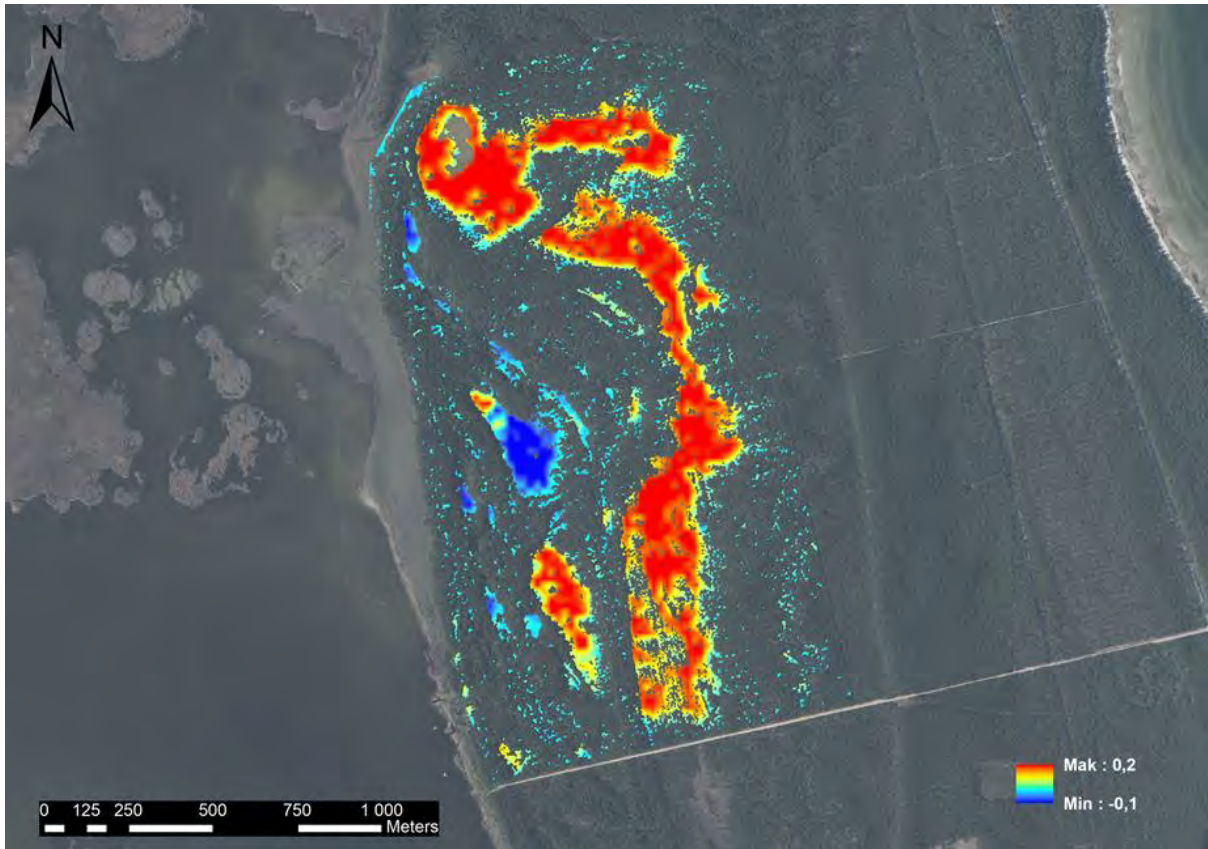
39. attēls. Globālās sasilšanas potenciāla (GSP) kartējums pēc koku apauguma izciršanas Kukšupes vigā Slīteres nacionālajā parkā. Mērvienība GSP izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Pēc šī kartējuma kopējās siltumnīcefekta gāzu emisiju vērtības Kukšupes vigas teritorijai ir sekojošas: CO₂ ir 3,98 t/ha gadā; CH₄ ir 1,25 t/ha gadā; globālās sasilšanas potenciāls ir 5,24 t/ha gadā.

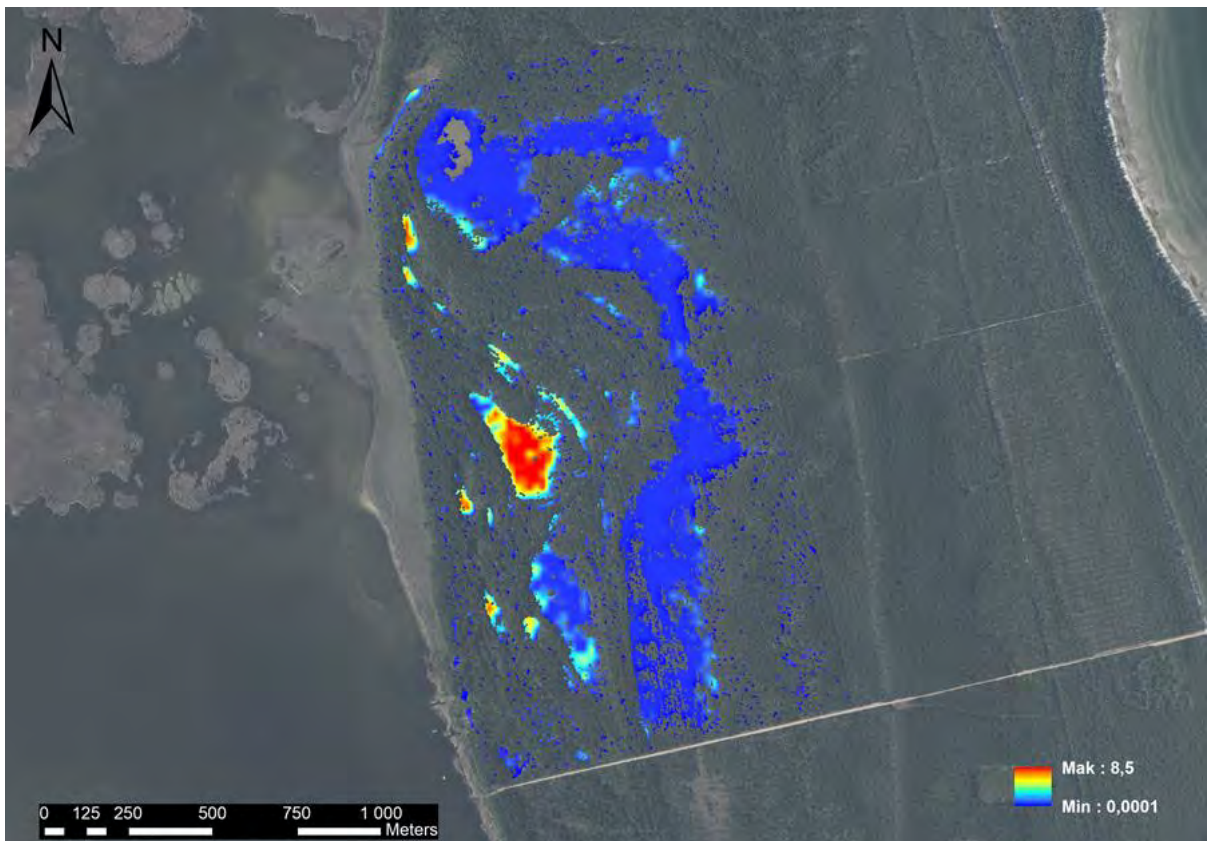
4.5. ENGURES EZERA DABAS PARKA PURVI

Engures ezera dabas parka teritorijā plānotas tajā esošo kaļķaino zāļu purvu stāvokļa uzlabošanas aktivitātes LIFE projekta “Degradēto purvu atjaunošana CO₂ emisiju mazināšanai Ziemeļeiropas zemienē” (LIFE15 CCM/DE/000138, LIFE Peat Restore) ietvaros. Šī projekta norises laikā plānotie pasākumi vēl nebija veikti, tādēļ SEG vērtējums ir iegūts pašreizējai situācijai pirms purvu stāvokļa uzlabošanas pasākumu veikšanas. SEG kartējumi 40., 41., 42. attēlā parāda šī projekta rezultātu un nodrošināja iespēju aprēķināt kopējās SEG vērtības uz analizēto purvu platību.

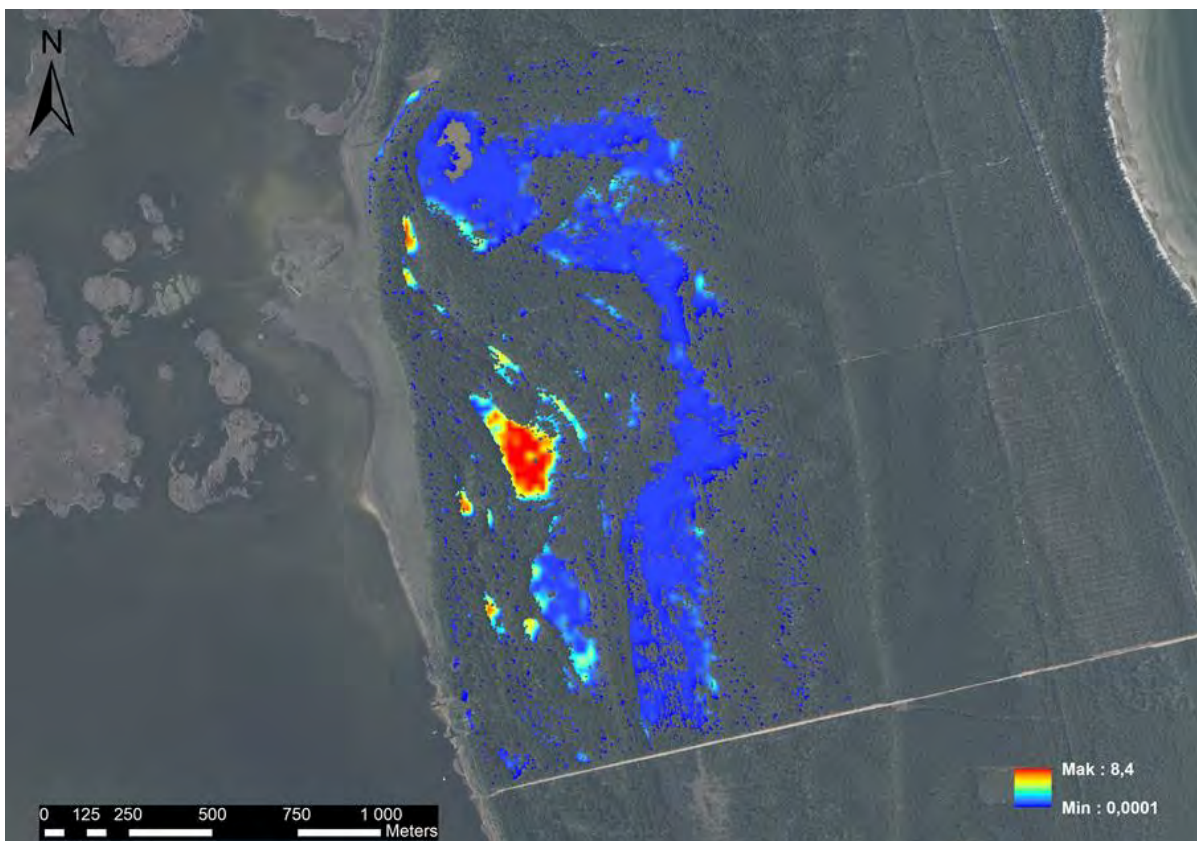
Pēc šī kartējuma kopējās siltumnīcefekta gāzu vērtības analizētajā Engures ezera dabas parka teritorijā ir sekojošas: CO₂ ir 0,11 t/ha gadā; CH₄ ir 1,1 t/ha gadā; globālās sasilšanas potenciāls ir 1,21 t/ha gadā.



40. attēls. Pašreizējais oglekļa dioksīda (CO₂) emisiju kartējums Engures ezera dabas parka kaļķainajos zāļu purvos. Mērvienība CO₂ izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

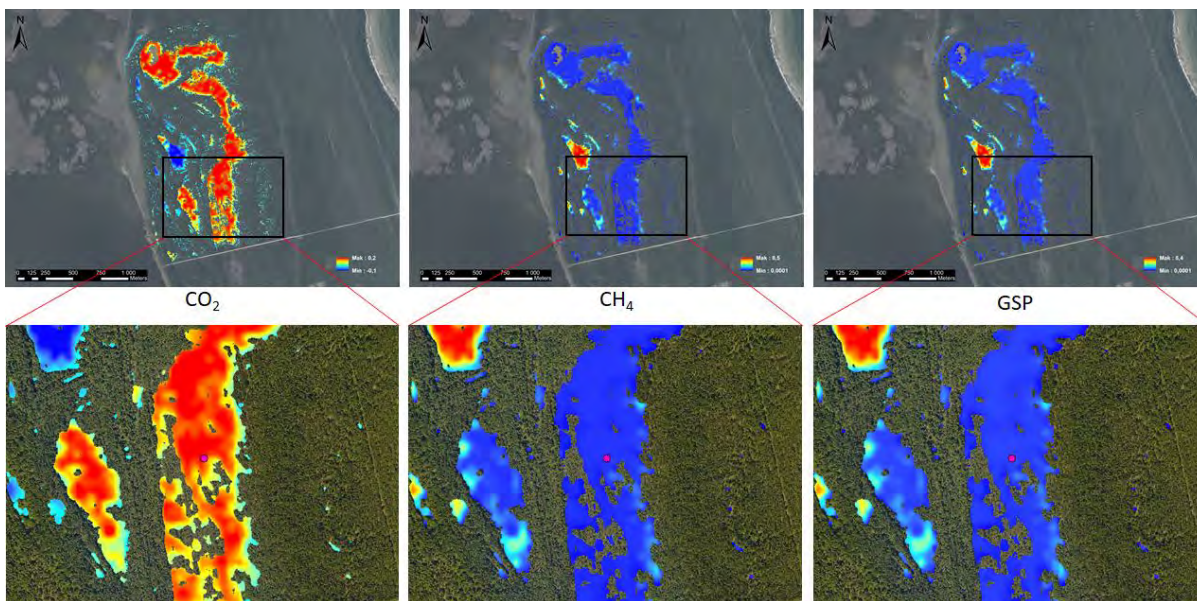


41. attēls. Pašreizējais metāna (CH₄) emisiju kartējums Engures ezera dabas parka kaļķainajos zāļu purvos. Mērvienība CH₄ izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.



42. attēls. Pašreizējais globālās sasilšanas potenciāla (GSP) kartējums Engures ezera dabas parka kaļķainajos zāļu purvos. Mērvienība GSP izmaiņām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Pateicoties LIFE Peat Restore projektā uzsāktajiem tiešajiem siltumnīcefekta gāzu mērījumiem šajā purvu teritorijā (43. attēls), radās iespēja šī projekta SEG mērījumu datus salīdzināt ar pirmajiem SEG mērījumu datiem, kas iegūti ar slēgto kameru metodi 2019. gada maijā, jūnijā Latvijas valsts mežzinātnes institūta “Silava” pētnieku vadībā.



43. attēls. Pašreizējie siltumnīcefekta gāzu (SEG) rādītāji pēc šajā metodiskajā materiālā aprakstītās metodikas Engures ezera dabas parka kaļķainajos zāļu purvu punktā, kurā tiek veikti tiešie SEG mērījumi ar kameru metodi LIFE Peat Restore projektā. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir tonnas uz hektāru gadā. Autors: Vides risinājumu institūts.

Tik īsa laika perioda (divu mēnešu: 2019. maijs, jūnijs) tiešo mērījumu datus nav adekvāti izmantot salīdzinājumam, tomēr arī tie dod zināmu ieskatu par šīs projektā izstrādātās un aprakstītās metodikas iegūto datu atbilstību (7. tabula). Kā redzams 7. tabulā, Engures ezera kaļķainajos purvos SEG mērījumi stipri atšķiras starp abām metodēm.

7. tabula. Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju salīdzinājums starp šajā projektā izstrādāto attāļajā izpētē balstīto GEST metodikas pielietojumu un ar kameru metodi iegūtajiem tiešajiem SEG mērījumiem dabas parka “Engures ezers” kaļķainajos zāļu purvos. Saīsinājumi: CO₂ – oglekļa dioksīds; CH₄ – metāns; GSP – globālās sasilšanas potenciāls. Mērvienība SEG parametru vērtībām ir kilogrami uz hektāru stundā.

	CO₂	CH₄	GSP
Ar šajā projektā izstrādāto metodi iegūtās SEG vērtības	0,02	0,0500	0,0700
LIFE Peat Restore projektā ar kameru metodi iegūtās SEG vērtības	0,59	0,0004	0,5908

5. FINANŠU UN LAIKA PATĒRIŅA IZVĒRTĒJUMS

Projekta uzdevums bija ne tikai izstrādāt metodiku, bet arī izvērtēt tās pielietojumam nepieciešamo finanšu un laika patēriņu un salīdzināt to ar citu līdzšinējo SEG novērtēšanas metožu izmaksām. Šāds izvērtējums sniedz pamatu, projektu uzsākot, izteiktajiem apgalvojumiem par izstrādātās metodikas būtisku priekšrocību – tās efektivitāti no finanšu un laika resursu patēriņa viedokļa.

Salīdzināt divas dažādas siltumnīcefekta gāzu novērtēšanas metodes, to izmaksas un laika patēriņu ir izaicinoši, jo visbiežāk katrai purvu teritorijai izvēlas pielietot vienu no SEG novērtēšanas metodēm, taču salīdzināt dažādu metožu laika un finanšu patēriņu starp dažādām teritorijām nav objektīvi teritoriju atšķirīgo apstākļu dēļ un atšķirīgo SEG vērtēšanas uzstādījumu dēļ.

Šajā projektā tika ietvertas divas purvu teritorijas, kurās jau bija zināms, ka notiks SEG emisiju monitorings LIFE “Peat Restore” projekta ietvaros ar slēgto kameru metodi. Šīs teritorijas izvēlētas apzināti, lai iegūtu SEG faktisko mērījumu datus projektā izstrādātās metodikas validācijai, kā arī tas deva iespēju veikt salīdzināmu finanšu un laika patēriņu starp šīm teritorijām un tajās pielietotajām atšķirīgajām SEG vērtēšanas metodēm. Izvēlētas purvu teritorijas ir kaļķainie zāļu purvi dabas parkā “Engures ezers” un Madiešenu un Namītenu purvi dabas liegumā “Augstroze”.

5.1. KAĻĶAINAIS ZĀĻU PURVS DABAS PARKĀ “ENGURES EZERS”

Šajā purvu teritorijā ir sastopami divi atšķirīgi purvu biotopu veidi - 7230 Kaļķaini zāļu purvi, (32,5 ha) un 7210* Dižās aslapes *Cladium mariscus* audzes ezeros un purvos, kuri kopumā aizņem 48,5ha. Ar dižās aslapes ekspansiju pārņemtā kaļķaino purvu biotopu platībā ir 16 ha. Šajā platības daļā ir ierīkota viena slēgto kameru vieta SEG mērījumiem ar tiešo metodi. Savukārt, attāļajā izpētē balstītās GEST metodikas izstrādei kopumā analizēja 210 ha lielu platību, kas ietver arī mežaino daļu, kura ieskauj kaļķaino zāļu purvu laukumus. Ar šo metodi teritorijā konstatēja divus GEST tipus.

8. tabula. Siltumnīcefekta gāzu monitoringa izmaksu un laika patēriņa aprēķins vienai monitoringa sezonai kaļķainā zāļu purvā dabas parkā “Engures ezers” ar slēgto kameru metodi.

Izmaksu pozīcija	Summa, EUR	Laiks, h
Lauka darbu aprīkojums	670	
Lauka darbu brigādes darbs	5382	144
Lauka darbu ceļa izdevumi	170	
Laboratorija pakalpojums	1600	480 (3 mēneši)
Datu analīzes, apkopošanas darbs	12000	480 (3 mēneši)
KOPĀ:	19822 EUR	1104 h

Ar slēgto kameru metodi dati teritorijā tiek ievākti vienu reizi mēnesī deviņas reizes viena gada laikā (datus nevāc ziemā, sniega un sasaluma apstākļos). Datu ievākšanu lauka apstākļos veic brigāde divu cilvēku sastāvā. Optimālam darba režīmam brigāde mēneša laikā apmeklē 15 mērīšanas stacijas – dažādus objektus, kuros veic SEG mērījumus un datu ieguvu. Šajos finanšu aprēķinos ir pieņemts, ka darbs notiek pēc optimālo apstākļu scenārija. Lauka darbu veikšanai nepieciešami arī ceļa izdevumi. Aprēķinu veikšanā pieņemts, ka braucienu sākumpunkts un atgriešanās punkts ir Rīga. Aprēķinos pieņemts, ka lauka darbu veikšana aizņem vienu pilnu dienu darba dienu, ieskaitot ceļu turp-atpakaļ no lauka darbu veikšanas ekspedīcijas. Lauka aprīkojuma izmaksas pamatā veido CO₂ gāzu hromatogrāfa izmaksas. Šis aprīkojums kalpo vidēji divus līdz trīs gadus. Ar CO₂ gāzu hromatogrāfu lauka apstākļos CO₂ vērtības tiek nolasītas uzreiz. Savukārt, CH₄ un N₂O noteikšanai ievāc gāzu paraugus, kurus tālāk nosaka laboratorijā. Laboratorisko analīžu veikšana ir atsevišķs pakalpojums, kas veido kopējās izmaksas. Gala rezultāta iegūšanai vēl nepieciešama SEG datu apkopošana un analīze, lai gūtu kopējo

priekšstatu par vienas sezonas ietvaros novērotajām SEG izmaiņām purvos. Aptuvenais izmaksu un laika patēriņa apkopojums par vienas sezonas ietvaros veikto SEG monitoringu sniegts 8. tabulā.

Iegūstot SEG vērtējumu Engures ezera kaļķainajā zāļu purvā ar attālajā izpētē balstītu GEST metodiku, lauka darbos pavadīto dienu skaits ir stipri mazāks, arī šajā gadījumā lauka darbus uz teritoriju dodas veikt divu cilvēku komanda. Lauka darbu veikšanai ir nepieciešamas divas pilnas dienas. Purvu ekspertu atalgojums rēķināts 50 EUR/dienā uz ekspertu. Lidojuma izmaksas un laika patēriņš attālās izpētes datu iegūšanai ir salīdzinoši mazs (9. tabula). Tas tādēļ, ka aprēķins veikts proporcionāli teritorijas platības attiecībai pret kopēju šajā projektā nolikto purvu platību un tai attiecīgajām proporcionālajām izmaksām. Ja būtu nepieciešams lidojums tikai attālās izpētes datu ievākšanai vienīgi šai purvu teritorijai, tad šī pakalpojuma izmaksas kopumā būtu nedaudz lielākas. Lauka darbu veikšanai aprīkojums ir vairākkārt izmantojams, jo sastāv no GPS iekārtas, standarta programmatūras datora, karšu un attēlu apstrādes programmatūras, pH-metra un kancelejas precēm. Šī izmaksu pozīcija var būt krietni mazāka, ja vajadzīgais aprīkojums jau ir pieejams.

9. tabula. Siltumnīcefekta gāzu novērtēšanas izmaksu un laika patēriņa aprēķins vienai monitoringa sezonai kaļķainā zāļu purvā dabas parkā “Engures ezers”, datus iegūstot ar attālajā izpētē balstītu GEST metodiku.

Izmaksu pozīcija	Summa, EUR	Laiks, h
Lauka darbu aprīkojums	1500	
Purvu ekspertu lauka darbs	200	24
Lauka darbu ceļa izdevumi	30	
Lauka datu analīzes darbs	100	16
Attālās izpētes aviācijas datu ievākšanas pakalpojums	630	2
Attālās izpētes datu apstrādes un analīzes darbs	325	10
KOPĀ:	2785 EUR	52 h

Salīdzinot kopējos izmaksu rezultātus starp abām metodēm, skaidri redzams, ka atšķirības ir ievērojamas. Ar slēgto kameru metodi datu iegūšana ir septiņas reizes dārgāka un vairāk nekā divdesmit reizes laikietilpīgāka. Tomēr jāņem vērā, ka attālās izpētes metodikas izmaksas ir šajos aprēķinos par zemu novērtētas. Izteikt proporcionāli izmaksas no krietni apjomīgāka attālās izpētes datu analīzes apjoma nav gluži objektīvi, jo uz lielāku analizējamo datu apjomu izlīdzinās problēmsituācijām nepieciešamais darbs. Atrisinot vienam gadījumam radušos situāciju, šis risinājums visbiežāk ir piemērojams arī citiem analizējamiem datiem, tādējādi ietaupot kopumā laiku. Ja tiek analizēta tikai viena datu kopa ar specifisku uzdevumu, tad proporcionāli pieaug laiks un līdz ar to arī darba izmaksas, kas ar to saistītas. Tomēr, visticamāk, 9. tabulā apkopotās izmaksas nepārsniegtu 5000 EUR uz kaļķaino zāļu purvu teritoriju Engures ezera dabas parkā, ņemot vērā problēmsituāciju risināšanu attiecībā uz attālās izpētes datu apstrādi, kā arī izmaksu pieaugumu par atsevišķa attālās izpētes datu lidojuma organizēšanu.

5.2. MADIEŠĒNU UN NAMĪTĒNU PURVI DABAS LIEGUMĀ “AUGSTROZE”

Degradētā purvu biotopu platība “Augstrozes” dabas liegumā atrodas Madiešēnu purva teritorijā un kopumā aizņem aptuveni 100 ha. Kopējā abu purvu aizņemtā platība abos purvos, kas savstarpēji ir saistīti, ir 1122 ha. Attālās izpētes dati šajā projektā ir iegūti vēl plašākai teritorijai (2050 ha), kas ieskauj pašus purvu biotopus. Teritorijā kopumā ir seši dažādi ar purviem saistīti biotopu veidi, konstatēti arī seši GEST tipi.

SEG monitoringa stacija, kurā tiek iegūti dati ar slēgto kameru metodi, ir viena. Mērījumu vieta atrodas Madiešēnu purvā degradēta augstā purva daļā. Līdz ar to finanšu un laika aprēķini ir stipri līdzīgi kā kaļķaino zālāju purvu gadījumā Engures ezera dabas liegumā (10. tabula). Vienīgā atšķirība ir

nedaudz lielākas ceļa izdevumu izmaksas, jo attālums no Rīga līdz Augstrozes dabas lieguma teritorijai ir par 30 km lielāks nekā līdz Engures ezera dabas parkam.

10. tabula. Siltumnīcefekta gāzu monitoringa izmaksu un laika patēriņa aprēķins vienai monitoringa sezonai Madiešēnu purvā dabas liegumā "Augstroze" ar slēgto kameru metodi.

Izmaksu pozīcija	Summa, EUR	Laiks, h
Lauka darbu aprīkojums	670	
Lauka darbu brigādes darbs	5382	144
Lauka darbu ceļa izdevumi	230	
Laboratorija pakalpojums	1600	480 (3 mēneši)
Datu analīzes, apkopošanas darbs	12000	480 (3 mēneši)
KOPĀ:	19882 EUR	1104 h

Salīdzinot ar Engures ezera dabas parku, GEST metodika, kas papildināta ar attālās izpētes datu pielietojumu, Madiešēnu un Namītēnu purvu teritorijai izmaksā vairāk lielākas pētāmās platības dēļ (11. tabula). Līdz ar lielāku attālās izpētes datu apjomu pieaudzis ir arī šo datu apstrādes un analīzes darba laiks un izmaksas. Turpretī lauka darbiem izmaksas neatšķiras. Pavisam nedaudz lielākas ir ceļa izmaksas, minētās distance atšķirību dēļ starp Rīgu un Augstrozes dabas liegumu.

11. tabula. Siltumnīcefekta gāzu novērtēšanas izmaksu un laika patēriņa aprēķins vienai monitoringa sezonai kaļķainā zāļu purvā dabas parkā "Engures ezers" datus iegūstot ar attāļajā izpētē balstītu GEST metodiku.

Izmaksu pozīcija	Summa, EUR	Laiks, h
Lauka darbu aprīkojums	1500	
Purvu ekspertu lauka darbs	200	24
Lauka darbu ceļa izdevumi	50	
Lauka datu analīzes darbs	100	16
Attālās izpētes aviācijas datu ievākšanas pakalpojums	4100	3
Attālās izpētes datu apstrādes un analīzes darbs	3025	94
KOPĀ:	8975 EUR	137 h

Augstrozes dabas lieguma gadījumā SEG monitoringa izmaksas starp abām metodēm ir mazākas, tomēr arvien divas reizes dārgāka un astoņas reizes laikietilpīgāka ir slēgto kameru metode. Šajā gadījumā salīdzinājums nav objektīvs tā iemesla dēļ, ka attālās izpētes dati ir iegūti arī Namītēnu purva teritorijai, kurā SEG monitoringa ar slēgto kameru metodi nenotiek. Ja attālās izpētes dati būtu iegūti tikai Madiešēnu purva teritorijai, tad izmaksu un laika patēriņa atšķirības starp abām metodēm būtu vēl ievērojamākas.

Speciālisti iesaka SEG monitoringu purvos pirms/pēc apsaimniekošanas un/vai apsaimniekošanas pasākumu norises veikt vismaz 4 gadu garumā ar slēgto kameru metodi, lai dati būtu neatkarīgāki no atšķirīgo klimatisko atšķirību ietekmes starp dažādiem gadiem. Veģetācijas sabiedrības parasti strauji nemainās, tādēļ ar attāļajā izpētē balstīto GEST metodiku pietiktu SEG novērtējumu veikt tikai divas reizes – projektu uzsākot pirms pasākumu veikšanas purvā un gadu vai pāris gadus vēlāk pēc šo pasākumu īstenošanas, kad varētu būt sagaidāmas veģetācijas izmaiņas. Ņemot vērā minēto, izmaksu un laika patēriņu atšķirības ir vēl ievērojamākas starp abām metodēm.

6. SECINĀJUMI

Secinājumi, kas izriet no šī metodiskā materiāla ir divējādi, tādēļ tie grupēti divās daļās. Pirmajā daļā ietilpst secinājumi, kas iegūti analizējot literatūru, par dažādām siltumnīcefekta gāzu novērtēšanas metodēm, kas tiek pielietotas purvos. Otrajā daļā apkopoti secinājumi, kas izdarīti, balstoties uz šajā projektā iegūtajiem rezultātiem un to salīdzinājuma ar citām SEG novērtēšanas metodēm.

6.1. SECINĀJUMI PĒC LITERATŪRAS ANALĪZES VEIKŠANAS

1. SEG emisiju izmaiņas ir atkarīgas no parametru kopas (ūdens līmenis, temperatūra, veģetācijas augšana un esošais zemes izmantošanas veids), kas mainās gan viena gada laikā, gan starp vairākiem gadiem.
2. SEG gadskārtējās bilances noteikšana prasa samērā biežus un garus novērojumus, lai noteiktu dienas un sezonālās atšķirības.
3. Lai novērtētu SEG emisiju ikgadējo samazināšanos pēc purvu apsaimniekošanas pasākumu veikšanas, novērojumi jāveic vairākus gadus (vismaz četrus), lai samazinātu gadskārtējo laika apstākļu atšķirību ietekmi uz novērojumu rezultātiem.
4. Dabiski purvi ne tikai uzkrāj CO₂, bet arī izdala CH₄. CH₄ emisija ir atkarīga no ūdens līmeņa un ir praktiski nulle, ja ūdens līmenis ir 20 cm zem zemes virsmas, bet metāna emisija kļūst lielāka pie augstākiem ūdens līmeņiem. N₂O emisijas ir saistītas ar ūdens līmeni, kas ir zemāks par 20cm zem zemes virsmas.
5. Veicot purvu apsaimniekošanu un atjaunojot hidroloģisko režīmu un biotopus, CO₂ un N₂O emisijas ievērojami samazinās, bet CH₄ emisijas var ievērojami palielināties.
6. Pētījumi dažādās pasaules valstīs apliecina, ka SEG emisijas var samazināt, ja izvairās no purvu degradācijas un veic purvu atjaunošanu.
7. Vislabāk būtu mērīt visas SEG emisijas, kas parādās pirms cilvēka darbībām, piemēram, kūdras ieguves, tās laikā un pēc tās, kā arī pēc purvu atjaunošanas pasākumu veikšanas.
8. Latvijā un pasaulē ir liela purvu daudzveidība un klimatiskie apstākļi, kuros tie atrodas. Viens purvs var būt ļoti heterogēns, ieskaitot kūdras dziļumu un zemes izmantošanas veidu. Tas ir jāņem vērā, veicot SEG emisiju novērtēšanu.
9. Ar slēgto kameru metodi tiek mērītas SEG emisijas konkrētā biotopā, bet Eddi kovariācijas gāzu apmaiņas mērīšanas metode ļauj mērīt SEG emisijas salīdzinoši lielākās teritorijās purva ekosistēmas robežās.
10. Paralēli SEG mērījumiem, jāveic ūdens līmeņa un saules radiācijas mērījumi, kā arī pēc lauka datu iegūšanas rezultāti ir jākalibrē, kas ir darba un laika ietilpīgs process.
11. Slēgto kameru metodes ir visplašāk starptautiski pielietotā SEG emisiju novērtēšanas metodes purviem, tādēļ tā ir viena no piemērotākajām metodēm salīdzināmu datu ieguvei.
12. Netiešās SEG novērtēšanas metodikas ir balstītas pētījumos par purvos atšķirīgo veģetācijas sabiedrību saistību ar tām atbilstoši atšķirīgām SEG emisijām.

13. Latvijā ir maz informācijas par SEG emisijām no dažādiem purvu tipiem. Ir nepieciešami turpmāki pētījumi.

6.2. SECINĀJUMI PĒC PROJEKTA REZULTĀTIEM

1. Aviācijā bāzētu attālās izpētes spektrālo datu integrēšana GEST metodikas pielietojums nodrošina augstas precizitātes veģetācijas sabiedrību kartējumu SEG emisiju novērtēšanai purvos pēc GEST metodikas.
2. Projektā izstrādātā metodika ir sevišķi ieteicama plašiem un veģetācijas sabiedrību ziņā daudzveidīgiem purvu kompleksiem, jo attālās izpētes tehnoloģijas ļauj īsākā laikā ar augstu precizitāti un samērā mazu lauka darbu ieguldījumu novērtēt GEST metodikai atbilstošās veģetācijas sabiedrības, pēc kurām nosaka SEG emisijas.
3. Pasaulē izstrādāto GEST metodiku ir nepieciešams pielāgot Latvijas apstākļiem un Latvijas purvu veģetācijas specifikai. Šādiem mērķiem nepieciešami kompleksi pētījumi, kur GEST tipiem atbilstošajās purvu veģetācijas sabiedrībās un citos SEG ietekmējošos apstākļos tiek paralēli veikti SEG mērījumi ar slēgto kameru metodi.
4. GEST veģetācijas tipu pielāgošanai nepieciešama sugu sarakstu papildināšana ar Latvijas apstākļiem tipiskajiem augiem – gan vaskulārajām, gan sūnu sugām.
5. Slēgto kameru metode balstās uz punktveida mērījumiem monitoringa stacijās, kurus ekstrapolē uz attiecīgo izpētes platību, turpretī attālajā izpētē balstītas GEST metodikas SEG mērījumu dati tiek iegūti visai purva teritorijai kā kartogrāfiski dati, kuros katrs attēla pikselis satur SEG emisiju vērtību.
6. Projektā attīstītajai attālajā izpētē balstītai SEG novērtēšanas metodei ir labs potenciāls nākotnē, veicot SEG emisiju monitoringu degradēto purvu biotopu stāvokļa uzlabošanas pasākumos, kā arī novērtējot kūdras izstrādes darbību izraisīto SEG emisiju stāvokli.
7. Tiešās SEG emisiju mērīšanas metodes ir dārgas, samērā sarežģītas un laika ietilpīgas metodes, taču dod salīdzināmus faktiskos SEG mērījumus.
8. Attālajā izpētē balstītas GEST metodikas pielietošana ir laika un izmaksu ziņā ekonomiskāka SEG novērtēšanas metode par slēgto kameru metodi.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Allen, G., Hollingsworth, P., Kabbabe, K., Pitt, J. R., Mead, M. I., Illingworth, S., Roberts G., Bourn M., Shallcross D.E., Percival, C.J., 2019. The development and trial of an unmanned aerial system for the measurement of methane flux from landfill and greenhouse gas emission hotspots. *Waste Management*, 87: 883-892.
2. Amelio, M.T.S.D., Gatti, L.V., Miller, J.B., Tans, P., 2009. Regional N₂O fluxes in Amazonia derived from aircraft vertical profiles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(22): 8785–8797.
3. ARSENAL raksturojums VRI mājalapā: <http://www.videsinstituts.lv/lv/lidojosa-laboratorija/noverosanas-un-vides-monitoringa-sensoru-sistema-arsenal>.
4. Audet J., Johansen J. R., Andersen P. M., Batttrup-Pedersen A., Brask-Jensen K. M., Elsgaard L., 2013. Methane emissions in Danish riparian wetlands: Ecosystem comparison and pursuit of vegetation indexes as predictive tools. In: *Ecological Indicators* 34. P., 548-559.
5. Augustin N. H., Muggleston M. A., Buckland S. T., 1998. The role of simulation in modelling spatially correlated data. *Environmetrics*, 9(2): 175–96.
6. Aurela M., Riutta T., Laurila T., Tuovinen J.-P., Vesala T., Tuittila E.-S., Rinne J., Haapanala S., Laine J., 2007. CO₂ exchange of a sedge fen in southern Finland - the impact of a drought period, *Tellus 59B*: 826-837.
7. Baer D.S., Paul J.B., Gupta M., O'Keefe A., 2002. Sensitive absorption measurements in the near-infrared region using off-axis integrated-cavity-output spectroscopy. *Appl. Phys. B-Lasers O*, 75 (2–3): 261-265.
8. Baumane M. 2018a. Mitrāji Slīteres nacionālajā parkā. Latvijas Universitāte, Rīga, 20 lpp. (http://www.mitraji.lv/wp-content/uploads/2015/03/WEB_21.08_Slīterse-Bazu-purvs.pdf)
9. Baumane M. 2018b. Mitrāji Gaujas nacionālajā parkā. Latvijas Universitāte, Rīga, 20 lpp. (http://www.mitraji.lv/wp-content/uploads/2018/10/WEB_21.08_Gaujas.Nac.parks.pdf)
10. Berman, E. S., Fladeland, M., Liem, J., Kolyer, R., Gupta, M., 2012. Greenhouse gas analyzer for measurements of carbon dioxide, methane, and water vapor aboard an unmanned aerial vehicle. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 169: 128-135.
11. Blanka L. (red.), 2011. Dabas parks „Engures ezers” dabas aizsardzības plāns. SIA „Eiropprojekts”, 132 lpp.
12. Boesch, H., Baker, D., Connor, B., Crisp, D., Miller, C., 2011. Global characterization of CO₂ column retrievals from shortwave-infrared satellite observations of the orbiting carbon observatory-2 mission. *Remote Sensing*, 3(2): 270–304.
13. Braun-Blanquet J., 1964. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer Verlag, Wien, New York, 865 S.
14. Bubier J. L., Moore T. R., Juggins S., 1995. Predicting methane emission from bryophyte distribution in Northern Canadian peatlands. *Ecology*, 76(3): 677-693.
15. Buchwitz, M., Reuter, M., Bovensmann, H., Pillai, D., Heymann, J., Schneising, O., Rozanov, V., Krings, T., Burrows, J.P., Boesch, H., Gerbig, C., Meijer, Y., Löscher, A., 2013. Carbon monitoring satellite (CarbonSat): assessment of atmospheric CO₂ and CH₄ retrieval errors by error parameterization. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6: 3477–3500.
16. Couwenberg J., Thiele A., Tanneberger F., Augustin J., Bärish S., Dubovik D., Liashchynskaya N., Michaelis D., Minke M., Skuratovich A., Joosten H., 2011. Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*, 674: 67–89.
17. Desjardins, R.L., MacPherson, J.I., Mahrt, L., Schuepp, P., Pattey, E., Neumann, H., Baldocchi, D., Wofsy, S., Fitzjarrald, D., McCaughey, H., Joiner, D.W., 1997. Scaling up flux measurements for the boreal forest using aircraft-tower combinations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24): 29125-29133.

18. Desjardins, R.L., Pattey, E., Smith, W.N., Worth, D., Grant, B., Srinivasan, R., MacPherson, J.I., Mauder, M., 2010. Multiscale estimates of N₂O emissions from agricultural lands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(6): 817–824.
19. Dias A. T. C., Hoorens B., van Logtestijn R. S. P., Vermaat J. E., Aerts R., 2010. Plant species composition can be used as a proxy to predict methane emissions in peatland ecosystems after land use change. *Ecosystems*, 13: 526–538 pp.
20. Fehr T., 2016. Sentinel-5 Precursor Scientific Validation Implementation Plan. European Space Agency, Zenodo 1(1), 280 p.
21. Frankenberg, C., Platt, U., Wagner, T., 2005. Iterative maximum a posteriori (IMAP)-DOAS for retrieval of strongly absorbing trace gases: model studies for CH₄ and CO₂ retrieval from near infrared spectra of SCIAMACHY onboard ENVISAT. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(1): 9–22.
22. Gray A., Levy E. P., Cooper M. D. A., Timothy J., Gaiawyn J., Leeson S. R., Ward S. E., Dinsmore K. J., Drewer J., Sheppard L., Ostle N. J., Evans C. D., Burden A., Zieliński P., 2012. Methane Indicator Values for Peatlands: a comparison of species and functional groups. *Global Change Biology*, 19 (4): 1141-1150.
23. Greicius, T., Perez, M., Espinoza, L., Orr, K., 2014. NASA set for a big year in Earth Science. <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2014-019> (last access April 18, 2016).
24. Herold, M., Mayaux, P., Woodcock, C.E., Baccini, A., Schullius, C., 2008. Some challenges in global land cover mapping, an assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2538–2556.
25. Hutchinson G. L., Livingston G. P., 1993. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change, (agriculturalco)*, 63-78.
26. Ikauniece, S. (red.), 2019. Īpaši aizsargājamās dabas teritorijas Dabas lieguma „Augstroze” dabas aizsardzības plāns. Projekts LIFE Peat Restore, LIFE15 CCM/DE/000138 “Degradēto purvu atjaunošana CO₂ samazināšanai Ziemeļeiropas zemienē”, 165 lpp.
27. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, *Switzerland*, 151 pp.
28. IPCC, 2015: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Climate Change, Food, and Agriculture [Mastrandrea, M.D., K.J. Mach, V.R. Barros, T.E. Bilir, D.J. Dokken, O. Edenhofer, C.B. Field, T. Hiraishi, S. Kadner, T. Krug, J.C. Minx, R. PichsMadruga, G.-K. Plattner, D. Qin, Y. Sokona, T.F. Stocker, M. Tignor (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, *Switzerland*, 68 pp.
29. ITRES, 2010: <http://www.itres.com/wp-content/uploads/2014/10/CASI-1500.pdf>
30. Joosten H., Couwenberg J., 2009. Are emission reductions from peatlands MRV-able? Wetlands International, Ede, 14 p.
31. Koska I., Succow M., Clausnitzer U., Timmermann T., Roth S., 2001. Vegetationskundliche Kennzeichnung von Mooren (topische Betrachtung). In: Succow, M., Joosten, H. (eds), *Landschaftsökologische Moorkunde*. Schweizerbart, Stuttgart, 112–184 pp.
32. Krautwurst S., Gerilowski K., Jonsson H.H., Thompson D.R., Kolyer R.W., Iraci L.T., Thorpe A.K., Horstjann M., Eastwood M., Leifer I., Vigil S.A., Krings T., Borchardt J., Buchwitz M., Fladland M., Burrows J.P., Bovensmann H., 2017. Methane emissions from a Californian landfill, determined from airborne remote sensing and in situ measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(9): 3429-3452.
33. Krings T., Gerilowski K., Buchwitz M., Reuter M., Tretner A., Erzinger J., Heinze D., Pflüger U., Burrows J. P., Bovensmann H., 2011. MAMAP – a new spectrometer system for column-averaged methane and carbon dioxide observations from aircraft: retrieval algorithm and first inversions for point source emission rates. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(9): 1735–1758.

34. Kustas, W.P., Anderson, M.C., French, A.N., Vickers, D., 2006. Using a remote sensing field experiment to investigate flux-footprint relations and flux sampling distributions for tower and aircraft-based observations. *Advances in Water Resources*, 29(2): 355–368.
35. Kuze, A., Suto, H., Nakajima, M., Hamazaki, T., 2009. Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the greenhouse gases observing Satellite for greenhouse gases monitoring. *Applied optics* 48(35): 6716–6733.
36. Laiviņš M., 2014. Latvijas meža un krūmāju augu sabiedrības un biotopi. *Mežzinātne*, 28(61): 6–38.
37. Latvijas Universitāte, 2015a. Slīteres nacionālā parka Purvu apsaimniekošanas plāns: Bažu purvs, Pēterezera viga, Kukšupes viga un Jušu avots Cirstu apkārtnē. Projekts LIFE Mitrāji, LIFE13 NAT/LV/000578 “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā”, 140 lpp.
38. Latvijas Universitāte, 2015b. Sudas-Zviedru purva apsaimniekošanas plāns Gaujas nacionālajā parkā. Projekts LIFE Mitrāji, LIFE13 NAT/LV/000578 “Prioritāro mitrāju biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā”, 151 lpp.
39. Latvijas Universitāte, 2018. Kaļķainu zāļu purvu apsaimniekošanas plāns dabas parkā “Engures ezers” teritorijai orhideju takas apkārtnē. Projekts LIFE Peat Restore, LIFE15 CCM/DE/000138 “Degradēto purvu atjaunošana CO2 samazināšanai Ziemeļeiropas zemienē”, 38 lpp.
40. Lazdiņš A., Lupiķis A., 2019. LIFE Restore pienesums Latvijas siltumnīcefekta gāzu emisiju uzskaitē. Grām.: Priede A., Gancone A. (red.), 2019. Kūdras ieguves ietekmētu teritoriju atbildīga apsaimniekošana un ilgspējīga izmantošana. Baltijas krasti, Rīga, 24.-55. lpp.
41. Lee S.-C., Christen A., Black A.T., Johnson M.S., Jassal R.S., Ketler R., Nesic Z., Merkens M., 2017. Annual greenhouse gas budget for a bog ecosystem under going restoration by rewetting. *Biogeosciences*, 14: 2799–2814.
42. 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.
43. Marcisz K., Gałka M., Pietrala P., Miotk-Szpiganowicz G., Obremaska M., Tobolski K., Lamentowicz M., 2017. Fire activity and hydrological dynamics in the past 5700 years reconstructed from Sphagnum peatlands along the oceanic-continental climatic gradient in northern Poland. *Quaternary Science Reviews*, 177: 145-157.
44. Pakalne M., 2008. Purva biotopi un to aizsardzība. Grām.: Pakalne M. (red.) Purvu aizsardzība un apsaimniekošana īpaši aizsargājamās dabas teritorijās Latvijā. Jelgavas tipogrāfija, Rīga, 8-19.
45. Pattey, E., Edwards, G.C., Desjardins, R.L., Pennock, D.J., Smith, W., Grant, B., MacPherson, J.I., 2007. Tools for quantifying N₂O emissions from agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2-4): 103–119.
46. Pflugmacher D., Krankina O. N., Cohen W.B., Friedl M.A., Sulla-Menashe D., Kennedy R.E., Nelson P., Loboda T.V., Kuemmerle T., Dyukarev E., Elsakov V., Kharuk V.I., 2011. Comparison and assessment of coarse resolution land cover maps for Northern Eurasia. *Remote Sensing of Environment*, 115(12): 3539-3553.
47. Salm J.-O., Maddison M., Tammik S., Soosaar K., Truu J., Mander Ü., 2012. Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from Undisturbed, Drained and Mined Peatlands in Estonia. *Hydrobiologia*, 692 (1): 41–55.
48. Salmaņa L., 2009. Limnogēno purvu veģetācija Latvijā. *Latvijas Veģetācija* 19, 193 lpp.
49. Schneising, O., Buchwitz, M., Burrows, J.P., Bovensmann, H., Reuter, M., Notholt, J. Macatangay, R., Warneke, T., 2008. Three years of greenhouse gas column-averaged dry air mole fractions retrieved from satellite—part 1, carbon dioxide. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8 (14): 3827–3853.

50. Schwill S., Haberl A., Strauss A., 2010. Greenhouse gas emissions of peatlands. Methodology for the assessment of climate relevance – case study Zehlau peatland. Greifswald, Michael Succow Foundation for Protection of Nature, 20 pp.
51. Sendžikaitė J., Truus L., Strazdiņa L., Jarašius L., Herrmann A., Pajula R., Kirschey T., Zableckis N., Pakalne M., Sinkevičius Ž., Pakalnis R., 2018. First data on application of GEST approach in the Baltic region: vegetation mapping of pilot peatlands. Current Research on classification, mapping, use and conservation, Minsk-Grodno, Belarus: 115-119.
52. Yoshida, Y., Ota, Y., Eguchi, N., Kikuchi, N., Nobuta, K., Tran, H., Morino, I., Yokota, T., 2011. Retrieval algorithm for CO₂ and CH₄ column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4): 717–734.

PIELIKUMI

1. pielikums. GEST tipi un tiem atbilstošās veģetācijas formas ar abiotisko faktoru raksturojumu. Norādīti nosaukumi arī oriģinālvalodā un analogais tulkojums angļu valodā (Couwenberg *et al.*, 2011).

1. Atklāti, dabiski purvāji (Vegetationsformen der offenen, naturnahen Moore und des aufgelassenen Feuchtgrünlandes; open unused peatlands)	Hidroloģija						C/N				pH			
	6+	5+	4+	3+	2+	2-	o	m	e	p	sk	n	n-b	b
1.1. Oligotrofi, skābi, neskarti purvāji (Vegetationsformen oligotroph-saurer naturnaher Moorstandorte; oligotrophic-acid near-natural peatland)														
<i>Sphagnum cuspidatum-Carex limosa</i> veģetācijas forma		+					+				+			
<i>Sphagnum magellanicum</i> -veģetācijas forma		+					+				+			
<i>Pinus sylvestris-Sphagnum magellanicum</i> -veģetācijas forma		+					+				+			
<i>Sphagnum recurvum-Carex limosa</i> -veģetācijas forma		+					+				+			
<i>Eriophorum vaginatum-Sphagnum recurvum</i> -veģetācijas forma		+					+				+			
1.2. Mezotrofi, skābi, neskarti purvāji (Vegetationsformen mesotroph-saurer naturnaher Moorstandorte; mesotrophic-acid near-natural peatland)														
<i>Sphagnum denticulatum-Carex rostrata</i> -veģetācijas forma	+							+			+			
<i>Sphagnum recurvum-Eriophorum angustifolium</i> -veģetācijas forma		+						+			+			
<i>Sphagnum recurvum-Juncus acutiflorus</i> -veģetācijas forma		+						+			+			
<i>Sphagnum recurvum-Utricularia minor-Phragmites australis</i> -veģetācijas forma		+						+			+			
<i>Sphagnum recurvum-Juncus effusus</i> -veģetācijas forma		+						+			+			
1.3. Mezotrofi, neitrāli, neskarti purvāji (Vegetationsformen mesotroph-subneutraler naturnaher Moorstandorte; mesotrophic-subneutral near-natural peatlands)														
<i>Utricularia vulgaris-Cladium mariscus</i> -veģetācijas forma	+							+				+		
<i>Typha latifolia-Carex diandra-Carex rostrata</i> -veģetācijas forma		+						+				+		
<i>Calliergonella cuspidata-Menyanthes trifoliata-Carex elata</i> -veģetācijas forma		+						+				+		
<i>Sphagnum teres-Viola palustris-Carex appropinquata</i> -veģetācijas forma		+						+				+		
<i>Parnassia palustris-Carex nigra</i> -veģetācijas forma		+						+				+		
<i>Juncus filiformis-Juncus acutiflorus-Carex nigra</i> -veģetācijas forma		+						+				+		
<i>Calliergonella cuspidata-Viola palustris-Carex appropinquata</i> -veģetācijas forma		+						+				+		
1.4. Mezotrofi, kaļķaini, neskarti purvāji (Vegetationsformen mesotroph-kalkhaltiger naturnaher Moorstandorte; mesotrophic-calcareous near-natural peatlands)														
<i>Chara tomentosa-Phragmites australis</i> -veģetācijas forma	+							+						+
<i>Scorpidium scorpioides-Eleocharis quinqueflora</i> -veģetācijas forma		+						+						+

<i>Eriophorum angustifolium-Salix aurita</i> -veģetācijas forma	+				+			+		
<i>Carex rostrata-Betula pubescens</i> -veģetācijas forma	+				+			+		
<i>Thelypteris palustris-Salix aurita</i> -veģetācijas forma	+				+			+		
<i>Sphagnum-Betula pubescens-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma	+				+			+		
<i>Sphagnum-Betula pubescens</i> -veģetācijas forma			+		+			+		
<i>Molinia caerulea-Frangula alnus</i> -veģetācijas forma			+		+			+		
<i>Lysimachia vulgaris-Quercus robur</i> -veģetācijas forma			+		+			+		
<i>Rubus fruticosus-Frangula alnus</i> -veģetācijas forma				+	+			+		
<i>Rubus fruticosus-Betula pubescens</i> -veģetācijas forma				+	+			+		
<i>Molinia caerulea-Quercus robur</i> -veģetācijas forma				+	+			+		
2.3. Mezotrofi, neitrāli purvāji (Vegetationsformen mesotroph-subneutraler Moorstandorte; mesotrophic-subneutral peatlands)										
<i>Betula humilis-Salix repens</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Carex-Salix pentandra</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Salix pentandra-Betula pubescens</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Valeriana dioica-Salix pentandra</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Valeriana dioica-Betula pubescens</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Potentilla erecta-Salic cinerea</i> -veģetācijas forma			+		+					+
<i>Rhamnus cathartica-Betula pubescens</i> -veģetācijas forma			+		+					+
<i>Rhamnus cathartica-Quercus robur</i> -veģetācijas forma				+	+					+
2.4. Eitrofi purvāji (Vegetationsformen eutropher Moorstandorte; eutrophic peatlands)										
<i>Thelypteris palustris-Salix cinerea</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Carex elongata-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Alnus glutinosa-Salix cinerea</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Cardamine amara-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Hottonia palustris-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Iris pseudacorus-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma	+				+					+
<i>Carex acutiformis-Salix cinerea</i> -veģetācijas forma			+		+					+
<i>Athyrium filix-femina-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma			+		+				+	
<i>Padus avium-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģetācijas forma			+		+					+
<i>Carex remota-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģetācijas forma			+		+					+
<i>Cirsium oleraceum-Salix cinerea</i> -veģetācijas forma				+	+					+
<i>Circaea alpina-Fagus sylvatica</i> -veģetācijas forma				+	+				+	
<i>Milium effusum-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģetācijas forma				+	+					+
2.5. Politrofi purvāji (Vegetationsformen polytropher Moorstandorte; polytrophic peatlands)										

<i>Lemna minor-Alnus glutinosa</i> -veģetācijas forma	+							+			+
<i>Galium palustre-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģetācijas forma	+							+			+
<i>Urtica dioica-Salix cinerea</i> -veģetācijas forma		+						+			+
<i>Urtica dioica-Carex acutiformis-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģetācijas forma		+						+			+
<i>Urtica dioica-Salix cinerea-Sambucus nigra</i> -veģetācijas forma			+					+			+
<i>Urtica dioica-Sambucus nigra-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģetācijas forma			+					+			+

3. Intensīvi izmantotas ganības un zālāji (Vegetationsformen der Wiesen und Weiden in traditioneller Nutzung; intensive used grasslands)	Hidroloģija				C/N	
	4+	3+	2+	2-	e	p
<i>Bidens tripartita-Alopecurus geniculatus</i> -veģetācijas forma	+					+
<i>Glyceria maxima-Carex gracilis</i> -veģetācijas forma	+					+
<i>Caltha palustris-Cirsium oleraceum</i> -veģetācijas forma	+				+	
<i>Alopecurus geniculatus-Agrophyron repens</i> -veģetācijas forma		+				+
<i>Deschampsia cespitosa-Agrophyron repens</i> -veģetācijas forma		+				+
<i>Juncus effusus-Alopecurus geniculatus</i> -veģetācijas forma		+				+
<i>Carex acutiformis-Phalaris arundinacea</i> -veģetācijas forma		+			+	
<i>Carex acutiformis-Cirsium oleraceum</i> -veģetācijas forma		+			+	
<i>Cirsium oleraceum-Alopecurus geniculatus</i> -veģetācijas forma		+				+
<i>Alopecurus geniculatus-Lolium perenne</i> -veģetācijas forma			+			+
<i>Ranunculus repens-Agrophyron repens</i> -veģetācijas forma			+			+
<i>Phalaris arundinacea-Urtica dioica-Agrophyron repens</i> -veģetācijas forma			+			+
<i>Cirsium oleraceum-Arrhenatherum elatius</i> -veģetācijas forma			+		+	
<i>Heracleum sphondylium-Agrophyron repens</i> -veģetācijas forma				+		+
<i>Silene pratensis-Agrophyron repens</i> -veģetācijas forma				+		+
<i>Festuca rubra-Arrhenatherum elatius</i> -veģetācijas forma				+	+	

Apzīmējumi:

Hidroloģija, vid. ūdens līmenis gadā: 6+ (140-20 cm v.j.l.); 5+ (20-0 cm v.j.l.); 4+ (0-20 cm z.j.l.); 3+ (20-45 cm z.j.l.); 2+ (45-80 cm z.j.l.); 2- (>80 cm z.j.l.);

Barības vielu pieejamība, C/N: o (oligotrofs, 33-40); m (mezotrofs, 20-33); e (eitrofs, 10-20); p (politrofs, <10);

Vides pH: sk (skābs <4,8); sk-n (skābs-neitrāls); n (neitrāls 4,8-6,4); n-b (neitrāls-bāzisks); b (bāzisks >6,4).

2. pielikums. GEST metodikas lauka protokols veģetācijas raksturošanai.

Veģetācijas kartēšana

Teritorija:	Datums:
Atrašanās vieta:	Augstums [v.j.l., m]:
	Koordinātas:
	Pētnieks:
Virsmas tekstūra	Segums [%]
Reljefs:	Koku stāvs:
Novietojums:	Krūmu stāvs:
Gradients:	Lakstaugu stāvs:
Augsne	Sūnu stāvs:
Augsnes tips:	Bez veģetācijas:
Kūdras dziļums:	
Izmantošanas vēsture:	
Komentāri:	
	Pirmā kartēšana <input type="checkbox"/>
	Atkārtota kartēšana <input type="checkbox"/> Gads:

Veģetācijas inventarizēšana

Sugas nosaukums	Segums	Sugas nosaukums	Segums
.....		

Sugu seguma skala (Braun-Blanquet, 1964)

Simbols	Indivīdu skaits	Segums
r	atsevišķi, viens eksemplārs	ievērojami zem 1 %
+	daži (2 līdz 5) eksemplāri	līdz 1 %
1	daudz (6 līdz 50) eksemplāri	līdz 5 %
2	daudz (> 50) eksemplāri	5 līdz 15 %
3	ļoti daudz	26 līdz 50 %
4	ļoti daudz	51 līdz 75 %
5	ļoti daudz	76 līdz 100 %

3. pielikums. SEG emisiju apjomi (t CO₂ ekvivalenti /ha gadā) GEST tipu dažādiem veģetācijas tipiem pēc dažādu literatūras avotu apkopošanas

GEST tips/veģetācijas forma	CO ₂ emisijas (t CO ₂ ekv./ha gadā)	CH ₄ emisijas (t CO ₂ ekv./ha gadā)	Siltumnīcas efekta potenciāla indekss (t CO ₂ ekv./ha gadā)
ATKLĀTI, DABISKI PURVĀJI			
Oligotrofi, skābi, neskarti purvāji			
<i>Eriophorum vaginatum-Sphagnum recurvum</i> -veģ. forma; <i>Sphagnum magellanicum</i> -veģ. forma	-0,5	0,3	-0,3
<i>Pinus sylvestris-Sphagnum magellanicum</i> -veģ. forma	3,9	0,2	4,1
<i>Sphagnum recurvum-Carex limosa</i> -veģ. forma	-3,1	12,0	8,9
Mezotrofi, skābi, neskarti purvāji			
<i>Sphagnum recurvum-Eriophorum angustifolium</i> -veģ. forma; <i>Sphagnum recurvum-Juncus effusus</i> -veģ. forma	-3,5	6,8	3,3
<i>Sphagnum denticulatum-Carex rostrata</i> -veģ. forma	1,2	14,6	15,8
Mezotrofi, neitrāli, neskarti purvāji			
<i>Utricularia vulgaris-Cladium mariscus</i> -veģ. forma	-15,7	13,0	-2,7
<i>Calliergonella cuspidata-Viola palustris-Carex appropinquata</i> -veģ. forma; <i>Parnassia palustris-Carex nigra</i> -veģ. forma; <i>Sphagnum teres-Viola palustris-Carex appropinquata</i> -veģ. forma	-3,5	6,8	3,3
<i>Juncus filiformis-Juncus acutiflorus-Carex nigra</i> -veģ. forma	-0,5	2,3	1,9
Mezotrofi, kaļķaini, neskarti purvāji			
<i>Drepanocladus revolvens-Carex diandra</i> -veģ. forma	1,2	14,6	15,8
<i>Primula farinosa-Schoenus ferrugineus</i> -veģ. forma; <i>Scorpidium scorpioides-Cladium mariscus</i> -veģ. forma; <i>Scorpidium scorpioides-Eleocharis quinqueflora</i> -veģ. forma	0,2	0,5	0,7
Eitrofi, neskarti purvāji			
<i>Cicuta virosa-Carex acutiformis-Phragmites australis</i> -veģ. forma	4,6	7,5	12,2
<i>Ranunculus lingua-Carex elata-Phragmites australis</i> -veģ. forma; <i>Valeriana dioica-Berula erecta-Carex paniculata</i> -veģ. forma	-0,1/ 1,2/ -2,9	8,5/ 14,6/ 37,0	8,4/ 15,8/ 34,0
Politrofi, pārmitri purvāji			

<i>Typha angustifolia-Lemna minor-Phragmites australis</i> -veģ. forma	-15,7/ -2,9	13,0/ 37,0	-2,7/ 34,0
<i>Rorippa amphibia-Typha latifolia-Phragmites australis</i> -veģ. forma	-2,3/ 1,2/ -32,8	6,3/ 14,6/ 33,6	4,0/ 15,8/ 0,8
Atklāti, mitri zālāji			
<i>Solanum dulcamara-Galium palustre-Phragmites australis</i> -veģ. forma	-2,3/ -32,8	6,3/ 33,6	4,0/ 0,8
<i>Caltha palustris-Filipendula ulmaria</i> -veģ. forma; <i>Carex nigra-Caltha palustris-Filipendula ulmaria</i> -veģ. forma; <i>Galium palustre-Carex paniculata</i> -veģ. forma; <i>Polygonum bistorta-Caltha palustris-Carex paniculata</i> -veģ. forma	-0,5	2,3	1,9
<i>Filipendula ulmaria-Galeopsis tetrahit-Molinia caerulea</i> -veģ. forma; <i>Filipendula ulmaria-Urtica dioica-Cirsium oleraceum</i> -veģ. forma; <i>Filipendula ulmaria-Urtica dioica-Polygonum bistorta</i> -veģ. forma; <i>Lythrum salicaria-Urtica dioica-Phragmites australis</i> -veģ. forma	4,6	7,5	12,2
<i>Cirsium oleraceum-Urtica dioica</i> -veģ. forma; <i>Molinia caerulea-Daucus carota-Deschampsia cespitosa</i> -veģ. forma	20,0	0,0	20,0
KRŪMĀJI UN MEŽI UZ KŪDRAINĀM AUGSNĒM			
Oligotrofi, skābi purvāji			
<i>Pleurozium schreberi-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Pleurozium schreberi-Pinus sylvestris</i> -veģ. forma	20,0	0,0	20,0
<i>Vaccinium uliginosum-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Vaccinium uliginosum-Pinus sylvestris</i> -veģ. forma	9,4	0	9,4
<i>Eriophorum vaginatum-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Eriophorum vaginatum-Pinus sylvestris</i> -veģ. forma	1,7/ -3,5	3,0/ 6,8	4,7/ 3,3
Mezotrofi, skābi purvāji			
<i>Molinia caerulea-Quercus robur</i> -veģ. forma; <i>Rubus fruticosus-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Rubus fruticosus-Frangula alnus</i> -veģ. forma	20,0	0,0	20,0
<i>Lysimachia vulgaris-Quercus robur</i> -veģ. forma; <i>Molinia caerulea-Frangula alnus</i> -veģ. forma; <i>Sphagnum-Betula pubescens</i> -veģ. forma	4,6	7,5	12,2
<i>Eriophorum angustifolium-Salix aurita</i> -veģ. forma; <i>Carex rostrata-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Sphagnum-Betula pubescens-Alnus glutinosa</i> -veģ. forma; <i>Thelypteris palustris-Salix aurita</i> -veģ. forma	-0,5/ -3,5	2,1/ 6,8	1,6/ 3,3

Mezotrofi, neitrāli purvāji			
<i>Rhamnus cathartica-Quercus robur</i> -veģ. forma	20,0	0,0	20,0
<i>Rhamnus cathartica-Betula pubescens</i> -veģ. forma	4,6	7,5	12,2
<i>Betula humilis-Salix repens</i> -veģ. forma; <i>Carex-Salix pentandra</i> -veģ. forma; <i>Salix pentandra-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Valeriana dioica-Betula pubescens</i> -veģ. forma; <i>Valeriana dioica-Salix pentandra</i> -veģ. forma	-0,5/ -3,5	2,1/ 6,8	1,6/ 3,3
Eitrofi purvāji			
<i>Circaea alpina-Fagus sylvatica</i> -veģ. forma; <i>Cirsium oleraceum-Salix cinerea</i> -veģ. forma; <i>Milium effusum-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģ. forma	20,0	0,0	20,0
<i>Athyrium filix-femina-Alnus glutinosa</i> -veģ. forma; <i>Carex acutiformis-Salix cinerea</i> -veģ. forma; <i>Carex remota-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģ. forma; <i>Padus avium-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģ. forma	4,6	7,5	12,2
<i>Thelypteris palustris-Salix cinerea</i> -veģ. forma; <i>Alnus glutinosa-Salix cinerea</i> -veģ. forma; <i>Cardamine amara-Alnus glutinosa</i> -veģ. forma; <i>Carex elongata-Alnus glutinosa</i> -veģ. forma	-0,5/ -3,5	2,1/ 6,8	1,6/ 3,3
Politrofi purvāji			
<i>Urtica dioica-Sambucus nigra-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģ. forma	20,0	0,0	20,0
<i>Urtica dioica-Carex acutiformis-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģ. forma; <i>Urtica dioica-Salix cinerea</i> -veģ. forma	4,6	7,5	12,2
<i>Galium palustre-Alnus glutinosa-Fraxinus excelsior</i> -veģ. forma	-0,5/ -3,5	2,1/ 6,8	1,6/ 3,3

4. pielikums. GEST tipu un veģetācijas formu piemēri no projekta paraugteritorijām. Foto: M. Pakalne



Atklāti, dabiski purvāji:
GEST tips Oligotrofi, skābi, neskarti purvāji; *Sphagnum recurvum-Carex limosa*-veģ. forma Sudas-Zviedru purvā



Atklāti, dabiski purvāji:
GEST tips Oligotrofi, skābi, neskarti purvāji; *Pinus sylvestris-Sphagnum magellanicum*-veģ. forma Sudas-Zviedru purvā



Atklāti, dabiski purvāji:
GEST tips Mezotrofi, kaļķaini, neskarti purvāji; *Scorpidium scorpioides-Cladium mariscus*- veģ. forma Engures ezera dabas parkā



Krūmāji un meži uz kūdrainām augsnēm:
GEST tips Oligotrofi, skābi purvāji; *Pleurozium schreberi-Pinus sylvestris*-veģ. forma Madiešēnu purvā



Krūmāji un meži uz kūdrainām augsnēm:
GEST tips Oligotrofi, skābi purvāji; *Eriophorum vaginatum-Betula pubescens*-veģ. forma Pēterezera vigā



Krūmāji un meži uz kūdrainām augsnēm:
GEST tips Eitrofi purvāji; *Alnus glutinosa-Salix cinerea*-veģ. forma Kukšupes vigā