



PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMA 2023. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: **Oglekļa aprite meža ekosistēmā**

LĪGUMA NR. 5_5.9.1_0081_101_21_87

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS VADĪTĀJS: Andis Lazdiņš, LVMI Silava vadošais pētnieks

PĒTĪJUMS ĪSTENOTS AKCIJU SABIEDRĪBAS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" UN LATVIJAS VALSTS
MEŽZINĀTNES INSTITŪTA "SILAVA" 2021. GADA 13. SEPTEMBRA SADARBĪBAS LĪGUMA IETVAROS

Salaspils, 2023

KOPSAVILKUMS

Pētījuma trešajā etapā 2023. gadā īstenoti darba uzdevumi astoņās aktivitātēs:

1. **Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem.** Izstrādātie biomasas aprēķinu vienādojumi iekļauti klimata neitralitātes scenārijā, raksturojot klimata pārmaiņu mazināšanas darbību ietekmi uz SEG emisijām.
2. **SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana.** Izstrādāta metodika koku sugu dešifrēšanai un veikta datu analīze pilotteritorijai. Papildināta metodika zemes izmantošanas maiņas aprēķinu nenoteiktības mazināšanai. Veikta parauglaukumu atlase un uzsākta darbību datu atlase zemes izmantošanas veidu prognožu modeļa apmācīšanai.
3. **Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana.** Uzsākta paraugu ievākšana un paraugu analīzes laboratorijā. Uzsākta vienādojumu izstrādāšana oglekļa uzkrājumu izmaiņu raksturošanai, balstoties uz pētījumā iegūtiem datiem. Šajā pētījuma etapā secināts, ka varam raksturot trupes ierobežošanas darbību ietekmi kā mērķi un darbības prognozētās ietekmes nenoteiktība atbilst oglekļa zudumu novērtējuma nenoteiktībai.
4. **SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā.** Pabeigta parauglaukumu ierīkošana jaunaudzju kopšanas izmēģinājumu platībās un kokaugu stādījumos, iegūti lāzerskenēšanas dati 2022. un 2023. gadā apsektajos izpētes objektos. Ierīkoti izmēģinājumu objekti augsnes sagatavošanas ietekmes raksturošanai, uzsākta gāzu apmaiņas un vides datu ieguve. Uzsākta klimata pārmaiņu mazināšanas darbību kataloga izveide, ietverot tur darbības ar zinātniski pamatojamu ietekmi.
5. **Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti izpēte.** Uzsākta gāzu apmaiņas mērīšana pēc augsnes sagatavošanas un stādīšanas. Mērījumi veikti neskartā platībā, uz pacilas vai bedrē. Tāda pati pieeja izmantota platībā, kas appludināta un apmežota ar melnalksni. Gāzu apmaiņas mērījumi kokaugu stādījumos turpinās izmēģinājumu platībā ZS “Andrupēni”.
6. **Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai.** Izstrādāta metodika kokmateriālu sadalījuma prognozēšanai. Ierīkoti izmēģinājumu objekti un uzsākta gāzu apmaiņas mērīšana risēs un blakus tām. Pilnveidota metodika risu identificēšanai, izmantojot lāzerskenēšanas datus.
7. **Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma.** Uzsākta gāzu apmaiņas mērīšana platībās, kur ierīkotas dziļvagas. Turpināta gāzu apmaiņas mērīšana āreņos un slapjainos priedes un bērza audzēs. Turpināta metodikas pilnveidošana meliorācijas sistēmu optimizēšanai, ierīkojot dziļvagas ūdens novadīšanai no reljefa pazeminājumiem. Adaptēts evapotranspirācijas modelis un uzsākta netiešo oglekļa zudumu novērtēšana.
8. **Oglekļa bilance vecās mežaudzēs.** Ierīkoti izmēģinājumu objekti un uzsākta datu ieguve bioloģiski vecās audzēs.

Pētījums īstenots Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” (LVMI Silava) un AS “Latvijas valsts meži” (LVM) 2021. gada 13. septembra sadarbības līguma ietvaros un saskaņā ar LVMI Silava un LVM līgumu Nr. 5_5.9.1_0081_101_21_87 par pētījumu programmas “Oglekļa aprīte meža ekosistēmā” īstenošanu.

SUMMARY

During the first eight months of the second stage of the study (since January 1, 2023), the following tasks were implemented in eight actions:

1. **Methodology for the calculation of carbon sequestration and accumulation in forest stands managed by Joint stock company “Latvia’s state forests”.** The developed biomass calculation equations are included in the climate neutrality scenario, characterizing the impact of climate change mitigation measures on GHG emissions.
2. **Improvement of GHG inventory and projecting tools.** A methodology for deciphering tree species has been developed and data analysis for the pilot territory has been carried out, the data analysis is ongoing. Added methodology for reducing the uncertainty of land use change calculations. The selection of sample plots has been carried out and the selection of activity data for the training of the land use prediction model has been started.
3. **Modelling of heart rot effects on carbon accumulation in biomass of living trees.** Sample collection and sample analysis in the laboratory is started. The development of equations for the characterization of changes in carbon stocks is started. It was concluded that we can describe the impact of the herd limitation measures as a goal and the uncertainty of the predicted impact of the measure corresponds to the uncertainty of the carbon loss.
4. **Reduction of GHG emissions in forest management in the context of climate change mitigation.** The installation of sample plots in the test areas for the care of young trees and tree plantations has been completed. Test objects for characterizing the effects of soil preparation have been installed. The catalogue of actions has been elaborated.
5. **Study of the impact of afforestation and establishment of tree plantations in the buffer zones of drainage systems on GHG emissions and CO₂ removals.** Gas exchange measurement started after soil preparation and planting. Measurements were taken in an intact area, on a platform or in a pit. The same approach was used in the area flooded and forested with black alder. Measurements of gas exchange in tree plantations continue in the experimental area of ZS "Andrupēni".
6. **Increasing the efficiency of the use of forest resources for mitigating climate change.** A methodology has been developed for predicting the distribution of timber assortments. Test facilities have been installed and gas exchange measurements in and in the ruts and control area have been started. Improved methodology for ruts identification using laser scanning.
7. **Management planning system of drainage systems.** Measurement of gas exchange in areas where deep furrows are installed has been started. Continued measurement of gas exchange in drained and wet sites with mineral soils. Continued improvement of the methodology for optimizing drainage systems by installing deep furrows.
8. **Carbon balance in old forest stands.** Test facilities have been installed and data collection has been started in biologically old stands.

The research is being implemented within the scope of the collaboration agreement from September 13, 2021 between the Latvian State Forest Research Institute “Silava” and Joint stock company “Latvia’s state forests” (LVM) and according to the agreement between LSFRI Silava and LVM No. 5_5.9.1_0081_101_21_87 on implementation of the research program “Research program on carbon turnover in forest ecosystem”.

Saturs

1. Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika LVM apsaimniekotajiem mežiem	15
1.1. Biomasas un oglekļa uzkrājuma novērtēšanas metodes izstrādāšana.....	15
1.2. Biomasas un oglekļa uzkrājuma novērtēšanas metodes LVM plānošanas sistēmās	15
2. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana	17
2.1. Metodikas izstrādāšana koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai Latvijas teritorijā un oglekļa uzkrājuma dinamikas modelēšanai, izmantojot attālās izpētes datus un mašīnmācības metodes	17
2.1.1. Metodika	17
2.1.2. Rezultāti	19
2.1.3. Secinājumi.....	24
2.2. Metodikas koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai integrēšana SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā	24
3. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana.....	34
3.1. Izstrādāt metodi un novērtēt trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu dzīvajā biomasā LVM apsaimniekotajos mežos	34
3.1.1. Metodika	34
3.1.2. Rezultāti	37
Serdes trupes izplatības prognozes lapkoku audzēs	37
Trupējušas koksnes apjoms un to ietekmējošie faktori	39
Ietekme uz blīvumu, oglekļa un slāpekļa saturu	43
Serdes trupes ietekme uz stumbra biomasas aprēķiniem	46
3.1.3. Kopsavilkums.....	49
3.2. Izstrādāt oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes trupes ietekmē pie dažādiem meža apsaimniekošanas scenārijiem	49
3.3. Novērtēt trupes ierobežošanas darbību ietekmi uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti meža zemēs	51
4. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā	58
4.1. Esošo modeļteritoriju un pētījumu apzināšana un ietekmes uz oglekļa uzkrājumu un SEG emisijām apzināšana	58
4.1.1. Jaunaudžu kopšanas cirtes.....	58
4.1.2. Skrīveru kokaugu stādījums – augšanas gaita un SEG emisijas	58
4.2. Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai.....	65
4.3. Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību kataloga mežsaimniecībai izstrādāšana	77
5. Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti izpēte	78
5.1. Eksperimentālo stādījumu ierīkošana un esošo apmežojumu apzināšana meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti demonstrēšanai minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs	78
5.1.1. Oglekļa aprites izpētes objekta ierīkošana Kapusila karjerā.....	78
5.1.2. Agromežsaimniecības potenciāla novērtējums	81
5.1.3. SEG emisijas no augsnes atkarībā no kūdras slāņa biezuma	82
5.2. Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskam augsnēm un minerālaugsnēm	85
5.3. Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām.....	89

6. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai	90
6.1. Kokmateriālu iznākuma sadalījuma prognozēšanas algoritmu pilnveidošana	90
6.1.1. Metodika	90
6.1.2. Rezultāti	93
6.1.3. Secinājumi.....	97
6.2. Mežizstrādes metožu ietekmes uz SEG emisijām ietekmes novērtēšana modelēšana	97
6.2.1. SEG emisijas no risēm izcirtumos ar organiskajām augsnēm	97
6.2.2. Metode risu attālinātai raksturošanai	100
6.3. Metodes izstrādāšana koksnes produktu un padziļinātas koksnes pārstrādes ietekmes uz SEG emisijām analīzei.....	105
6.4. Biokurināmā ietekmes uz SEG emisijām un aizstāšanas efekta modelēšanas metožu pilnveidošana	106
7. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma	107
7.1. Empīrisku datu ieguve un metodikas izstrādāšana meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām no augsnes un CO ₂ piesaisti modelēšanai minerālaugsnēs un organiskās augsnēs	107
7.1.1. Dziļvagu ierīkošanas ietekme uz SEG emisijām mežos ar pārmitrām organiskām augsnēm.....	107
7.1.2. SEG emisiju salīdzinājums pārmitrās un meliorētās minerālaugsnēs.....	110
7.2. Lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu uzturēšanai un modernizēšanai	113
7.2.1. Metodika	113
7.2.2. Rezultāti	121
7.2.3. Secinājumi.....	123
7.3. Izstrādāt modelēšanas instrumentus Hg, SEG emisiju un biogēno elementu izneses aprēķiniem	123
7.3.1. Metodika	124
7.3.2. Rezultāti	126
7.3.3. Secinājumi.....	130
8. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs	131
8.1. Empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos	131
8.1.1. Aktualizēta metodika un rezultāti	131
8.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas	136
9. Priekšlikumi 2024. gada pētnieciskajiem uzdevumiem.....	138
9.1. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana.....	138
9.1.1. Metodikas izstrādāšana koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai Latvijas teritorijā un oglekļa uzkrājuma dinamikas modelēšanai, izmantojot attālās izpētes datus un mašīnmācības metodes.....	138
9.1.2. Metodikas koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai integrēšana SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā.....	138
9.2. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana	138
9.2.1. Izstrādāt metodi un novērtēt trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu dzīvajā biomasā LVM apsaimniekotajos mežos.....	138
9.2.2. Izstrādāt oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes trupes ietekmē pie dažādiem meža apsaimniekošanas scenārijiem	139
9.2.3. Novērtēt trupes ierobežošanas pasākumu ietekmi uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti meža zemēs	139
9.3. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā	140
9.3.1. Esošo modeļteritoriju un pētījumu apzināšana un ietekmes uz oglekļa uzkrājumu un	

SEG emisijām apzināšana	140
9.3.2. Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai	140
9.3.3. Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību kataloga mežsaimniecībai izstrādāšana	141
9.4. Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti izpēte.....	141
9.4.1. Eksperimentālo stādījumu ierīkošana un esošo apmežojumu apzināšana meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti demonstrēšanai minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs	141
9.4.2. Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskam augsnēm un minerālaugsnēm	142
9.4.3. Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām	142
9.4.4. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai	142
9.4.5. Mežizstrādes metožu ietekmes uz SEG emisijām ietekmes novērtēšana modelēšana	143
9.5. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma.....	143
9.5.1. Empīrisku datu ieguve un metodikas izstrādāšana meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām no augsnes un CO ₂ piesaisti modelēšanai minerālaugsnēs un organiskās augsnēs	143
9.5.2. Lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu uzturēšanai un modernizēšanai.....	144
9.5.3. Izstrādāt modelēšanas instrumentus Hg, SEG emisiju un biogēno elementu izneses aprēķiniem.....	144
9.6. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs.....	144
9.6.1. Empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos	144

Attēli

Attēls 1.1. SEG emisiju prognoze ZIZIMM sektorā	16
Attēls 2.1. Pētījuma pilotteritorija	18
Attēls 2.2. Zemes virsmas klasificēšanai izmantoto parauglūkumu skaits.....	20
Attēls 2.3. Šķērsvalidācijas rezultāti meža maskai	21
Attēls 2.4. Parauglūkumu sadalījums pa koku sugām	22
Attēls 2.5. Šķērsvalidācijas rezultāti sugu atpazīšanā	23
Attēls 2.6. Koku sugu izplatības kartes izgriezums.....	24
Attēls 2.7. Meža resursu monitoringa izvietojums valsts teritorijā	25
Attēls 2.8. MRM parauglūkuma piemēri, ja tie ir sadalīti (A) vai nesadalīti (B).....	28
Attēls 2.9. Datu apstrādes darba blokhēma	29
Attēls 2.10. Kopējais MRM nesadalīto parauglūkumu skaits	30
Attēls 2.11. Zemes izmantošanas kategoriju datu klasificēšanas precizitāte	31
Attēls 2.12. Zemes klasificēšanas rezultātu kartes salīdzinājums pret ortofoto	32
Attēls 3.1. Trupes ietekmes uz audzes oglekļa uzkrājumu shematisks novērtējums	34
Attēls 3.2. Trupējušas koksnes paraugu ievākšanas metodika: a) iekrāsojusies koksne; b) mīkstā trupe; c) koksnes paraugi sagatavoti blīvuma noteikšanai	36
Attēls 3.3. Trupes ietekmētā laukuma noteikšana stumbra šķērsriezuma ripās. Zils – iekrāsojums, sarkans – mīkstā trupe, zaļš – dobums	37
Attēls 3.4. Prognozētais trupējušu koku īpatsvars atkarībā no audzes vecuma.....	38

Attēls 3.5. Kopējā tilpuma (nepārtraukta līnija) un trupes ietekmētā tilpuma (pārtraukta līnija) saistība ar koka krūšaugstuma caurmēru	41
Attēls 3.6. Trupējušas koksnes īpatsvars atkarībā no koka vecuma (A–C) un krūšaugstuma caurmēra (D–F). Platība starp pārtrauktajām līnijām norāda un 95% ticamības intervālu. Dažādi burti norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām starp sugām, un zvaigznīte norāda uz vecuma vai caurmēra būtisku ietekmi uz trupes īpatsvaru	42
Attēls 3.7. Trupes celma laukuma saistība ar iekrāsojušās koksnes, mīkstās trupes un dobuma īpatsvaru stumbrā. Platība starp pārtrauktajām līnijām norāda un 95% ticamības intervālu. Zvaigznīte norāda uz būtisku kopējā trupes celma ietekmi uz trupes īpatsvaru	43
Attēls 3.8. Reducētā blīvuma, oglekļa (C) un slāpekļa (N) satura izmaiņas atkarībā no trupējušas koksnes klasifikācijas (iekrāsojums un mīkstā trupe) un attāluma no serdes. Laukums starp punktētām līnijām norāda uz 95% ticamības intervālu.....	44
Attēls 3.9. Oglekļa (C) un slāpekļa (N) satura izmaiņas atkarībā no reducētā blīvuma. Laukums starp punktētām līnijām norāda uz 95% ticamības intervālu.....	45
Attēls 3.10. Prognozētais stumbra biomasas samazinājums, atkarībā no trupes diametra uz celma virsmas. 95% ticamības intervāls iekrāsots sarkans.....	47
Attēls 3.11. Prognozētais stumbra biomasas samazinājums lapkoku audzēs atkarībā no vecuma ...	48
Attēls 3.12. Oglekļa uzkrājuma prognoze biomasā un kritālās meža references līmeņa (FRL) scenārijā	50
Attēls 3.13. Oglekļa uzkrājuma prognoze biomasā un kritālās “zaļās vienošanās” scenārijā.....	51
Attēls 3.14. Oglekļa uzkrājuma prognoze biomasā un kritālās “klīmata neitralitātes” scenārijā.....	51
Attēls 3.15. SEG emisiju pieaugums pirmās bonitātes bērza audzē trupes ietekmē	53
Attēls 3.16. Neto SEG emisiju samazinājums pirmās bonitātes bērza audzē.....	53
Attēls 3.17. Mežizstrādes vecuma samazināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes bērza audzē.....	53
Attēls 3.18. SEG emisiju pieaugums pirmās bonitātes melnalkšņa audzē trupes ietekmē.....	54
Attēls 3.19. Neto SEG emisiju samazinājums pirmās bonitātes melnalkšņa audzē	54
Attēls 3.20. Mežizstrādes vecuma samazināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes melnalkšņa audzē.....	55
Attēls 3.21. SEG emisiju pieaugums pirmās bonitātes apses audzē trupes ietekmē	55
Attēls 3.22. Neto SEG emisiju samazinājums pirmās bonitātes apses audzē	56
Attēls 3.23. Mežizstrādes vecuma samazināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes apses audzē.....	56
Attēls 3.24. Mežizstrādes vecuma palielināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes apses audzē.....	56
Attēls 4.1. Stādījums Skrīveru novada Pardenčos (56°41'30.9"N 25°08'34.6"E; 56.691917, 25.142944), attēls uzņemts 2023. gada vasarā	59
Attēls 4.2. Bērzu, alkšņu, apšu hibrīdu biomasas, kg koks ⁻¹ saskaņā ar J. Liepiņa izstrādātajiem vienādojumiem (Liepiņš u.c., 2017, 2021).....	61
Attēls 4.3. Gāzu paraugu ievākšanas un uzmērījumu vietas hibrīdās apses stādījumos	62
Attēls 4.4. SEG emisiju mērījumu kopsavilkums.....	62
Attēls 4.5. Augsnes kopējās elpošanas mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas.....	68
Attēls 4.6. Augsnes-atmosfēras CO ₂ apmaiņas mērījumu vidējie rezultāti atkarībā no mērījuma mēneša (nenoteiktība – standartnovirze)	69
Attēls 4.7. Augsnes metāna emisiju mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas.....	69
Attēls 4.8. Logaritmiski [ln(CH ₄ +210)] transformētu augsnes metāna emisiju mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas	70

Attēls 4.9. Vidējais gruntsūdens līmenis atkarībā no mērījuma mēneša izmēģinājuma objektos pirms un pēc atjaunošanas cirtes (nenoteiktība – standartnovirze)	71
Attēls 4.10. Augsnes-atmosfēras CH ₄ apmaiņas mērījumu vidējie rezultāti atkarībā no mērījuma mēneša (nenoteiktība - standartnovirze).....	71
Attēls 4.11. Augsnes mitrums atkarībā no mērījuma mēneša izmēģinājuma objektos pirms un pēc atjaunošanas cirtes (nenoteiktība - standartnovirze).....	72
Attēls 4.12. Augsnes N ₂ O emisiju mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas.....	72
Attēls 4.13. Augsnes-atmosfēras N ₂ O apmaiņas mērījumu vidējie rezultāti atkarībā no mērījuma mēneša (nenoteiktība – standartnovirze)	73
Attēls 4.14. Pīrsona korelācijas analīze	74
Attēls 4.15. Sākotnējie augsnes heterotrofās elpošanas, CH ₄ un N ₂ O emisiju rezultāti pirms un pēc mežizstrādes purvaiņos.....	76
Attēls 4.16. Sākotnējie augsnes heterotrofās elpošanas, CH ₄ un N ₂ O emisiju rezultāti pirms un pēc mežizstrādes slapjainos	76
Attēls 5.1. Kopusila karjera apsekošana 2023. gada jūnijā	78
Attēls 5.2. Mikroieplakas ar ūdeni un mitrām vietām raksturīgiem augiem	79
Attēls 5.3. Kopusila karjera rekultivācijas shēmā iekļautās aktivitātes	80
Attēls 5.4. Kopusila karjera senākās daļas dabiskā apmežošanās ar bērzu	80
Attēls 5.5. Izlīdzinātā karjera reljefs un to ieskaujošajā daļā augošās priedes	80
Attēls 5.6. Agromežsaimniecības sistēmas veidojošie komponenti	81
Attēls 5.7. Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO ₂ emisijas no augsnes.....	84
Attēls 5.8. CH ₄ emisijas no augsnes	84
Attēls 5.9. N ₂ O emisijas no augsnes.....	85
Attēls 5.10. Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO ₂ emisijas no augsnes.....	86
Attēls 5.11. CH ₄ emisijas no augsnes	86
Attēls 5.12. N ₂ O emisijas no augsnes.....	86
Attēls 5.13. Vidējās CO ₂ emisijas no augsnes kalendāro mēnešu griezumā.....	87
Attēls 5.14. Vidējās CH ₄ emisijas no augsnes kalendāro mēnešu griezumā.....	87
Attēls 5.15. Vidējās N ₂ O emisijas no augsnes kalendāro mēnešu griezumā.....	88
Attēls 5.16. Balto vītolu agromežsaimniecības sistēmai blakus ierīkotais kārkļu un papeļu stādījums	88
Attēls 6.1. Augsnes-atmosfēras CO ₂ apmaiņas mērījumu vidējās vērtības atkarībā no mērījuma mēneša	98
Attēls 6.2. Augsnes-atmosfēras CH ₄ emisiju mērījumu vidējās vērtības atkarībā no mērījuma mēneša	99
Attēls 6.3. Gruntsūdens līmeņa ikmēneša izmaiņas	99
Attēls 6.4. Gredzeni gāzu paraugu ievākšanai risē	100
Attēls 6.5. Pētījumam izvēlētie meža nogabali.....	101
Attēls 6.6. Kreisajā pusē – mežizstrādes tehnikas rises redzamas DEM ar 0,5 m izšķirtspēju, labajā pusē – šī pati teritorija un rises redzamas infrasarkanajā ortofoto kartē	101
Attēls 6.7. Risu vektorizēšanas principu shematisks attēlojums	102
Attēls 6.8. Kreisajā pusē – binārs risu izplatības rastra attēls; labajā pusē – risu izplatības līnijveida objekti pēc filtrēšanas	103
Attēls 6.9. Risu izplatības piemērs meža nogabalā 609-253-7.....	104
Attēls 7.1. Augsnes heterotrofās elpošanas radīto oglekļa zudumu no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes un dziļvagu ierīkošanas	108
Attēls 7.2. CH ₄ emisiju no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes un dziļvagu ierīkošanas	108
Attēls 7.3. N ₂ O emisijas no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes un dziļvagu	

ierīkošanas	109
Attēls 7.4. Augsnes heterotrofās elpošanas radīto oglekļa zudumu no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes kontroles platībās.....	109
Attēls 7.5. CH ₄ emisiju no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes kontroles platībās..	110
Attēls 7.6. N ₂ O emisijas no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes kontroles platībās	110
Attēls 7.7. Augsnes heterotrofās elpošanas radīto oglekļa zudumu no augsnes salīdzinājums slapjainos un āreņos.....	112
Attēls 7.8. Metāna (CH ₄) emisiju salīdzinājums āreņos un slapjainos	112
Attēls 7.9. Dislāpekļa oksīda (N ₂ O) emisiju salīdzinājums āreņos un slapjainos	112
Attēls 7.10. A – aizsērējusi grāvju sistēma un sekojoša pārmitro apstākļu izplatība; B – virszemes plūsmas akumulācija aizsērējušo grāvju tuvumā	114
Attēls 7.11. A – ar zilu apzīmēts aizsērējis grāvis, kura vidējais dziļums ir zem 30 cm; B – veikta grāvja rakšanas modelēšana digitālajā reljefa modelī 1,5 m dziļumā un 2 m platumā ...	115
Attēls 7.12. Modelētā sagaidāmā beznoteces ieplaku platība pirms un pēc dziļvagu rakšanas paraugteritorijā	115
Attēls 7.13. Beznoteces ieplaku izplatība teritorijā	116
Attēls 7.14. Meliorācijas grāvji dažādos datu avotos	116
Attēls 7.15. Grāvju atjaunošanas modelēšanas piemērs, augšējā daļā – atlasīti trīs grāvji, kuri atrodas pārmitros apstākļos, apakšējā daļā – veikta atjaunošanas modelēšana 2 m platumā un 1,5 m dziļumā	117
Attēls 7.16. Augšējā daļā – ieplaku izplatība pirms grāvju atjaunošanas, lejā – pēc atjaunošanas.	118
Attēls 7.17. Augšpusē – ieplaku izplatība un meliorācijas grāvji dažādos datu avotos, lejā – plūsmas akumulācijas modelis	119
Attēls 7.18. A – ieplaku izplatība pirms modelēšanas, B – pēc; C – plūsmas akumulācija pirms modelēšanas, D – pēc modelēšanas.....	120
Attēls 7.19. Beznoteces ieplaku lokāli dziļākās vietas un plūsmas koncentrēšanās vietas	121
Attēls 7.20. Modelēšanā izmantoto dziļvagu izvietojums.....	121
Attēls 7.21. Ieplaku dziļuma sadalījums pēc rastra šūnu skaita pirms un pēc grāvju atjaunošanas modelēšanas.....	122
Attēls 7.22. Ieplaku dziļuma sadalījums pirms un pēc grāvju atjaunošanas un dziļvagu izveides modelēšanas.....	122
Attēls 7.23. A – ieplaku izplatība pirms modelēšanas, B – pēc modelēšanas	123
Attēls 7.24. Ieplaku dziļuma sadalījums pirms un pēc modelēšanas	123
Attēls 7.25. Vidējais nokrišņu daudzums gada griezumā dažādos apsaimniekošanas veidos: A – bērza audze; B – priedes audze; C – LIZ; D – kūdras lauks; E – pamesta atradne ar sīkkrūmu veģetāciju; F – pamesta atradne bez veģetācijas	127
Attēls 7.26. Mēneša vidējais nokrišņu daudzums, evapotranspirācija un DOC iznese objektos	127
Attēls 7.27. Mēneša vidējā DOC koncentrācija atkarībā no apsaimniekošanas veida: Taisnstūri ietilpst pirmās līdz trešās kvartiles diapazonā. Nogriežņi ietilpst nultās līdz ceturtās kvartiles diapazonā. Ar punktiem attēloti ekstrēmi. Taisnstūrus sadala mediāna. Ar “x” attēlota vidējā aritmētiskā vērtība.....	128
Attēls 7.28. Mēneša vidējā DOC iznese atkarībā no apsaimniekošanas veida: Taisnstūri ietilpst pirmās līdz trešās kvartiles diapazonā. Nogriežņi ietilpst nultās līdz ceturtās kvartiles diapazonā. Ar punktiem attēloti ekstrēmi. Taisnstūrus sadala mediāna. Ar “x” attēlota vidējā aritmētiskā vērtība	129
Attēls 7.29. Gada kopējā DOC iznese (\pm standartkļūda) atkarībā no apsaimniekošanas veida	129
Attēls 8.1. Pētāmo objektu atrašanās vieta Latvijā.....	131
Attēls 8.2. Vidējais oglekļa (C) uzkrājums šaurlapu kūdrēnī dažādās koka frakcijās un atmirušajā koksnē (\pm 95% ticamības intervāls)	132
Attēls 8.3. Vidējais C uzkrājums dažādās atmirušās koksnes frakcijās (\pm 95% ticamības intervāls)	

.....	133
Attēls 8.4. Ikgadējais C uzkrājums biomasā un atmirušajā koksnē atkarībā no audzes vecuma (pelēkais iekrāsojums apzīmē $\pm 95\%$ ticamības intervālu)	134
Attēls 8.5. Ikgadējais C uzkrājums biomasā un atmirušajā koksnē atkarībā no audzes vecuma (pelēkais iekrāsojums apzīmē $\pm 95\%$ ticamības intervālu)	135
Attēls 8.6. Augsnes paraugu ievākšanas process.....	136

Tabulas

Tabula 2.1. <i>Tune grid</i> parametri	19
Tabula 2.2. Klasifikācijas precizitāte zemes lietojuma veidiem	20
Tabula 2.3. Klasifikācijas precizitāte dažādām koku sugām.....	22
Tabula 2.4. MRM nacionālā zemes izmantošanas kategorijas un to iedalījums pēc IPCC kritērijiem	26
Tabula 2.5. <i>True grid</i> parametru vērtības	30
Tabula 2.6. MRM parauglaukumu klasificēšanas kļūdu matrica (pareizi klasificēto parauglaukumu skaits iezīmēts tabulā).....	32
Tabula 3.1. Paraugkoku raksturojums no kuriem iegūti trupējušas koksnes paraugi.....	35
Tabula 3.2. Trupes sastopamības lapu koku audzēs modelēšanai izmantotās datu kopas	38
Tabula 3.3. Trupējušo paraugkoku raksturojums	40
Tabula 3.4. Trupes veida ietekme uz koksnes reducēto blīvumu, oglekļa un slāpekļa saturu	46
Tabula 4.1. 2011. gadā ierīkotā stādījuma koku sugu, stādīšanas attāluma, pamatmēslojuma kombinācijas un SEG emisiju uzskaitē parauglaukumi (katrā atkārtotumā iestādītas vismaz 6 rindas, rinda vismaz 24 m gara)	60
Tabula 4.2. Veģetācijas daudzveidība zem dažādu koku sugu vainaga	62
Tabula 4.3. Iepriekšējos trijos gados stādījumā uzskaitītās lakstaugu sugas zem visu koku sugu vainagiem	63
Tabula 4.4. Gāzu apmaiņas mērīšanas parauglaukumi atjaunotās platībās	65
Tabula 4.5. Veikto augšnes-atmosfēras SEG paraugu skaits	66
Tabula 4.6. Augšnes-atmosfēras SEG apmaiņas un vides parametru mērījumu rezultāti.....	67
Tabula 4.7. Kopējās elpošanas mērījumu datu Vilkoksona rangū summas testa rezultāti.....	68
Tabula 4.8. Metāna emisiju mērījumu datu Vilkoksona rangū summas testa rezultāti.....	70
Tabula 4.9. N ₂ O emisiju mērījumu datu Vilkoksona rangū summas testa rezultāti.....	73
Tabula 4.10. Gāzu apmaiņas mērīšanas parauglaukumi izcirtumos slapjajos un purvajos.....	75
Tabula 5.1. SEG emisijas no augsnes pirms augsnes sagatavošanas (2021. gada rezultāti).....	83
Tabula 5.2. SEG emisijas no augsnes pēc augsnes sagatavošanas (2022.-2023. gada rezultāti)	83
Tabula 5.3. SEG emisiju kopsavilkums (sākotnējie dati).....	85
Tabula 6.1. Apmācīta mašīnmācīšanās modeļa darbināšanai nepieciešamās datu kopas struktūra ..	91
Tabula 6.2. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte apsei	93
Tabula 6.3. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte bērzam	93
Tabula 6.4. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte baltalksnim	94
Tabula 6.5. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte eglei	94
Tabula 6.6. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte melnalksnim	95
Tabula 6.7. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte mīkstajiem lapu kokiem	96
Tabula 6.8. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte priedei	96
Tabula 6.9. Izpētes objekti.....	97

Tabula 6.10. Augšnes-atmosfēras SEG apmaiņas un vides parametru mērijumu rezultāti.....	98
Tabula 6.11. Risu kopējais garums apsekotajos meža nogabalos	103
Tabula 7.1. Izpētes objekti SEG emisiju monitoringam pēc dziļvagu ierīkošanas	107
Tabula 7.2. Izpētes objekti SEG emisiju monitoringam pieaugušās bērza un priedes audzēs āreņos un slapjainos	111
Tabula 7.3. 2022. un 2023. gada emisiju mērijumu rezultātu kopsavilkums.....	111
Tabula 7.4. Izmantotās K_c vērtības evapotranspirācijas aprēķinu veikšanā dažādos apsaimniekošanas veidos.....	125
Tabula 7.5. Informācija par pētītajiem objektiem	125
Tabula 8.1. Pētāmo objektu raksturojums	131
Tabula 8.2. Sākotnējie rezultāti no iepriekšējā etapā ievāktiem augsnes paraugiem vecās bērzu audzēs	135

SIMBOLI UN SAĪSINĀJUMI

AGB - kopējā virszemes biomasa
AIC - Akaike informācijas kritērijs
ALS - aerolāzerskenēšana
BB - zaru biomasa
BGB - kopējā sakņu un celma biomasa
C - ogleklis
CH₄ - metāns
CHM - vainaga augstuma modelis
CO₂ - oglekļa dioksīds
DBH - koku caurmērs 1,3 m augstumā
DEM - digitālais virsmas modelis
DOC - izšķīdušais organiskais ogleklis
EK - Eiropas Komisija
ekv. - ekvivalenti
ES - Eiropas Savienība
ES - Eiropas Savienība
Gg - gigagrami
GNSS - Globālās navigācijas satelītu sistēmas
IPCC - Starpvalstu klimata pārmaiņu padome
LiDAR - Atrāšana un attāluma noteikšana ar gaismu
LVM - AS "Latvijas valsts meži"
MAPE - vidējās vērtības vidējā kvadrātiskā kļūda
MARL - meža apsaimniekošanas references līmenis
MPS - Meža pētīšanas stacija
MRM - Meža resursu monitorings
N₂O - dislāpekļa oksīds
NDVI - normalizēts atšķirīgās veģetācijas indekss
PPK - pēcapstrādes korekcija
r - korelācijas koeficients
R² - determinācijas koeficients
RMSE - vidējās vērtības vidējā kvadrātiskā kļūda
RTK - reālā laika korekcija
SB - stumbra biomasa
SEG - siltumnīcefekta gāzes
UNFCCC - Apvienoto nāciju konvencija par klimata pārmaiņām
ZIZIMM - zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība
WEM – *with existing measures* (SEG emisiju prognoze ar esošajām darbībām)
HWP – koksnes produkti
FRL – *forest reference level* (meža references līmenis)

IEVADS

Pētījuma trešajā etapā turpināta programmas “Oglekļa aprīte meža ekosistēmā” uzdevumu īstenošana. Programma sastāv no astoņiem savstarpēji saistītiem pētījumiem, kas vērsti uz siltumnīcefekta gāzu (SEG) inventarizācijas un prognožu sistēmas zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektorā pilnveidošanu, izstrādājot un integrējot LVMI Silava sadarbībā ar Zemkopības ministriju un citām institūcijām gatavojamajos ziņojumos oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes un N₂O un CH₄ emisiju no augsnes aprēķinus.

Pētījuma “Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem” uzdevums ir zinātniskās literatūras analīze par biomasas aprēķina metodēm un oglekļa satura izmaiņām dzīvo koku biomasā, kā arī nacionālā meža resursu monitoringa (MRM) parauglaukumu datu apstrāde un dzīvo koku biomasas aprēķini, balstoties uz Latvijai piemērotiem individuālu koku biomasas vienādojumiem izplatītākajām koku sugām.

Pētījuma “SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana” mērķis ir būtiski samazināt SEG inventarizācijas datu nenoteiktību un palielināt aprēķinu rezultātu un darbību datu precizitāti, modelējot mežizstrādes, atmežošanas un citu zemes izmantošanas veidu maiņas ietekmi uz SEG emisijām, kā arī klimata izmaiņu mazināšanas darbību ietekmes novērtēšanas un prognozēšanas precizitātes palielināšana. Pētījuma uzdevums ir izmantot dažādus datu avotus, tajā skaitā Copernicus, MRM, augstas izšķirtspējas LiDAR dati un valsts uzturētās LPIS (*Land parcel information system*) datu bāzes un mašīnmācības metodes, lai uzlabotu SEG emisiju aprēķinu metodes.

Pētījuma “Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana” mērķis ir izstrādāt metodi stumbra trupes ietekmes uz dzīvo koku biomasas raksturošanai, kā arī trupes ietekme uz kokaudžu oglekļa uzkrājumu vienādojumos. Pētījuma sagaidāmais rezultāts ir vienādojumi Latvijas SEG inventarizācijas sistēmas un prognožu modeļu pilnveidošanai, raksturojot oglekļa uzkrājumu visās oglekļa krātuvēs un CO₂ emisijas, kas veidojas dzīvo koku trupēšanas rezultātā.

Pētījuma “SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā” mērķis ir pamatojuma izstrādāšana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstenošanai meža apsaimniekošanā nacionālo neitralitātes mērķu sasniegšanai. Pētījuma sagaidāmais rezultāts ir pētījuma ietvaros identificēto klimata pārmaiņu mazināšanas darbību SEG emisiju samazināšanas un CO₂ piesaistes palielināšanas potenciāla un sociāli ekonomiskais novērtējums, kas apkopots klimata pārmaiņu mazināšanas darbību katalogā meža apsaimniekošanai.

Pētījuma “Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti izpēte” mērķis ir izstrādāt rekomendācijas dažādu meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas metožu pielietošanai klimatneitralitātes mērķu sasniegšanai un metodes meža ieaudzēšanas un ilggadīgo stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti raksturošanai, balstoties uz līdz šim īstenoto pētījumu rezultātiem.

Pētījuma “Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai” uzdevums ir mašīnmācības metodes izstrādāšana kokmateriālu iznākuma prognozēšanai. Pētījumā vērtējamas arī saudzīgas mežizstrādes metodes, kas ļauj mazināt koksnes bojājumus un palielināt vērtīgo kokmateriālu veidu iznākumu, lai nodrošinātu lielāku saražoto koksnes produktu iznākumu. Pētījumā vērtējama arī kompaktklases tehnikas un citu risinājumu pielietošana atstājamo koku bojājumu un tehnikas radīto SEG emisiju samazināšanai kopšanas cirtēs.

Viens no galvenajiem sagaidāmajiem pētījuma rezultātiem ir metode koksnes produktu iespējamās ietekmes uz SEG emisijām analīzei.

Pētījuma “Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma” mērķis ir izstrādāt SEG emisiju modelēšanas instrumentus meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti prognozēšanai un rekomendācijas lēmuma pieņemšanas atbalstam, plānojot ar mitruma režīma regulēšanu saistītu klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstenošanu.

Pētījuma “Oglekļa bilance vecās mežaudzēs” mērķis ir raksturot oglekļa uzkrājumu bioloģiski vecās, saimnieciskās darbības neietekmētās bērza, apses un skujkoku mežaudzēs, iegūstot datus, kas integrējami kopējā mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodikā LVM apsaimniekotajiem mežiem. Pētījuma sagaidāmais rezultāts ir CO₂ piesaistes dinamika laikā un atšķirības audzēs ar dažādām augsnēm, detalizētākas rekomendācijas mežsaimniecībai.

Pētījuma pirmajā etapā 2021. gadā izstrādāta pētījuma metodika lielākajai daļai no pētījumiem, kā arī uzsākta izmēģinājumu objektu atlase un ierīkošana. Uzsākot pētījumu, apkopota informācija, kas pieejama par klimata pārmaiņu mazināšanas darbībām, kas īstenojamas meža zemēs. Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem nozīmīgākās darbības, kas palīdz samazināt SEG emisijas un palielināt CO₂ piesaisti, ir organisko augšņu apmežošana un meža augšanas apstākļu uzlabošana, ienesot augsnē biogēnos elementus (turpmāk meža mēslošana).

Pētījuma otrajā etapā 2022. gadā lielākajā daļā no pētījumiem precizētas izpētes metodes, uzsākta izmēģinājumu objektu atlase un ierīkošana, kā arī empīrisku datu ieguve un analīze. Pētījuma ietvaros izstrādāti un aprobēti vienkāršoti vienādojumi biomasas un oglekļa uzkrājuma aprēķiniem valsts mežos. Koku biomasas prognozēšanai, izmantojot LiDAR un citus datus, aprobēts *xgbTree* algoritms virszemes, pazemes un stumbra biomasas prognozēšanai. Izstrādāto metodi var integrēt SEG inventarizācijas sistēmā kā datu verificācijas instrumentu un oglekļa uzkrājuma raksturošanai zemes īpašumu līmenī. Pētījumā aprobēta iepriekšējā etapā izstrādātā metodika koku skaita un augstuma prognozēšanai, izmantojot LiDAR datus, un metodika zemes izmantošanas monitoringam, izmantojot **datus** no *Sentinel2*. Turpināts darbs serdes trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu biomasā raksturošanai lapu koku audzēs, un izstrādāti vienādojumi trupes izplatības un stumbra biomasas samazinājuma sakarības raksturošanai. Trupes ierobežošanas darbību ietekmi lokālā līmenī pagaidām nevar novērtēt, jo darbību ietekme atkarīga no daudziem ilgstošā laikā mežaudzi ietekmējošiem faktoriem, taču, ņemot vērā lielo potenciālo ietekmi, darbības serdes trupes ierobežošanai, it īpaši apšu audzēs, ir **būtiskas** klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu sasniegšanas kontekstā. Pētījumā izstrādāti vienādojumi kopšanas ciršu ietekmes uz CO₂ piesaisti kokaugu biomasā aprēķinam. Pētījumā novērtēta meža ieaudzēšanas īstermiņa (12-15 gadi) ietekme uz oglekļa uzkrājumu koku biomasā un augsnē, nodrošinot skaitlisku novērtējumu **šai** klimata pārmaiņu mazināšanas darbībai. Ierīkoti jauni izmēģinājumu objekti un uzsākts gāzu apmaiņas monitorings SEG emisiju raksturošanai āreņos un slapjajņos, dziļvagu ierīkošanas efekta novērtējums, atjaunojot izcirtumus purvaiņos, un SEG emisijas no risēm izcirtumos ar kūdras augsni. Uzsākta izmēģinājumu objekta ierīkošana oglekļa aprites raksturošanai apmežotās platībās, tajā skaitā kūdras augsnēs, un kokaugu stādījumos minerālaugsnēs. Meža zemēm adaptēts modelis meliorācijas grāvju tehniskā stāvokļa raksturošanai un turpināts izšķīdušā organiskā oglekļa emisiju faktoru izstrādāšanas darbs. Turpināta datu ievākšana oglekļa uzkrājuma raksturošanai vecās audzēs ar kūdras augsnēm, tajā skaitā secināts, ka hidrotehniski meliorētās platībās bērza audzēs oglekļa uzkrājums ir par 28% lielāks nekā nemeliorētās platībās, kā arī bioloģiski vecās bērza audzēs oglekļa uzkrājums ir mazāks nekā jaunās audzēs.

1. MEŽAUDŽU OGLEKĻA PIESAISTES UN UZKRĀJUMA APRĒĶINA METODIKA LVM APSAIMNIEKOTAJIEM MEŽIEM

1.1. Biomasas un oglekļa uzkrājuma novērtēšanas metodes izstrādāšana

Darba uzdevuma īstenošana pabeigta iepriekšējā etapā. Pētījuma ietvaros izstrādāta kokaudžu līmeņa biomasas aprēķina metodika un sagatavota publikācija¹ kokaudzes biomasas raksturošanai, izmantojot kopējās krājas un valdošās sugas krājas relatīvā īpatsvara rādītājus. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, trešā etapa pārskatā izmaiņas nav veiktas.

1.2. Biomasas un oglekļa uzkrājuma novērtēšanas metodes LVM plānošanas sistēmās

Darba nolūks 2023. gadā ir izstrādāto vienādojumu aprobēšana [LVM plānošanas sistēmās un LVMI Silava SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā](#). Pētījuma ietvaros veikti kamerālie darbi, kas ietver 2022. gadā izstrādāto vienādojumu oglekļa uzkrājuma aprēķināšanai audzes līmenī [integrēšanu LVM meža datu uzturēšanas programmā GEO, kā arī mežsaimniecības modelēšanai LVM ilgtermiņa plānošanas modelī un LVMI Silava SEG prognožu sistēmā](#), pārrēķinot oglekļa uzkrājumu dažādos prognožu scenārijos. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā precizēts klimata neitralitātes sasniegšanai īstenojamo pasākumu potenciālās ietekmes aprēķins, [LVMI Silava SEG prognožu sistēmā](#) izslēdzot no aprēķina koksnes ķīmiskās pārstrādes rūpnīcas izbūvi, kā arī neproduktīvo mežaudžu [nomaiņu](#), kas rada salīdzinoši nelielu grūti prognozējamu pozitīvu efektu, ņemot vērā iespējami atšķirīgo sākuma stāvokli dažādās audzēs. Pētījumā nav vērtēta arī mitrāju atjaunošanas ietekme, jo šim pasākumam, kombinējot meža ieaudzēšanu un pārslapināšanu, var būt savstarpēji kompensējoša, neitrāla ietekme uz SEG emisijām. Pārskatam pievienota metodika klimata pārmaiņu mazināšanas efekta aprēķinam, kas papildināta ar izpētes projektos LIFE OrgBalt un “CO₂ piesaistes un SEG emisiju mazināšanas pasākumi meža apsaimniekošanā un ietekmes novērtēšanas sistēma” ietvaros sagatavotajiem pagaidu augsnes SEG emisiju faktoriem un ietekmes uz koksnes produktu iznākumu, kā arī aizstāšanas efekta aprēķiniem.

Iepriekšējā pētījuma etapā izstrādātie biomasas vienādojumi integrēti [LVMI Silava prognožu sistēmā](#), salīdzinot scenārijus, kas paredz esošās situācijas saglabāšanos, un īstenojot darbības, kas vērstas uz klimata neitralitātes mērķu sasniegšanai zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektorā. Izstrādātie vienādojumi sasaistīti ar [LVMI Silava AGM \(augšanas gaitas modelis\) rīku](#). Izmantojot AGM rīku, raksturotas šādas klimata pārmaiņu mazināšanas darbības:

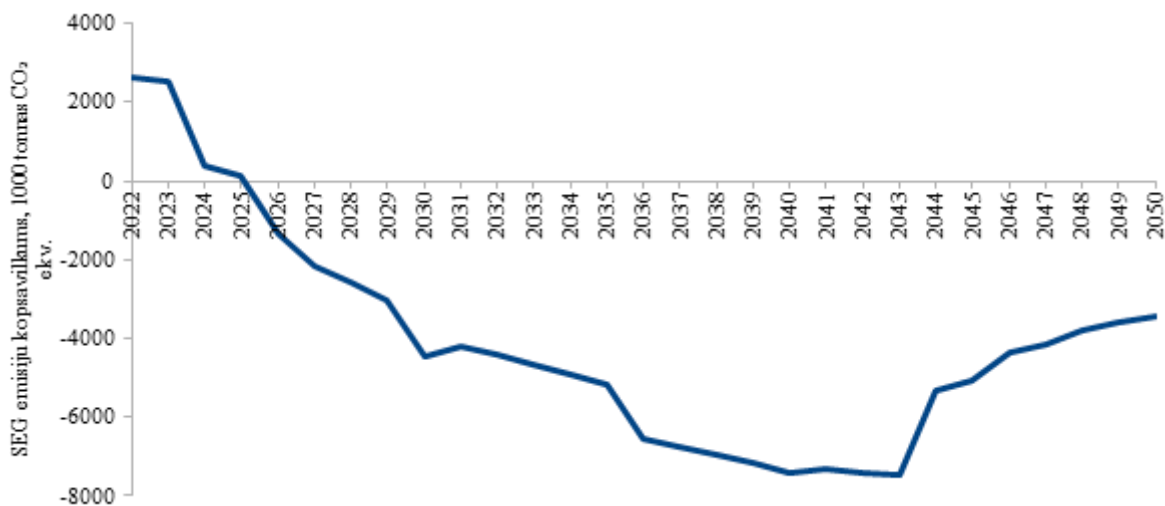
1. Mazāk vērtīgu lauksaimniecības zemju (LIZ) ar minerālaugsnēm apmežošana;
2. Lauksaimniecības zemju (LIZ) ar organiskajām augsnēm mērķtiecīga apmežošana;
3. Organisko augšņu lauksaimniecībā izmantojamās zemēs (LIZ) pārslapināšana un apmežošana;
4. Hidroloģiskā režīma uzlabošana platībās ar pārmitrām minerālaugsnēm;
5. Meža mēslošana un koksnes pelnu izmantošana;
6. Kokaugu grupas ganībās ārpus meža zemēm.

¹ Liepiņš, J., Lazdiņš, A., Kalēja, S., & Liepiņš, K. (2022). Species composition affects the accuracy of stand-level biomass models in hemiboreal forests. *Land*, 11(1108), 1–14. <https://doi.org/10.3390/land11071108>.

Papildus vērtētās darbības ir kokaugu joslu stādījumu audzēšana meliorācijas sistēmām pieguļošajās platībās LIZ un kokaugu stādījumi notekūdeņu dūņu izmantošanai. Aprēķinu metodika pievienota 1. un 2. pielikumā.

Klimata neitralitātes mērķu sasniegšanas scenārijā konstatēts, ka SEG emisiju prognozes aprēķinā ietvertās darbības nodrošina būtisku SEG emisiju samazinājumu pēc 2025. gada (att. 1.1). Pēc 2040. gada prognozēts CO₂ piesaistes samazinājums saistīts ar to, ka kokaugu stādījumi sasniedz saimnieciskās izmantošanas vecumu un pēc mežizstrādes CO₂ piesaiste atjaunotajās platībās pirmajos gados nekompensē CO₂ emisijas no koksnes produktiem un CO₂ iznesi ar koksnes biokurināmo, ko uzskaita kā aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā. CO₂ piesaistes samazinājumu ilgtermiņā veicina arī mežaudžu novecošana un saimnieciskās darbības ierobežojumi 30% meža zemju, tāpēc, saglabājoties prognozētajiem saimnieciskās darbības ierobežojumiem meža zemēs, pēc 2050. gada būs nepieciešamas papildus darbības pozitīvas krājas pieauguma izmaiņu tendences saglabāšanai.

Īstenojot klimata pārmaiņu mazināšanas darbības, kas ietvertas Informatīvajā ziņojumā par ZIZIMM virzību uz klimatneitralitāti, pilnā apjomā, 2030. gadā neto SEG emisijas samazināsies līdz -2482 Gg CO₂ ekv., 2040. gadā – līdz -5417 Gg CO₂ ekv. un 2050. gadā – līdz -1461 Gg CO₂ ekv. No aprēķina izņemta koksnes šķiedras rūpnīcas būvniecība, kas līdz 2030. gadam nodrošinātu SEG emisiju samazinājumu par 1 milj. tonnām un turpmāk būtu emisiju neitrāla.



Attēls 1.1. SEG emisiju prognoze ZIZIMM sektorā

Salīdzinot rezultātus, kas iegūti ar individuālu koku biomasas raksturošanai paredzētiem vienādojumiem (Liepiņš u.c., 2017, 2021) un vienādojumiem, kas raksturo mežaudzi (Liepiņš u.c., 2022), konstatēts, ka ikgadējā prognožu atšķirība nepārsniedz 5%. Atšķirība starp ikdienišķo scenāriju un alternatīvajā scenārijā, kas paredz SEG emisiju samazināšanas pasākumu īstenošanu, **aprēķinātais** oglekļa uzkrājums, izmantojot pētījumā izstrādātos biomasas vienādojumus, 2025.-2050. gadā pieaug par 1,8%, taču atšķirība nav uzskatāma par būtisku. Atšķirības iemesls ir lielāka piesaiste dzīvajā kokaugu biomasā. Oglekļa uzkrājuma raksturošanai izmantoti Latvijā veiktos pētījumos iegūti dati (Bārdule u.c., 2021).

Pētījumā izstrādātās SEG emisiju novērtēšanas metodikas iekļaušana AS "Latvijas valsts meži" plānošanas sistēmā palīdzēs novērtēt uzņēmuma iespējamo ieguldījumu, īstenojot darbības, kas Enerģētikas un klimata politikas plānā iekļautas ZIZIMM sektora klimata neitralitātes mērķu sasniegšanā, izmantojot ar nacionālo SEG prognožu sistēmu harmonizētu metodiku.

2. SEG INVENTARIZĀCIJAS UN PROGNOŽU DATU MODELĒŠANAS RĪKU PILNVEIDOŠANA

2.1. Metodikas izstrādāšana koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai Latvijas teritorijā un oglekļa uzkrājuma dinamikas modelēšanai, izmantojot attālās izpētes datus un mašīnmācības metodes

Hemiboreālās joslas mežus raksturo to unikālā ekoloģiskā vērtība, tāpēc sugu sastāva monitorings un kartēšana ir svarīga dažādiem zinātniskajiem un apsaimniekošanas procesiem, bioloģiskās daudzveidības modelēšanā (Wallis u.c., 2017), traucējumu, ugunsgrēku un sausuma monitoringā (Ballanti u.c., 2016), kā arī biomasas vai oglekļa aplēsēs (Pimple u.c., 2017). Precīza informācija par koku sugu sastāvu ir svarīga arī meža apsaimniekošanas stratēģiju izstrādē (Nink u.c., 2019) un iespējamajās klimata pārmaiņu ietekmes novērtēšanā (Lindner u.c., 2010).

Datus par koku sugu sastāvu mežā tradicionāli iegūst lauka mērījumos, taču plašās teritorijās to ievākšana ir laikietilpīga un prasa daudz cilvēka un finansiālos resursus, turklāt tradicionālās nogabalu vai īpašumu līmeņa meža resursu uzskaites sistēmas parasti ietver sistemātiskas kļūdas, kas saistītas ar saimniecisku lēmumu ietekmi uz inventarizācijas rezultātiem. Attālā izpēte ļauj efektīvāk iegūt informāciju par sugām, to telpisko izplatību un datu atjaunošanu iespējams veikt ar lielāku regularitāti (Kangas u.c., 2018).

Izmantojot brīvpieejas multispektrālās satelītainas no Landsat un *Sentinel2* misijām, var nodrošināt lielu teritoriju kartēšanu vidējas klases (10-30 m) telpiskās izšķirtspējas robežās. Iepriekšējos pētījumos dažādu sugu izšķiršana satelītainās sniegusi salīdzinoši augstu precizitāti (81,7-88,9%, Bolyn u.c., 2018; Grabska u.c., 2020; Hościło & Lewandowska, 2019). Turklāt, izmantojot fenoloģisko informāciju, sugu klasificēšanas algoritmu precizitāte uzlabojas (Key, 2001). *Sentinel2* MRM sensors nodrošina 13 spektrālās joslas, un jo īpaši sarkanās malas (*red edge*) un SWIR joslas ir nozīmīgas attiecībā uz veģetācijas īpašību atšķirību noteikšanu (Puletti u.c., 2018).

Lielu un sarežģītu datu kopu apstrādei, kas sastāv no daudz multitemporāliem un multispektrālajiem attēliem, šobrīd plaši izmanto mašīnmācīšanās (ML) algoritmi. Šīs metodes ir efektīvas sarežģītu, augstas dimensijas datu klasifikācijai, kas nodrošina daudzfaktoru, nelineāru un neparimetrisku klasifikāciju (Lary u.c., 2016; Maxwell u.c., 2018). Populārākie attālās izpētes datu klasificēšanas algoritmi ir *Random Forests* (RF), *Support Vector Machines* (SVM) un *Extreme Gradient Boosting* (XGB) (Fassnacht u.c., 2016; Georganos u.c., 2018). Šie algoritmi sevi pierādījuši dažādu koku sugu, un citu kultūraugu klasificēšanā, izmantojot dažādas izšķirtspējas multispektrālās satelītainas (Georganos u.c., 2018; Li u.c., 2018).

Šī pētījuma mērķis ir izstrādāt sešu dominējošo koku sugu telpiskā izvietojuma karti Latvijas teritorijai, balstoties uz dažādu periodu multispektrālajām satelītainām un mašīnmācīšanās algoritmiem.

2.1.1. Metodika

Pētījuma teritorija aptver visu Latviju. Datu apstrādei izmantota LVM nogabalu datu bāze, LAD (Lauku atbalsta dienesta) lauku bloku informācija, LIFE ReStore izstrādāto kūdrāju dati un LGIA (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras) ūdens objektu dati. Meža zemēs mežaudžu nogabali reprezentē 6 dominējošās koku sugas (priede (*Pinus sylvestris* L.), egle (*Picea abies*), bērzs (*Betula pendula* Roth), melnalksnis (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), apse (*Populus tremula* L.) un baltalksnis (*Alnus incana* (L.) Moench)), un citas sugas, kā arī dažādu sugu jaunaudzes. Pārējās zemes kategorijas (lauksaimniecībā izmantojamās zemes, ūdeņi un purvi) reprezentē nemeža zemes. Datu apstrādes procesā izveidotas divas datu kopas, kur viena paredzēta „meža maskas” ģenerēšanai

(24134 punkti), bet otra koku sugu kartēšanai teritorijās, kuras klāj „meža maska” (6194 punkti). Datu apstrādes procesā izmantotas arī *Sentinel2* satelītainu mozaikas (att. 2.1). Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, papildināta metodika un rezultātu analīzes sadaļa.



Attēls 2.1. Pētījuma pilotteritorija

„Meža maskas” izstrādei pēc nejaušības principa atlasīti 10000 LVM nogabalu datubāzes poligoni, 10000 LAD lauku poligoni, 2948 par 1 ha lielāki ūdens objekti un 238 LIFE ReStore projekta kūdras izstrādes vietu parauglaukumi. LVM, LAD un ūdens objektu poligoniem ģenerēti centroīdi, bet purvos esošajiem parauglaukumiem katram ģenerēti 5 nejauši punkti. Visi ģenerētie punkti apvienoti vienā datu kopā – *meža maska*.

Koku sugu kartēšanai izveidota atsevišķa datu kopa, kura sastāv no 6194 ierakstiem. Šīs datu kopas izveidošanai atlasīti nogabalu dati visbiežāk sastopamajām meža koku sugām Latvijā. Atlasīti tādi nogabali, kuros mežaudzes vecums ir vismaz 20 gadi, un valdošās sugas īpatsvars ir vismaz 90%. Katrai sugai atlasīti līdz 1000 nogabali. Tāpat atlasīti arī 1000 nogabali, kuros mežaudzes vecums ir līdz 10 gadi, neatkarīgi no koku sugas. Šie nogabali reprezentē jaunaudzes. Visiem atlasītajiem nogabaliem ģenerēti centroīdi un tie apkopoti datu kopā – *sugu dati*.

Pētījumam nepieciešamie multispektrālie satelītdati apstrādāti *Google Colaboratory* vidē, izmantojot *s2cloudless* (Zupanc, 2017) algoritmu, iegūstot multispektrālas satelītainu mozaikas, kuru izšķirtspēja ir 10 * 10 metri un, kurās atainotas konkrēta laika perioda Zemes virsmas atstarojumu pikseļu vērtības (mediāna), noņemot mākoņu un mākoņu ēnu ietekmi. Pētījuma vajadzībām visai Latvijas teritorijai sagatavotas 120 karšu lapas ar multispektrālajām satelītainām 2021. gada pavasara (aprīlis – maijs), vasaras (jūlijs – augusts) un rudens (oktobris – novembris) periodiem.

Tālāk multispektrālās satelītainu mozaīkas augšupielādētas QGIS vidē, kur ar paraugošanas algoritmu datu kopu *meža_maska* un *sugu_dati* punktiem, noteiktas katra spektrālā kanāla vērtības. Tāpat, šiem punktiem pievienota informācija par dažādiem ar zemes virsmas reljefu un augsnes mitrumu saistītiem indeksiem, piemēram, augstums virs jūras līmeņa, nogāzes slīpums, normalizētais augstums, augsnes mitruma karte, gruntsūdens dziļuma karte u.c. Visas atsevišķās rastru mozaīkas pa karšu lapām savienotas vienā multi-kanālu rastrā, ko tālāk izmantot zemes virsmas klasificēšanas un koku sugu prognozēšanas procesā. Kopējais izmantoto attālās izpētes datu slāņu saraksts atainots zemāk:

1. Sp21_b(1,2,3,...11,12) – *Sentinel2* multispektrālās ainas 2021 pavasaris, kanāli no 1 līdz 12;
2. Su21_b(1,2,3,...11,12) – *Sentinel2* multispektrālās ainas 2021 vasara, kanāli no 1 līdz 12;
3. Au21_b(1,2,3,...11,12) – *Sentinel2* multispektrālās ainas 2021 rudens, kanāli no 1 līdz 12;
4. Conti_WGS – kontinentalitāte;
5. DTW_10_WGS – gruntsūdens dziļuma karte;
6. NH_WGS – normalizētais augstums;
7. WAM_WGS – mitro vietu karte;
8. Slope_WGS – nogāzes slīpums;
9. DEM_WGS – digitālais augstuma modelis.

Nākamajā posmā datu statistiskā analīze veikta R (R Core Team, 2022) vidē, kur *meža_maska* un *sugu_dati* datu kopu informācija ar visiem pievienotajiem datiem izmantota mašīnmācīšanās algoritma apmācīšanā. Lielākā daļa jeb 80% no datu kopas izmantoti algoritma apmācīšanas procesam, bet 20% validācijai. Lai **nodrošinātu** vienādu skaitu parauglaukumu katrai no klasifikācijas klasēm, veikts *upsampling* process, tādējādi nodrošinot vienādu parauglaukumu skaitu katrai no klasifikācijas klasēm. Lai izvēlētos precīzākos mašīnmācīšanās parametrus, veikta 5-kārtēja šķērsvalidācija un algoritma apmācīšanai izmantots *xgbTree* modelis no *Caret* (Kuhn, 2008a) bibliotēkas. Labāko parametru atrašanai izvēlētie lielumi pievienoti tab 2.1.

Tabula 2.1. Tune grid parametri

Parametrs	Vērtības
Nrounds	5; 10; 25; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 750; 1000
Maks_depth	2; 3; 4; 5; 8; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50
Eta	0,3
Gamma	0
Colsample_bytree	1
Min_child_weight	1
subsample	0,5

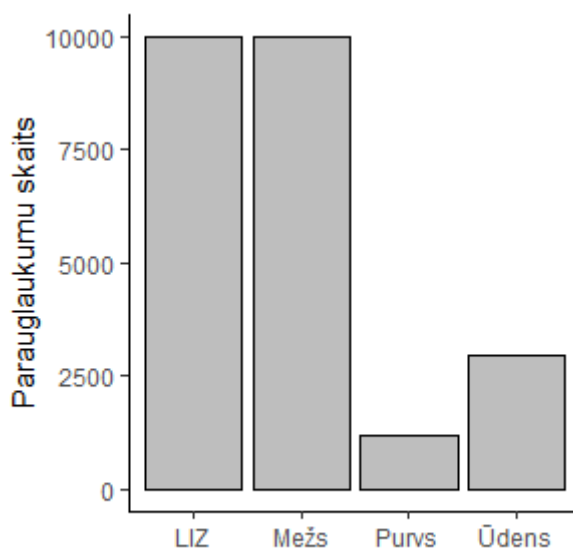
Izmantojot mašīnmācīšanās algoritmus, izveidoti divi modeļi, no kuriem pirmais paredzēts zemes virsmas klasificēšanai meža, lauksaimniecības, ūdens un purva klasēs. Šāda darbība ļauj iegūt klasificētu rastru, kuru izmantot mežu nošķiršanai no pārējām zemes virsmas klasēm. Otrs modelis katra pikseļa ietvaros prognozē tajos sastopamās koku sugas. Šis modelis tālāk pilnveidots, veicot zemes izmantošanas veidu klasifikāciju.

2.1.2. Rezultāti

„Meža maskas” izveides procesā, izmantojot *xgbTree* algoritmu un 2021. gadā uzņemtās *sentinel-2* satelītainas, veikta zemes virsmas klasificēšana. Kopējais katras klases parauglaukumu skaits atainots att. 2.2. 80% no šīs datu kopas nodalīti mašīnmācīšanās modeļa apmācīšanai un, lai

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

panāktu balansētu datu kopu, veikta mākslīga datu pavairošana izmantojot *upSample* algoritmu. Modeļa apmācīšanas procesā katrā klasē izmantoti 7994 parauglaukumi.

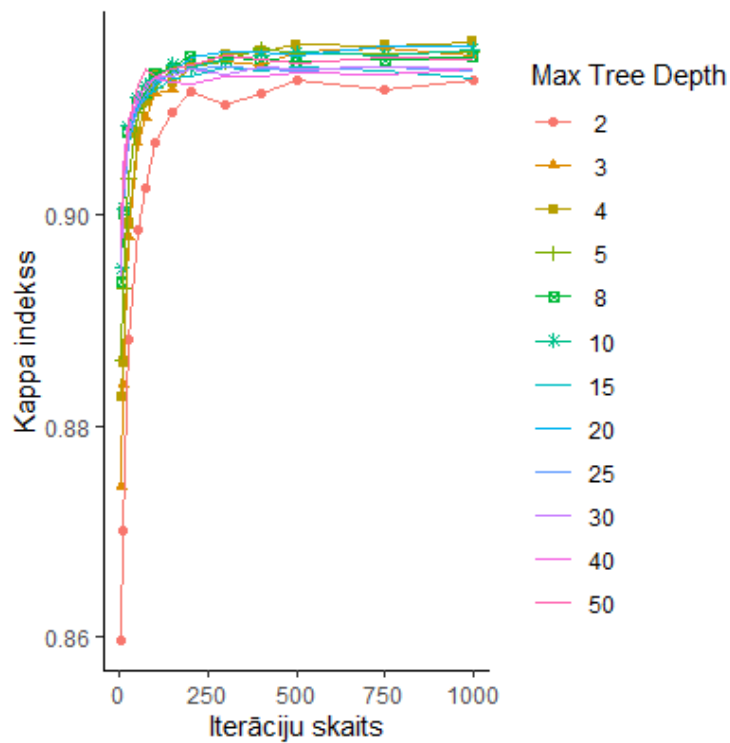


Attēls 2.2. Zemes virsmas klasificēšanai izmantoto parauglaukumu skaits

Šķērsvalidācija parādīja, ka visprecīzākie rezultāti iegūstami, ja kā maksimālo koka dziļumu norāda vērtību 4, bet iterāciju skaitu 500 (att. 2.3). Pie šādiem ievades parametriem absolūtā precizitāte sasniedz vērtību 0,95, savukārt Kappa indekss sasniedz 0,92. Atsevišķi pa klasēm klasifikācijas precizitāte (*sensitivity*) atainota tab. 2.2.

Tabula 2.2. Klasifikācijas precizitāte zemes lietojuma veidiem

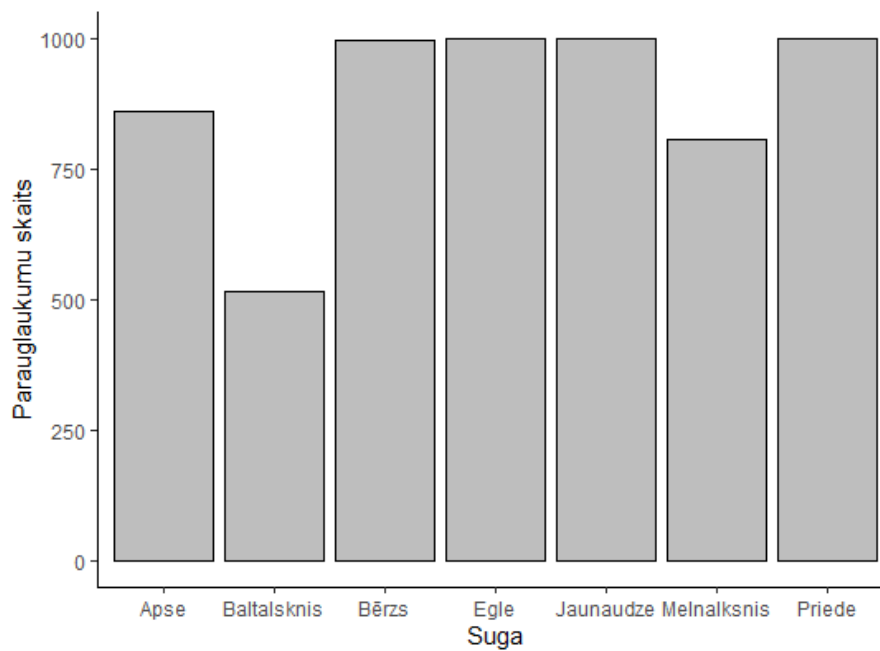
Klase	Precizitāte
Mežs	0.96
Lauksaimniecībā izmantojama zeme	0.98
Ūdens	0.91
Purvs	0.57



Attēls 2.3. Šķēršvalidācijas rezultāti meža maskai

Koku sugu telpiskās izplatības kartēšanai izmantoti 6174 parauglaukumi, kuru sadalījums pa klasēm atainots att. 2.4. Priedei, eglei un bērzam atlasīti vismaz 1000 prasībām atbilstoši meža nogabali. Melnalksnim, apsei un baltalksnim nebija iespējams atlasīt izvirzītajiem nosacījumiem atbilstošu parauglaukumu skaitu (< 1000), tāpēc modeļa apmācīšanai izmantoti visi pieejamie mežu nogabali. Datu kopai veikts *upSampling* process, kā rezultātā mašīnmācīšanās modeļa apmācīšanai katras klases pārstāvju skaits sasniedz 800.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



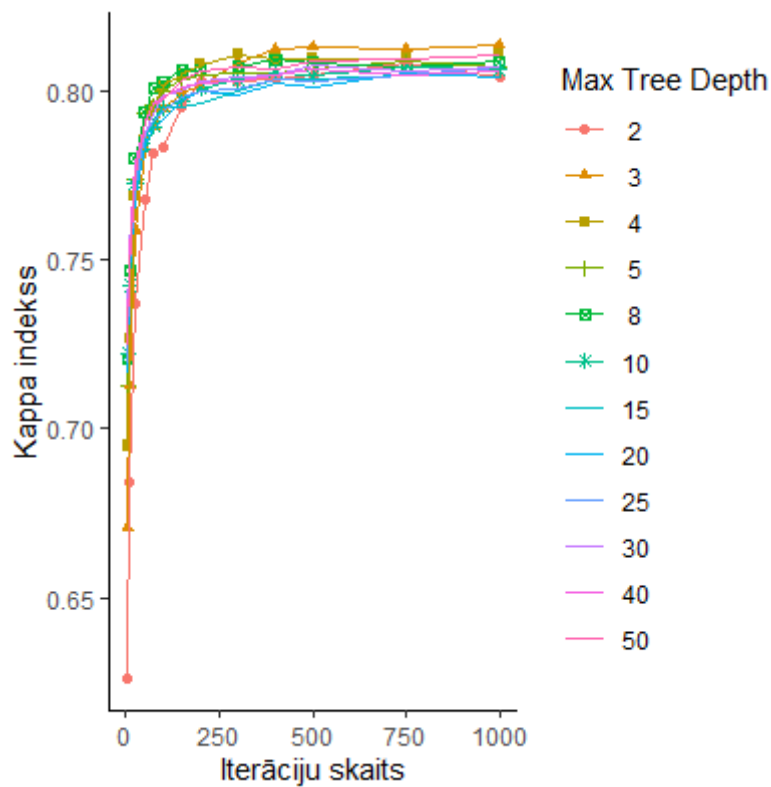
Attēls 2.4. Parauglūkumu sadalījums pa koku sugām

Šķērsvalidācija parādīja, ka visprecīzākie rezultāti iegūstami, ja kā maksimālo koka dziļumu norāda vērtību 1000, bet iterāciju skaitu; attiecīgi, 3 (att. 2.5).

Pie šādiem ievades parametriem absolūtā precizitāte sasniedz vērtību 0,84, savukārt Kappa sasniedz 0,81. Atsevišķi pa klasēm klasifikācijas precizitāte (*sensitivity*) atainota tab. 2.3.

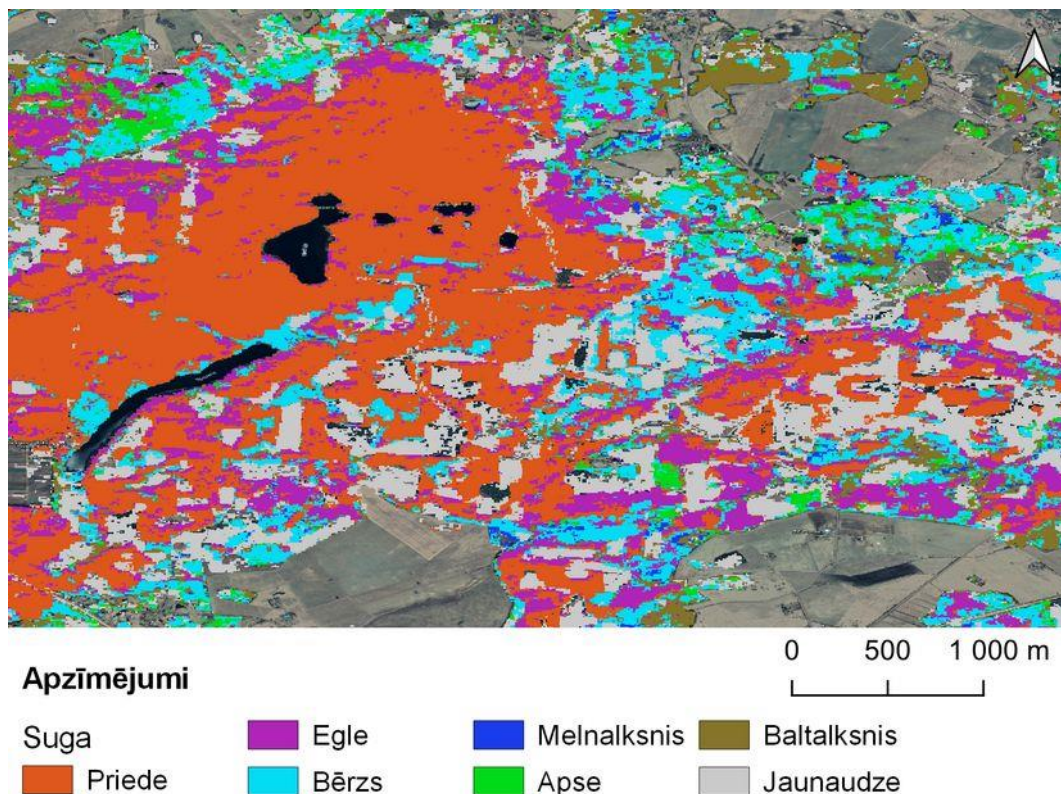
Tabula 2.3. Klasifikācijas precizitāte dažādām koku sugām

Klase	Precizitāte
Jaunaudze	0,88
Priede	0,92
Egle	0,84
Bērzs	0,79
Melnalksnis	0,79
Apse	0,80
Baltalksnis	0,69



Attēls 2.5. Šķērsvalidācijas rezultāti sugu atpazīšanā

Balstoties uz izstrādātajiem mašīnmācīšanās modeļiem meža teritoriju izšķiršanai un koku sugu atpazīšanai, kā arī attālās izpētes datu mozaīkām (*Sentinel2* un uz ALS datiem bāzētie augsni un zemes virsmas reljefu raksturojošie indeksi), visai Latvijas teritorijai izveidota koku sugu telpiskās izplatības karte ar horizontālo izšķirtspēju 10 m. Kartes piemērs redzams att. 2.6. Kartes dati apskatāmi un lejupielādējami izmantojot WMS (*Web Map Service*) servisu: <https://silava.forestradar.com/geoserver/silava/wms>.



Attēls 2.6. Koku sugu izplatības kartes izgriezums

2.1.3. Secinājumi

Sākotnēji pētījuma vajadzībām izveidota „meža maska”, klasificējot *Sentinel2* multispektrālo satelītainu mozaikas. Klasifikācijas kopējā precizitāte sasniedza 95% (Kappa indekss 0,92). Meža teritorijas, tai skaitā atjaunošanas cirtes un jaunaudzes, atpazītas ar 96% precizitāti.

Koku sugu dešifrēšanas modelis sasniedza 85% precizitāti (Kappa indekss – 0,81). Visprecīzāk atpazītas atjaunošanas cirtes/jaunaudzes, kā arī priežu un egļu audzes (precizitāte virs 84%). Lapu koku audzes, atsevišķi pa sugām, atpazītas vidēji ar 80% precizitāti, izņemot baltalkšņa audzes (69%). Relatīvi mazāka precizitāte skaidrojama ar lielāku koku sugu skaitu lapu koku kategorijā, kā ar mazāku skaitu kritērijiem atbilstošu mežaudžu nogabalu pieejamību mašīnmācīšanas modeļa apmācīšanas procesā.

Rezultējošajā kartē izšķirtas 7 klases, kur 6 klases ietver valdošās koku sugas, bet 1 klase ietver jaunaudzes un izcirtumus. Meža nogabali, kuros valdošā koku suga nepārstāv kādu no 6 valdošo koku sugām, klasificēti kā vieni no tiem, atkarībā no to vainagu spektrālajām īpašībām *Sentinel2* multispektrālajās satelītainās.

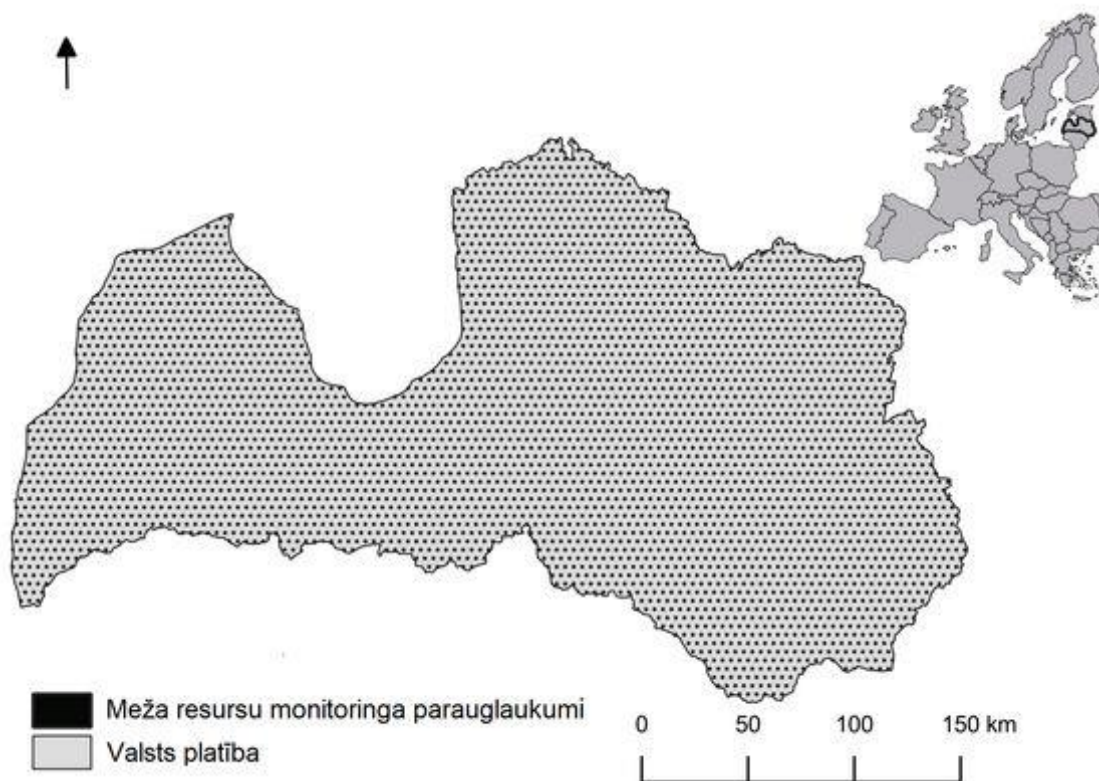
2.2. Metodikas koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai integrēšana SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā

2023. gadā turpināta metodikas izstrādāšana zemes izmantošanas maiņas darbību datu uzlabošanai SEG inventarizācijā, tajā skaitā zemes izmantošanas maiņas un saimnieciskās darbības ietekmes interpolācijas metodes izstrādāšana un priekšlikumu sagatavošana tās ieviešanai SEG inventarizācijas sistēmā. Turpinot 2022. gadā izstrādātās koncepcijas pilnveidošanu, kā ieejas dati mašīnmācīšanas algoritmu apmācīšanai izmantotas Meža resursu monitoringa (MRM) parauglaukumu precizētās koordinātas, kas nodrošina parauglaukuma centra identifikāciju ar centimetru precizitāti. Ņemot vērā to, ka MRM parauglaukumus var sadalīt mazākās vienībās jeb sektoros, algoritmu

apmācībai atlasīti tikai tie parauglaukumi, kur šāda sadalīšana nav notikusi un parauglaukums reprezentē vienu zemes izmantošanas veidu. Šī atlase nodrošina to, ka nav pieļautas neprecizitātes zemes izmantošanas veida raksturošanā, izmantojot pazīmes no robežjošām teritorijām. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā ir papildināta pētījuma metodika un sagatavots pārskats par sākotnējiem rezultātiem, kā arī priekšlikumi prognožu precizitātes pilnveidošanai apbūves teritorijām, citām zemēm un aramzemēs sētiem zālājiem.

Meža resursu monitorings (MRM) ir daļa no Latvijas mežu monitoringa programmas, kas gatavo statistisko informāciju par meža resursu pašreizējo stāvokli, kā arī to izmaiņām. Monitorings Latvijā uzsākts 2004. gadā, un to īsteno LVMI Silava. MRM sagatavotā informācija palīdz valsts un reģionālu līmeņu jautājumu risināšanā meža resursu pārvaldībā, kā arī sniedz iespēju veikt precīzu šo resursu ziņošanu starptautiskā mērogā. Visas Eiropas valstis izmanto MRM datus SEG inventarizācijā, nodrošinot neatkarīgu zemes izmantošanas un saimnieciskās darbības ietekmi uz SEG emisijām.

MRM parauglaukumi ir izkaisīti visā Latvijas teritorijā, to kopējais skaits ir 16156 gab. (att. 2.7). Katrs parauglaukums reprezentē 400 ha lielu valsts teritorijas daļu. Katru parauglaukumu uzmēra vienu reizi 5 gadu periodā jeb ciklā, fiksējot informāciju par zemes izmantošanu un kokaudzes taksācijas rādītājiem, ja norādītajā parauglaukumā aug koki. Pateicoties MRM periodiskai apsekošanai, var iegūt precīzu informāciju par zemes izmantošanas maiņu.



Attēls 2.7. Meža resursu monitoringa izvietojums valsts teritorijā

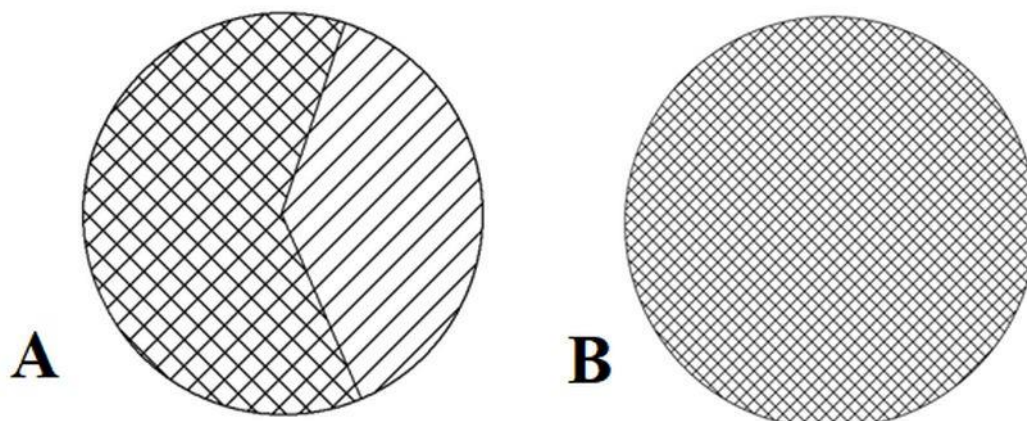
Katram parauglaukumam piešķirta Starpvalstu klimata pārmaiņu padomes (IPCC) vadlīnijās noteiktā zemes izmantošanas kategorija; attiecīgi, MRM izdalītās 58 zemes izmantošanas kategorijas sagrupētas 6 kategorijās (tab. 2.4.). IPCC iedalījums sniedz iespēju piesaistīt lielāku zemes kategoriju vērtību kopskaitu kādai zemes kategorijai, tādā veidā palielinot precizitāti, ar kādu noteikta zemes kategorija, izmantojot mašīnmācības metodi.

Tabula 2.4. MRM nacionālās zemes izmantošanas kategorijas un to iedalījums pēc IPCC kritērijiem

MRM ID	MRM zemes izmantošanas kategorija	IPCC zemes izmantošanas kategorija
10	Mežs	Mežs
11	Degums	Mežs
12	Iznīkusi audze	Mežs
13	Vējgāze	Mežs
14	Izcirtums	Mežs
141	Izcirtums	Mežs
21	Sūnu purvs	Mitrājs (neapsaimniekots)
22	Zāļu purvs	Mitrājs (neapsaimniekots)
23	Pārejas purvs	Mitrājs (neapsaimniekots)
31	Lauce	Zālājs
32	Meža dz. baroš. lauce	Aramzeme
33	viršājs	Zālājs
34	smiltājs	Citas zemes
35	Krūmājs	Zālājs
36	Augļu dārzs	Aramzeme
37	Plantācijas	Aramzeme
40	Pārplūstošs klajums	Mitrājs (neapsaimniekots)
41	Bebru appludinājums	Mitrājs (apsaimniekots)
51	Meža ceļš	Apbūve
52	Meža stiga	Apbūve
53	Meža grāvis	Apbūve
60	Aramzeme	Aramzeme
61	Zālājs	Zālājs
62	Mežs LS zemē	Mežs
63	Upe	Mitrājs (neapsaimniekots)
64	Aizaugusi LS zeme	Zālājs
65	Ezers, diķis	Mitrājs (neapsaimniekots)
66	LS grāvis	Apbūve
67	Autoceļš ar joslu	Apbūve
68	Dzelzceļš ar joslu	Apbūve
69	Karjers aizaudzis	Mitrājs (apsaimniekots)

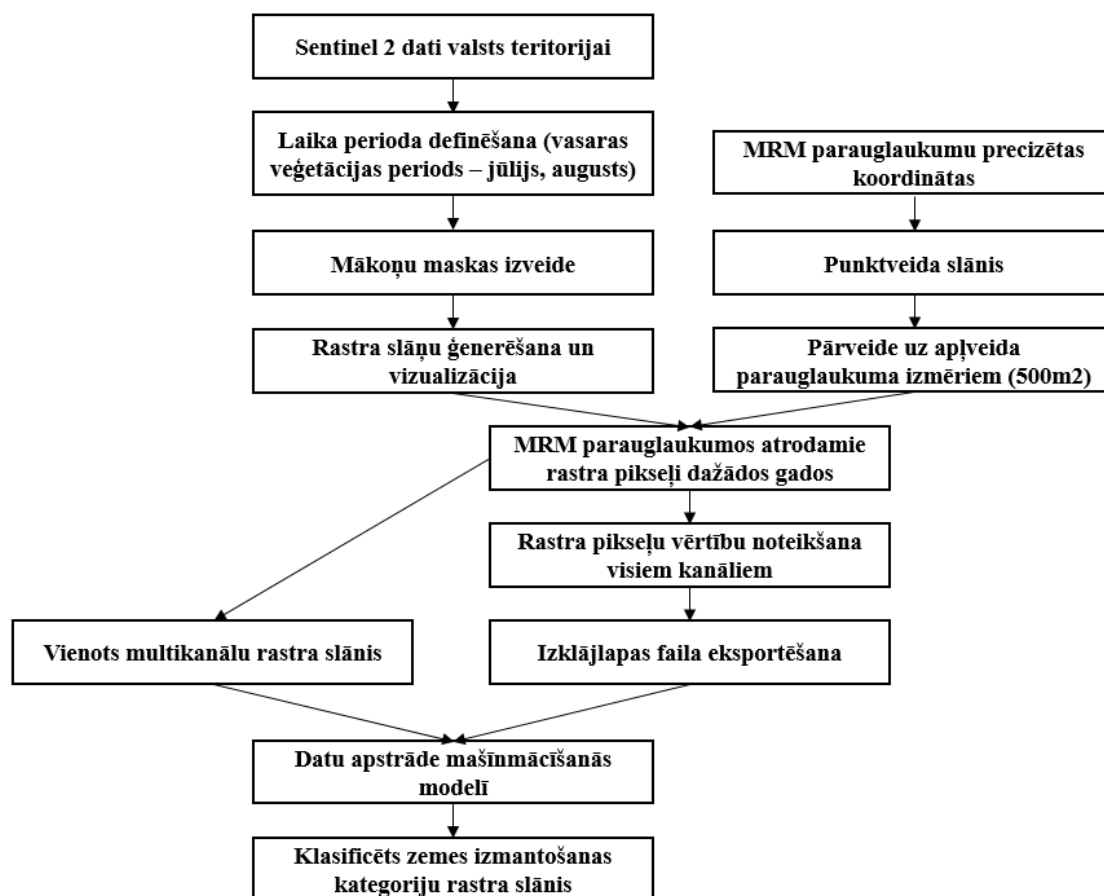
MRM ID	MRM zemes izmantošanas kategorija	IPCC zemes izmantošanas kategorija
6901	Aizaudzis karjers ir mežs	Mežs
6902	Aizaudzis karjers nav mežs	Zālājs
691	Aizaudzis izstrādes purvs	Mitrājs (apsaimniekots)
6911	Aizaudzis izstrādes purvs ir mežs	Mežs
6912	Aizaudzis izstrādes purvs nav mežs	Mitrājs (apsaimniekots)
70	Karjers svaigs	Mitrājs (apsaimniekots)
71	Upes paliene	Zālājs
72	pagalms (piem. zemes)	Aramzeme
73	pilsētas (miestiņi)	Apbūve
74	Industriālās trases (elektro, gāzes u.c.)	Apbūve
75	Apbūve ar veģetāciju	Apbūve
78	Parks	Apbūve
511	Meža ceļš ar joslu	Apbūve
521	Kvartālstīga	Apbūve
522	Mineralizēta josla	Apbūve
523	Kokmateriālu krautuves vieta	Apbūve
531	Kanāls	Apbūve
532	Grāvju trase	Apbūve
541	Sēklu plantācija	Apbūve
542	Rekultivēta zeme	Zālājs
544	Atpūtas vieta	Apbūve
545	Citas spec.nozīmes zemes	Mitrājs (apsaimniekots)
547	Ceļu un dzelzceļu nodalījumu joslas	Apbūve
548	Kokmateriālu krautuves vieta	Mežs
691	Karjers aizaudzis (ārpus meža)	Mitrājs (apsaimniekots)
701	Karjers svaigs (ārpus meža)	Mitrājs (apsaimniekots)
776	Kapsētas	Apbūve

Pētījumā izmantotas MRM parauglaukumu precizētās (ar centimetru precizitāti) koordinātas. MRM parauglaukumus var sadalīt mazākās vienībās jeb sektoros, ja vienā parauglaukumā pārstāvēti dažādi zemes izmantošanas veidi. Pētījumam atlasīti tikai tie parauglaukumi, kur šāda sadalīšana nav notikusi un tie ir pilnīgi (att. 2.7). Šī atlase nodrošina to, ka netiek pieļauta potenciāla neprecizitāšu veidošanās prognožu modelī scenārijos, kad sektoros iedalītās zemes kategorijas mašīnmērīšanās datu apstrādes daļā var tikt nepareizi klasificētas to mazā izmēra dēļ.



Attēls 2.8. MRM parauglaukuma piemēri, ja tie ir sadalīti (A) vai nesadalīti (B)

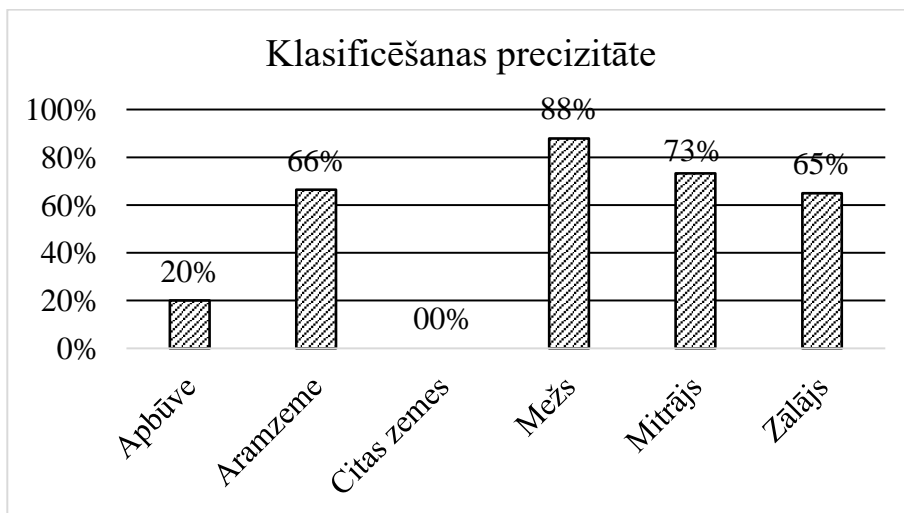
Parauglaukuma dati pieejami precizētu centra koordināšu formātā, kuri koriģēti ar atkārtotiem augstas precizitātes lauka mērījumiem, lai pēc iespējas samazinātu ģeotelpisko nobīdi, kura var būt radusies parauglaukumu izveidošanas laikā 2004. gadā. Potenciālā ģeotelpiskā punkta nobīde saistīta ar **sarežģītiem** precīzu koordinātu noteikšanas apstākļiem, it īpaši meža zemju teritorijās, kur blīvā veģetācija rada sakaru traucējumus augstas precizitātes mērierīcēm. Precizētās koordinātas izmanto, lai izveidotu punktveida telpisko slāni, kurš turpmākajās darbībās tiek palielināts (*buffer*) uz apļveida formu $r=12,61$ m, kas reprezentē pilnu meža resursu monitoringa parauglaukuma izmēru. Katra parauglaukuma izmērs dabā ir 500 m^2 . Precizētās koordinātas sniedz iespēju pēc iespējas detālāk piesaistīt reālos satelītainu datus attiecīgajiem MRM parauglaukumiem, lai veiktu analīzi ar *Sentinel2* rastra attēliem un noteiktu pikseļu vērtības dažādos rastra kanālos. Detalizēts datu apstrādes process attēlots att. 2.9.



Attēls 2.9. Datu apstrādes darba blokskāme

Multispektrālie satelītdati apstrādāti un iegūti, izmantojot *Google Colaboratory* vidi, kurā pieejams *s2cloudless* algoritms (Zupanc, 2017), no kura var iegūt jau apstrādātas, laika posma definētas multispektrālo satelītainu mozaīkas, izšķirtspējā 10x10 metri, kurām pievienota mākoņu maska, lai atbrīvotos no satelītainām, kurām ir mākoņu pārklājums un to ēnu traucējums. Kā ieejas periods izmantots laika posms starp jūliju un augustu. Šis laika periods izvēlēts, lai nodrošinātu, ka izmantotās satelītainas ir veģetācijas perioda aktīvākajā posmā, kas atvieglo dažādu zemes kategoriju klasifikāciju un samazina potenciālu kļūdu risku.

Multispektrālās satelītainu tālāka apstrāde veikta QGIS vidē, kur no visām iegūtajām satelītainām izveidots virtuālais rastrs, kurš izmantots, lai veiktu *Zonal statistics* procesu. Kā *Zonal statistics* robežslānis izmantoti MRM parauglaukumu vektordati par attiecīgo laika periodu, lai nosegtu visus apsekotos nesadalītos parauglaukumus attiecīgajā gadā. Zonālās statistikas analīze veikta kopumā 12 gaismas spektra kanāliem, iegūstot vienu vidējo rastra šūnas vērtību katram parauglaukumam, kas iegūta no visām MRM parauglaukumā atrodamajām rastra šūnām. Kopumā klasificēti un analīzē izmantoti 2980 meža, 1671 aramzemju, 1406 zālāju, 508 mitrāju, 203 apbūvju un 5 citu zemju nesadalītie parauglaukumi, kuros nav norisinājusies sektoru sadalīšanās, un tie ir izmantojami tālākajām aprēķinu darbībām (att. 2.10).



Attēls 2.10. Kopējais MRM nesadalīto parauglaukumu skaits

No rastra slāņiem *R studio* programmā (R Core Team, 2022) visas pa karšu lapām atdalītās rastru mozaīkas savieno vienā multikanālu rastrā, ko izmanto zemes izmantošanas klasificēšanai. Multikanālu rastru un zonālās statistikas dati tālāk izmantoti mašīnmācīšanās algoritma apmācīšanai R vidē. Dati pēc nejaušības principa sadalīti proporcijās 80% un 20%, tajā skaitā 80% no datiem izmantojām, lai veiktu algoritma apmācības procesu, bet 20% izmantojām iegūto rezultātu validācijai. Lai samazinātu parauglaukumu skaita atšķirības un nodrošinātu identiska skaita parauglaukumu pārstāvniecību, veikts *upsampling* process. Lai atlasītu pēc iespējas precīzākus mašīnmācīšanās parametrus, nepieciešams izmantot *xgbTree* modeli, kurš pieejams *Caret* bibliotēkā (Kuhn, 2008b). Lai uzlabotu modelī izmantoto datu precizitāti, iepriekš veikta piekārtēja datu šķērsvalidācija, izmantojot iepriekš noteiktus parametrus (tab. 2.5).

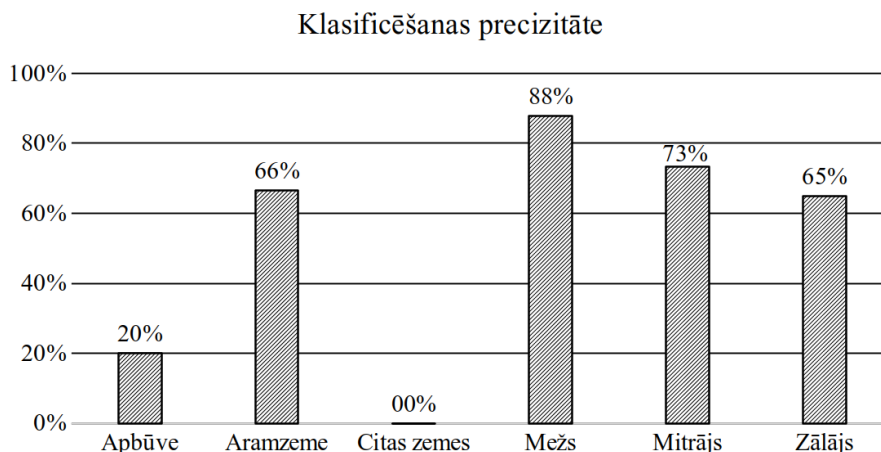
Tabula 2.5. *True grid* parametru vērtības

Parametrs	Vērtības
<i>Nrounds</i>	5, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 750, 1000
<i>Maks_depth</i>	2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50
<i>Eta</i>	0,3
<i>Gamma</i>	0
<i>Colsample_bytree</i>	1
<i>Min_child_weight</i>	1
<i>subsample</i>	0,5

Pēc datu apstrādes *R studio* programmā izveido arī viena kanāla rastra failu, lai vizuāli reprezentētu modeļa klasificētās zemes izmantošanas kategorijas, kuras iegūtas no modeļa apmācības procesā iegūtajiem datiem (att. 2.12).

Kopumā zemes kategoriju klasificēšanas mašīnmācīšanās modelī izmantoti 6773 MRM apļveida nesadalītie parauglaukumi (att. 2.10). Kopējā datu kvalitāte vērtējama kā apmierinoša, lai arī novērojamas izteiktas atsevišķu zemes kategoriju prognozēšanas neprecizitātes. Kopējā precizitāte novērtēta ar 74,4% un Kappa indekss sasniedz 0,63. Redzama izteikta likumsakarība starp

klasificēšanas precizitāti un atsevišķu zemes izmantošanas kategoriju parauglaukumu skaitu ieejas datus. Zemes kategorijām, kurām ieejas datus parauglaukumu pārstāvniecība ir zema, ir arī zemāka datu precizitāte (att. 2.10 un 2.11).



Attēls 2.11. Zemes izmantošanas kategoriju datu klasificēšanas precizitāte

Viszemākā datu klasificēšanas precizitāte novērojama citu zemju kategorijai, kur prognozes precizitāte ir 0%. Tas skaidrojams ar to, ka citu zemju kategorijas parauglaukumi pārsvarā atrodas Latvijas teritorijas piejūras smilšu kāpu zonā, kur to kopējais skaits ir ļoti mazs, bet pilnīgi apaļu šīs zemes kategorijas parauglaukumu skaits kopumā ir vēl mazāks (att. 2.11). To specifiskās lokācijas dēļ daļa no parauglaukuma var atrasties ūdenī vai piejūras mežos, kas attiecīgo parauglaukumu saskalda vairākās daļās jeb sektoros un to izmantošana mašīnmācības modelim nav piemērota.

Tāpat, zema klasificēšanas precizitāte novērota apbūves teritorijām, kur kopējā precizitāte vērtējama ar 20%. Arī šī zemes kategorija ir maz pārstāvēta (kopā 203 parauglaukumi). Šīs zemes izmantošanas kategorija ir īpatnēja arī ar to, ka pikseļu vērtību variācijas var būt ļoti dažādas. To ietekmē plašu apbūves veidu apvienošana vienā kategorijā (ceļi, meža ceļi, ēkas, pagalmi, kapsētas u.c.), kur rastra vērtību atšķirība katrai apakškategorijai var būtiski atšķirties.

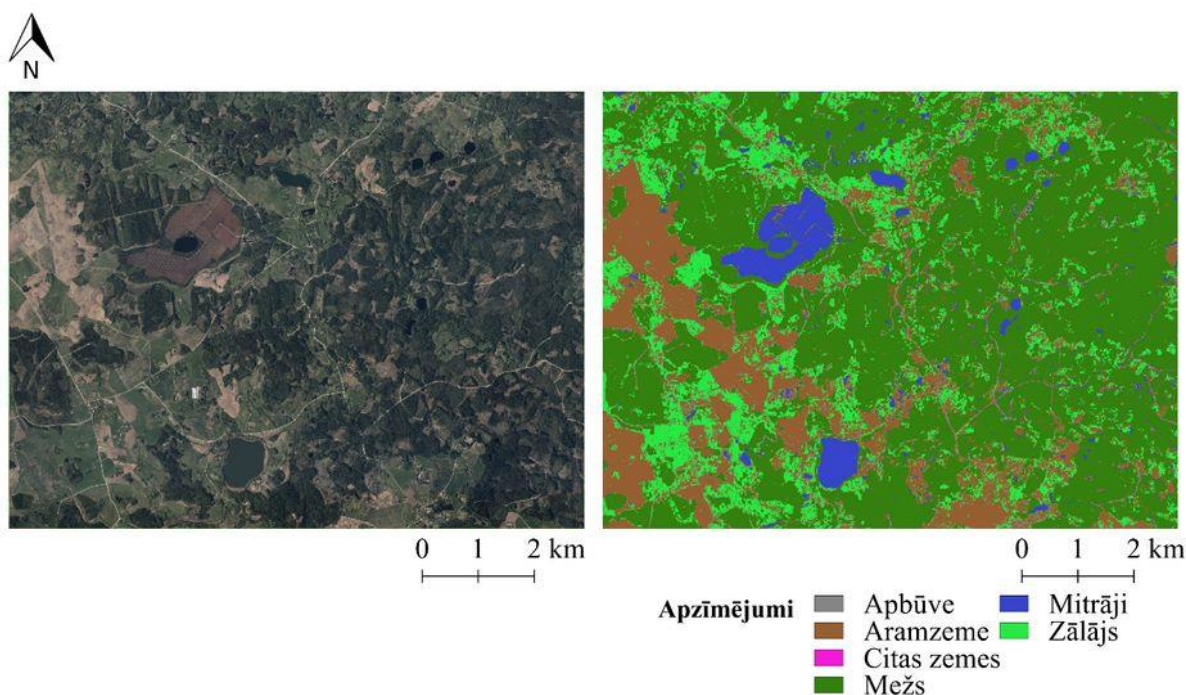
Visplašāk pārstāvētā zemes kategorija ar 2980 parauglaukumiem ir meža zemes, un šīs zemes izmantošanas kategorijas klasificēšanas rezultāti, likumsakarīgi, uzrādījuši visaugstāko precizitāti, sasniedzot 88%. Tāpat klasificēšanas kļūdu matricā redzams, ka šīs zemes izmantošanas kategorijas validācijai izvēlētie parauglaukumi uzrāda ļoti zemu nepareizi klasificēto zemes kategoriju skaitu (tab. 2.6). Lielākās neprecizitātes kļūdas meža zemēs novērojamas tieši attiecībā pret zālāju platībām, kur nepareizi klasificēti 36 parauglaukumi. Viens no iemesliem šādai situācijai ir MRM 64. zemes izmantošanas kategorija – aizaugusi lauksaimniecības zeme. Šajā kategorijā iekļautajos MRM parauglaukumos ir kokaugu veģetācija, bet tā vēl nav klasificējama kā mežs, radot modeli strīdus situācijas, kas var izraisīt nepareizu zemes izmantošanas kategoriju klasifikāciju.

Klasificēšanas kļūdu matricā novērojama vēl viena tendence – zālāju un aramzemju platību nepareiza klasificēšana. Zālajos 67 parauglaukumi klasificēti kā aramzemes, bet aramzemēs 80 parauglaukumi nepareizi klasificēti kā zālāji. Lai arī izmantoti aktīvās veģetācijas perioda rastra attēli, tāpat aramzemju un zālāju klasificēšana, modelis nevar precīzi nodalīt aramzemēs sētos zālājus, ilggadīgos zālājus un ganības, jo visās šajās teritorijās var notikt saimnieciskā darbība (pļaušana, noganīšana), kas padara tās vizuāli līdzīgas). Šāda līdzība rada nenoteiktību mašīnmācības modeļa apmācības rezultātā.

Tabula 2.6. MRM parauglaukumu klasificēšanas kļūdu matrica (pareizi klasificēto parauglaukumu skaits iezīmēts tabulā)

Zemes kategorija	Apbūve	Aramzeme	Citas zemes	Mežs	Mitrājs	Zālājs
Apbūve	8	7	0	0	0	4
Aramzeme	14	220	1	17	11	67
Citas zemes	0	1	0	0	1	0
Mežs	7	18	0	523	9	20
Mitrājs	1	5	0	19	74	7
Zālājs	10	80	0	36	6	182

Izmantojot *Sentinel2* datus un mašīnmācīšanās procesā radīto zemes izmantošanas klasificēšanas modeli, visai Latvijas teritorijai izveidota zemes izmantošanas klasifikācijas karte, kuras horizontālā izšķirtspēja ir 10 m (att. 2.12).



Attēls 2.12. Zemes klasificēšanas rezultātu kartes salīdzinājums pret ortofoto

Izveidotais mašīnmācīšanas modelis, izmantojot kā ieejas datus MRM parauglaukumus un *Sentinel2* rastra attēlu spektrālo slāņu informāciju, spēja klasificēt zemes izmantošanas veidu ar 75% precizitāti (Kappa indekss 0.64). Datu kvalitāte vērtējama kā apmierinoša, it īpaši tādām zemes izmantošanas kategorijām kā mežs, aramzeme un zālājs, bet tā ir jāuzlabo, lai raksturotu zemes izmantošanas veida maiņu. Lai palielinātu klasificēšanas precizitāti, ir jāizmanto papildu datu kopas, it īpaši tādām zemes izmantošanas kategorijām, kas MRM datos ir maz pārstāvētas, vai raksturojas ar lielu dažādību, t.i., citas zemes un apbūve. Arī meža zemē, aramzemē un zālājos var uzlabot klasificēšanas precizitāti, samazinot kļūdas iespējas citu zemes izmantošanas kategoriju noteikšanā.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Vērtējot metodikas pilnveidošanas iespējas, esam secinājuši, ka ir jāmaina pieeja modeļa apmācīšanai, šajā procesā izmantojot datubāzes, kas var nebūt precīzas, bet satur lielu datu apjomu (t.s. “wall to wall” telpisko vienību datu bāzes); savukārt, MRM datus izmantot modeļa validācijai un zemes izmantošanas veidu un to izmaiņu klasificēšanas rezultātu nenoteiktības noteikšanai.

Pētījuma turpmākajos etapos izmantosim modeļa apmācībai Meža valsts reģistra un lauku kartes datus aramzemes, zālāju un meža zemju un mitrāju (purvu) raksturošanai, *OpenStreetMap* datus apbūves un pārējo mitrāju raksturošanai un izveidosim jaunu datu kopu citu zemju raksturošanai. Šāda pieeja ļaus būtiski palielināt prognožu precizitāti.

3. TRUPES IETEKMES UZ OGLEKĻA UZKRĀJUMU DZĪVO KOKU BIOMASĀ MODELĒŠANA

3.1. Izstrādāt metodi un novērtēt trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu dzīvajā biomasā LVM apsaimniekotajos mežos

Meži ir svarīgs sabiedrotais cīņā pret klimata pārmaiņām, sasniedzot mērķi padarīt Eiropu par pirmo klimata neitrālo kontinentu līdz 2050. gadam. Tie ir nozīmīga oglekļa (C) krātuve, un pēc daudzu zinātnieku domām – tiem ir būtiska loma globālās sasilšanas tempa mazināšanā, ko izraisa nepārtraukta oglekļa dioksīda (CO₂) koncentrācijas palielināšanās atmosfērā. Eiropā klimata pārmaiņu ietekme jau tagad ir pietiekami spēcīga, lai radītu izmaiņas meža dzīvotnēs. Pēdējo gadu laikā novērotā egļu astoņzobu mizgraužu invāzija, spēcīgas vētras, intensīvs sausums, spēcīgu lietavu gadījumu skaita palielināšanās un jauni savvaļas ugunsgrēki ir ietekmējuši ievērojamas meža platības, radot izaicinājumus, kādi agrāk netika pieredzēti. Ir prognozēts, ka situācija turpinās pasliktināties, turpinot ietekmēt arvien jaunas mežu platības un radot izaicinājumus ilgtspējīgai meža apsaimniekošanai.

Mežaudzes vecuma struktūra un koku vitalitāte ir svarīgs faktors, lai izprastu ilgtermiņa C uzkrāšanās dinamiku meža ekosistēmā un pēc iespējas ilgāk izolētu CO₂ no atmosfēras (att. 3.1.). Ir nepieciešamas precīzas metodes C uzkrājuma novērtēšanai kokaudžu biomasā, lai atbalstītu zinātnē balstītus politiskos lēmumus, kas vērsti uz cilvēka radīto CO₂ emisiju piesaisti meža ekosistēmā. Stumbra un sakņu trupe, visur esoša un dabiska parādība mežos, laika gaitā pasliktina koku vitalitāti un galvenokārt ietekmē vecāku koku stumbra lejasdaļu. Koksni noārdošās trupes sēnes izraisa kokos uzkrātā C emitēšanu atpakaļ atmosfērā. Serdes un sakņu trupe meža ekosistēmai rada gan ekonomiskus, gan ekoloģiskus zaudējumus. Trupe pazemina koksnes kvalitāti, koku dzīvotspēju, mehānisko stabilitāti, samazina pieauguma veidošanos un galarezultātā izraisa ātrāku koka bojāeju. Lielākoties pētījumi par serdes trupes ietekmi uz koka dzīvotspēju un noturību veikti pilsētu apstādījumos, jo trupes bojāti koki apdraud cilvēku drošību, tomēr arvien aktuālāki paliek pētījumi par to, kā trupe izmaina koksnes fizikāli ķīmiskās īpašības un kā tā ietekmē C aprites ciklu. Sēnēm, kuras veic koksnes sadalīšanās procesus, ir būtiska nozīme meža ekosistēmas C un slāpekļa (N) aprites ciklā. Tās darbojas kā galvenie organismi, kas efektīvi sadala koksni CO₂ un ūdenī. Aprēķinot kokaudžu biomasu un C uzkrājumu, parasti tiek pieņemts, ka visi koki ir veseli, bez bojājumu pazīmēm un trupes izraisītiem defektiem. Realitātē, jo īpaši vecās un dzīvnieku bojātās mežaudzēs, ir trūpējuši un dobumaini koki, kas var nozīmēt, ka C uzkrājums tiek sistemātiski pārvērtēts.

Trupes ietekmes risks	Augsts	→	Zems
Koku vecums ¹	Liels		Mazs
Koku vitalitāte ²	Bojāti		Nebojāti

¹ Pieaugušās un pāraugušās audzēs trupes sastopamība un izplatība koku stumbros palielinās

² Brūces aktivizē trupi izraisīto sēņu darbību

Attēls 3.1. Trupes ietekmes uz audzes oglekļa uzkrājumu shematisks novērtējums

3.1.1. Metodika

Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā ir apkopoti iepriekšējos gados analizētie un no jauna ievāktie dati, lai kompleksi analizētu trupes ietekmi uz C uzkrājumu dzīvajā

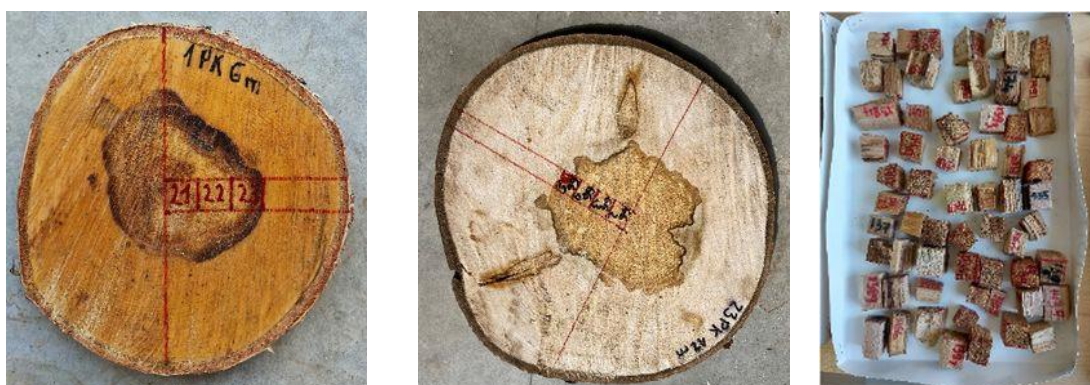
biomasā lapkoku (bērzu, apšu, baltalkšņu un melnalkšņu) audzēs. Ir noslēgusies iepriekšējā gadā uzsāktā bērza un apses stumbra šķērsriezuma ripu apstrāde, serdes trupes ietekmētā laukuma un tilpuma noteikšana, kā arī trupējušas koksnes analīzes laboratorijā (tab. 3.1). Atlasītajās bērzu un apses audzēs, sekojot alkšņu audzēs iepriekš izstrādātajai metodikai, ierīkoti 16 apļveida parauglaukumi un kopā nozāģēti 120 paraugkoki (60 apses un 60 bērzi), kuru stumbri sadalīti 1m garās sekcijās. Stumbra šķērsriezuma vietā konstatējot trupes klātbūtni, iegūtas stumbra ripas turpmākajām analīzēm un paraugu ieguvei. Paraleli šķērsriezuma ripu iegūšanai, ar 10 cm precizitāti, noteikts precīzs trupes izplatības augstums stumbrā. Sekojot iepriekš izstrādātajai shēmai, no šķērsriezuma ripām iegūti trupējušas koksnes paraugi (att. 3.2). Laboratorijā izmērīts koksnes blīvums, C un N saturs atkarībā no trupes sadalīšanās pakāpes. Ar datorprogrammu *Image J*, visām stumbra šķērsriezuma ripām izmērīts trupes ietekmētais laukums, ņemot vērā koksnes sadalīšanās pakāpi (att. 3.2). Kopā apsēm un bērziem analizētas 2205 šķērsriezuma ripas. Trupes ietekmes novērtēšanai pētījumā izdalītas sekojošas trupes attīstības stadijas:

- iekrāsojums – raksturīgas nelielas koksnes mehānisko īpašību izmaiņas;
- mīkstā trupe – sadalījusies koksne, kurā jau ir redzama koksnes noārdīšanās;
- dobums – tukšums, kas radies, sairstot augoša koka koksnei.

Tabula 3.1. Paraugkoku raksturojums no kuriem iegūti trupējušas koksnes paraugi

Suga	Audzū skaits	Paraug-koki	Vecums (min-maks)	D, cm (min-maks)	H, m (min-maks)	Ripu skaits	Blīvuma paraugu skaits	C un N paraugu skaits ²
Bērzs	8	47	85 (69-109)	26 (9,5-44,7)	24,1 (14,7-31,8)	298	704	210
Apse	5	19	74 (69-89)	37,7 (25,5-53,3)	31,4 (28,7-33,5)	276	801	211
Baltalksnis	9	38	49 (37-70)	19,3 (14-28,5)	20,8 (16,3-26)	196	449	217
Melnalksnis	7	32	90 (65-122)	23,3 (13-40,0)	23,3 (11,9-28,5)	242	580	265

² Katram koksnes paraugam noteikts gan C saturs, gan N saturs. D – koka diametrs 1,3m augstumā, H – koka augstums, C – oglekļa saturs, N – slāpekļa saturs.



(a)

(b)

(c)

Attēls 3.2. Trupējušas koksnes paraugu ievākšanas metodika: a) iekrāsojusies koksne; b) mīkstā trupe; c) koksnes paraugi sagatavoti blīvuma noteikšanai

Trupes ietekmētais tilpums katrai stumbra sekcijai aprēķināts pēc formulas:

$$V_{Si} = L_{Si} \frac{(g_1 + g_2)}{2} \quad (1)$$

kur, V_{Si} ir trupes tilpums (iekrāsojums, mīkstā trupe vai dobums) sekcijai i (m^3), L_{Si} ir trupējušās sekcijas i (cm) garums, g_1 ir trupes ietekmētais laukums apakšējā šķērsriezuma ripā sekcijai i (mm^2) un g_2 ir trupes ietekmētais laukums augšējā šķērsriezuma ripā sekcijai i (mm^2). Ja konstatēta trupe tikai vienā no šķērsriezuma ripām, bet sekcijas otrā galā ir vesela koksne vai cita trupes stadija, pieņemts, ka trupei stumbra ietvaros ir koniska forma. Tas nozīmē, ka stumbra trupes laukums lineāri samazinās galotnes virzienā. Šādos gadījumos konusa garums ir vienāds ar faktisko trupes garumu attiecīgajai sekcijai. Katra koka kopējais trupes ietekmētais tilpums un atsevišķu trupes attīstības stadiju tilpumi aprēķināti, saskaitot attiecīgo sekciju tilpumus.

Koksnes paraugu blīvums noteikts, izmantojot svarus Precisa XB 220A, kuri aprīkoti ar Precisa blīvuma noteikšanas komplektu. Blīvuma paraugu platums virzienā no ripas centra uz mizu ir 2 cm. Parauga biezums bija vienāds ar ripas biezumu, bet tā garums nepārsniedza 3 cm. Pirms blīvuma mērījumu veikšanas, visi koksnes paraugi uz 24 stundām iemērkta ūdenī, lai novērstu ūdens uzsūkšanu mērījumu laikā. Katrs paraugs nosusināts ar mīkstu papīru un nosvērts gaisā, kā arī nosvērts iegremdēts ūdenī. Piesūcināta parauga blīvumu aprēķināja, izmantojot Arhimēda principu, pamatojoties uz parauga svaru gaisā un ūdenī. Aprakstītā metode ir īpaši piemērota neregulāras formas objektiem un plaši izmantota koksnes paraugu blīvuma noteikšanai. Lai aprēķinātu reducēto blīvumu, paraugi žāvēti 103-105°C, līdz sasniegta nemainīga to masa, kas prasīja apmēram 4–5 dienas. Katrai koku sugai un trupējušas koksnes bojājumu pakāpei vairāk nekā 100 nejauši izvēlēti paraugi tika sasmalcināti un samalti viendabīgā pulverī. Koksnes pulveris analizēts, izmantojot **Vario EL cube** elementārdaļiņu analizatoru, nosakot paraugu C un N koncentrāciju.



Attēls 3.3. Trupes ietekmētā laukuma noteikšana stumbra šķēsgriezuma ripās. Zils – iekrāsojums, sarkans – mīkstā trupe, zaļš – dobums

Datu analīzē galvenokārt izmantoti jauktu efektu lineārie modeļi, ņemot vērā to, ka informācija iegūta 5 līdz 9 mežaudzēs, atkarībā no koku sugas, un analizēto koku skaits visās audzēs nebija vienāds. Hierarhiskās struktūras ignorēšana, analizējot šāda līmeņa datus, var novest pie nepareizas rezultātu interpretācijas, jo netiek ņemta vērā katra paraugkoka vai atlasīto audžu ietekme uz analizētajām kopsakarībām. Modeļu atbilstību statistiskajiem priekšnoteikumiem pārbaudīja ar diagnostikas diagrammām. Visas statistiskās analīzes veiktas, izmantojot *R Studio* programmatūru (R versija 4.1.3, 2022). Iegūtie dati tiks izmantoti, izstrādājot vienādojumus C uzkrājuma izmaiņu prognozēšanai serdes trupes ietekmētiem kokiem. Latvijā lapkoku audzēs ir veikti pētījumi par trupes izplatību un ietekmi uz kokmateriālu iznākumu, taču trūkst empīriski dati par koksnes blīvuma un C satura izmaiņām, kā arī nav izstrādāta metode trupes radīto C zudumu novērtēšanai.

3.1.2. Rezultāti

Serdes trupes izplatības prognozes lapkoku audzēs

Serdes trupe, ir viena no vispostošākajām un izplatītākajām kokaugu slimībām. Pēdējo desmit gadu laikā, LVMI Silava veiktajos pētījumos, trupes izplatība un tās laukums uz celma virsmas analizēts 104 bērzu, 100 apšu, 55 baltalkšņu un 11 melnalkšņu audzēs (tab. 3.2.). Rezultāti no audzēm kurās veikta galvenā un kopšanas cirte, apliecina, ka trupējušo koku izplatība īpaši liela ir apšu audzēs, kas saskan ar citu valstu pētījumiem. Dažādos pētījumos iegūtie dati liecina, ka apšu audzēs atkarībā no koku vecuma, trupējušo koku īpatsvars var būt 40-100%. Pētījumā Zviedrijas dienvidos (Johansson u.c., 2013), vidēji 91% apšu novērota koksnes iekrāsošanās, kas skaidri liecināja par trupes klātbūtni 12-63 gadus vecās audzēs. Amerikas Savienotajās Valstīs un Kanādā tiek lēsts, ka apšu audzēs vidēji 58,8% koku ir serdes trupes bojāti (Shigo & Hillis, 1973).

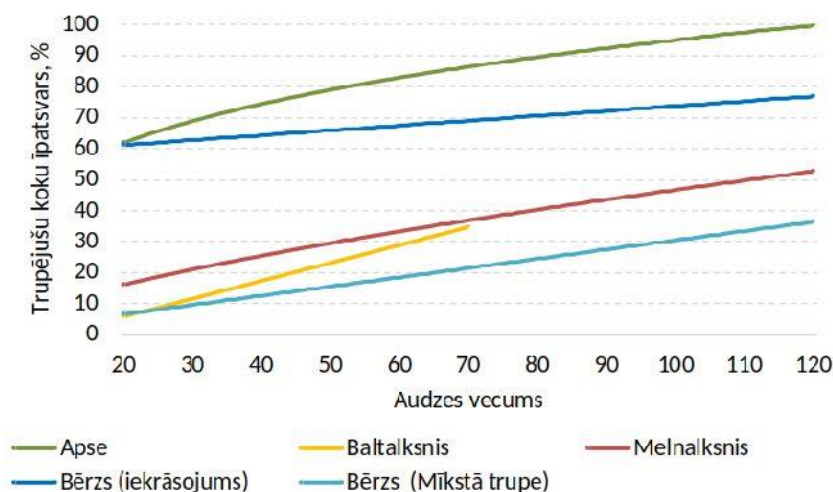
Saskaņā ar mūsu rezultātiem un pētījumiem Somijā (Hynynen u.c., 2010) trupes izplatība bērzu audzēs ir mazāka, salīdzinot ar citām lapu koku sugām boreālos un hemiboreālajos mežos. Bērzu audzēs izplatīta ir koksnes iekrāsošanās (att. 3.4.), ko izraisa dažādas baktērijas un mikrobi. Koksnes iekrāsošanās vēl nav iemesls stumbra biomasas samazinājumam, tomēr iekrāsojuma klātbūtne, pie noteiktu apstākļu sakrītības, rada piemērotus apstākļus daudz postošāko trupes sēņu attīstībai. Bērzu audzēs koku ar mīksto trupī īpatsvars atsevišķās audzēs var būt 0-80%. No 60 pētījumam nejauši izvēlētiem bērziem tikai 11 bija āra bērzi, bet pārējie – purva bērzi. Sugu noteikšanai izmantota ķīmiskā metode (Lundgren u.c., 1995). Pētījuma dati netieši apstiprina novērojumu, ka purva bērzu audzēs trupes izplatība varētu būt lielāka, salīdzinot ar āra bērzu audzēm.

Uzmērīto baltalkšņu audžu dati rāda, ka trupējušo koku īpatsvars vidēji ir 20%, un, atkarībā no vecuma, atsevišķās platībās var būt robežās no 1%–54%. Baltalkšņu audzēs Somijā trupējušo koku un koku ar iekrāsojušos koksni īpatsvars tiek prognozēts vēl lielāks, 20–50% atkarībā no audzes vecuma (Kärki u.c., 2000). Lielāks trupes ietekmēto koku skaits tiek prognozēts jaunaudzēs un

pāraugušās audzēs, kas saistīts ar to, ka, vidēja vecuma audzēs kopjot mežu, bojātie un trupējušie koki tiek parasti izzāģēti. Trupes izplatība melnalkšņu audzēs ir pētīta daudz retāk, un pēc līdzšinējo pētījumu rezultātiem pieaugušās un pāraugušās audzēs trupējušu koku īpatsvars ir 53-98%. Tas nozīmē, ka melnalksnis ir uzņēmīgāks pret serdes trupi, salīdzinot ar baltalksni.

Tabula 3.2. Trupes sastopamības lapu koku audzēs modelēšanai izmantotās datu kopas

Suga	Datu ievākšanas gads	Audzū skaits	Vecums, gadi	Piezīmes
Melnalksnis	2012	4	51-84	Ap,Lk, Kp(2)
Melnalksnis	2020	7	65-122	Rezistogrāfa dati_Kp, Db (4), Nd, Dms
Baltalksnis	2011	46	25-65	Galvenokārt Vr kailcirtes
Baltalksnis	2021	9	37-70	Rezistogrāfa dati_Vr(5), Ap,Gr, Grs, Vrs
Bērzs	2021-2022	96	21-114	Kailcirtes un kopšanas cirtes dažādos tipos
Bērzs	2022	8	69-109	Rezistogrāfa dati_Kp(5), Gr, Db, Vr
Apse	2021-2022	92	18-96	Kailcirtes un kopšanas cirtes dažādos tipos
Apse	2022	8	69-110	Rezistogrāfa dati_Vr(6), Ap, Gr



Attēls 3.4. Prognozētais trupējušu koku īpatsvars atkarībā no audzes vecuma

Tā kā bērzu audzēs koka serdes iekrāsošanās ir ļoti izplatīta un var neliecināt par mīkstās trupes klātbūtni kokā, trupes ietekmes raksturošanai ieteicams lietot celma virsmas mīkstās trupes laukumu. Pārējo koku sugu trupes ietekmi var raksturot caur iekrāsojuma diametru celma augstumā, jo lielākoties iekrāsojuma klātbūtne norāda arī uz mīksto trupi vai dobumu, vai arī iekrāsojuma celma virsmas laukums ir tik mazs, ka neatstāj būtisku ietekmi uz stumbra biomasu.

Trupējušas koksnes apjoms un to ietekmējošie faktori

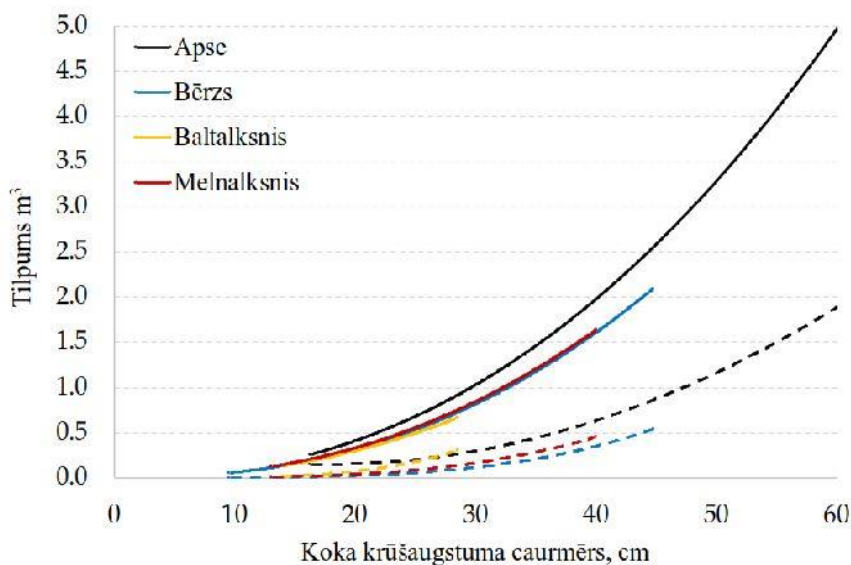
Trupes kolonnas garums ievērojami atšķirās starp sugām un vidēji bija robežās no $9,9 \pm 5,7$ m bērzam līdz $19,3 \pm 5,5$ m apsei (tab. 3.3). Dobuma kolonnas garums starp pētītajām sugām atšķirās minimāli; savukārt, mīkstā trupe apses stumbros sniedzās daudz augstāk ($15,0 \pm 6,5$ m), salīdzinot ar pārējām sugām (1,1-2,7m). Kopējais trupes diametrs uz celma virsmas neuzrādīja būtiskas atšķirības starp pārbaudītajām koku sugām. Trupes ietekmētais laukums uz celma virsmas pozitīvi korelēja ($p < 0,001$) ar koka krūšaugstuma caurmēru ($r = 0,56-0,78$) un celma diametru ($r = 0,58-0,79$), kas norāda uz spēcīgu saistību starp koka izmēru un celma daļas bojājumiem trupes ietekmē. Vidējais stumbra tilpums paraugkokiem bija robežās no $0,3 \text{ m}^3$ baltalksnim līdz $1,7 \text{ m}^3$ apsei, bet trupes kolonnas tilpums attiecīgi no $0,09$ līdz $0,57 \text{ m}^3$ (att. 3.5.). Vismazākais trupes īpatsvars no kopējā stumbra tilpuma bija bērzam, vidēji 15,5%, tad melnalksnim – 20,1%, baltalksnim – 28,5% un vislielākais īpatsvars konstatēts apsei – 31,9%. Tomēr ļoti svarīgi ir atzīmēt, ka sugas ietvaros trupējušas koksnes īpatsvars atsevišķiem kokiem var ievērojami atšķirties no vidējām vērtībām, kas skaidrojams ar dažādu vides un ģenētisko faktoru ietekmi uz koksnes sadalīšanās procesiem.

Pētījumā, izmantojot II tipa Wald χ^2 testu (lielāka χ^2 vērtība norāda uz lielāku ietekmi), analizēta dažādu faktoru (suga, vecums, krūšaugstuma caurmērs, augstums, celma diametrs, trupes ietekmētais celma laukums) ietekme uz trupējušās koksnes, īpatsvaru audzes līmenī. Secināts, ka sugai ir visbūtiskākā ietekme uz kopējo trupes īpatsvaru stumbrā ($\chi^2 = 50,5$; $p < 0,001$), pēc tam seko audzes vecuma ietekme ($\chi^2 = 16,7$; $p < 0,001$) un tad koka caurmēra ietekme ($\chi^2 = 0,5$; $p > 0,05$) (tab. 3.3). Rezultāti liecina, ka dažādām koku sugām ir atšķirīga rezistence pret koksnes iekrāsojumu un mīksto trupi (mijiedarbības efekts), tāpēc krūšaugstuma caurmēra un koku vecuma ietekme ir jāvērtē katrai sugai atsevišķi. Koka augstumam netika konstatēta ietekme ($\chi^2 = 0,1$; $p > 0,05$) uz trupējušās koksnes īpatsvaru pieaugušās un pāraugušās audzēs. Līdzīgi netika novērota saistība starp koka vecumu, diametru, augstumu un dobuma īpatsvaru stumbrā.

Tabula 3.3. Trupējušo paraugoku raksturojums

Parametrs	Bērzs (N=60)		Apse (N=60)		Baltalksnis (N=38)		Melnalksnis (N=32)	
	Vidēji±SE	Min–Maks	Vidēji±SE	Min–Maks	Vidēji±SE	Min–Maks	Vidēji±SE	Min–Maks
Koka augstums, m	23,9±3,9	13,1–31,8	32,0±3,7	18,7–39,3	20,8±2,4	16,3–26	23,3±3,1	11,9–28,5
Koka krūšaugstuma caurmērs, cm	25,1±6,5	9,5–44,7	35,8±10,3	16,25–65,0	19,3±3,5	14,0–28,5	23,9±6,7	13,0–40,0
Stumbra tilpums, m ³	0,6±0,3	0,1–2,1	1,7±1,1	0,2–5,7	0,3±0,1	0,1–0,7	0,6±0,4	0, –1,7
Trupes kolonnas garums, m	9,9±5,7	1,1–23,6	19,3±5,5	5,2–27,9	10,7±4,5	2,2–18,2	11,5±4,8	1,4–18,8
Mīkstās trupes kolonnas garums, m	2,5±2,8	0,2–13,9	15,0±6,5	3,5–27,2	1,1±1,1	0,3–5,5	2,7±3,3	0,4–13,2
Dobuma kolonnas augstums, m	1,1±1,0	0,2–3,9	1,4±1,4	0,1–6,5	0,7±0,2	0,5–1,2	1,3±0,9	0,4–2,8
Trupes diametrs uz celma, cm	13,8±6,3	2,7–29,7	20,9±11,5	4,25–58	14,2±4,0	8,0–19,5	13,9±6,1	4,8–25,5
Mīkstās trupes diametrs uz celma, cm	11,5±5,7 (N=49)	1,2–27,5	14,3±8,0 (N=51)	1,25–39,7	13,1±4,8 (N=34)	3,5–23,5	13,3±6,1 (N=28)	3,8–29,0
Dobuma diametrs uz celma, cm	11,4±4,8 (N=27)	3,7–21,0	12,1±7,7 (N=11)	1–30,5	8,7±2,9 (N=7)	5,3–14,5	10,3±6,2 (N=8)	3,8–23,8
Trupes kopējais īpatsvars no stumbra tilpuma, %	15,5±11,4	0,5–47,3	31,9±12,6	4,8–58,5	28,5±16,7	3,7–57,6	20,1±12,3	0,8–46,1
Mīkstās trupes īpatsvars no stumbra tilpuma, %	3,6±4,9 (N=58)	0,01–18,2	16,3±7,6 (N=60)	2,91–36,7	6,4±8,3 (N=36)	0,2–40,8	6,3±6,8 (N=31)	0,2–31,6
Dobuma īpatsvars no stumbra tilpuma, %	1,7±1,8 (N=30)	0,1–7,9	0,8±0,8 (N=24)	0,01–3,6	1,5±1,8 (N=7)	0,2–5,8	1,7±1,7 (N=8)	0,1–4,4

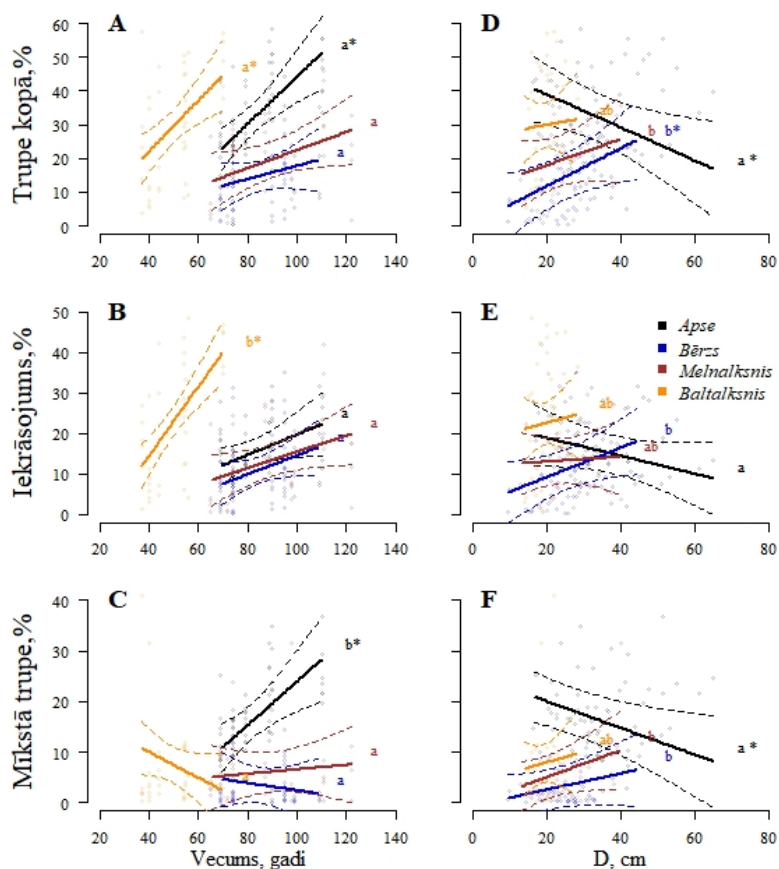
SE - vidējās vērtības standartklūda, Min–Maks - minimālās un maksimālās vērtības.



Attēls 3.5. Kopējā tilpuma (nepārtraukta līnija) un trapes ietekmētā tilpuma (pārtraukta līnija) saistība ar koka krūšaugstuma caurmēru

Audzēs vecuma ietekme uz trupējušās koksnes apjomu lielāka ir mīksto lapu koku - apšu un baltalkšņu audzēs (att. 3.6. A–C). Baltalkšņu audzēs, palielinoties vecumam no 40 līdz 70 gadiem, iekrāsojušās koksnes īpatsvars pieauga vidēji no 10% līdz 40%; savukārt, 70-110 gadus vecās apšu audzēs, būtiski pieaug tieši mīkstās trapes apjoms (10-30%). Bērzu un melnalkšņu audzēs konstatēta lielāka vecuma ietekme uz iekrāsojušās koksnes īpatsvaru, bet šī ietekme nebija statistiski būtiska. Audzēs līmenī koka krūšaugstuma caurmērs būtiski raksturo apses ($p = 0,033$) un bērza ($p = 0,006$) kopējo trapes īpatsvaru (att. 3.6. D). Apšu audzēs šo ietekmi raksturo mīkstās trapes īpatsvara samazināšanās, kokiem ar lielāku krūšaugstuma caurmēru. Savukārt, bērzu audzēs lielākiem kokiem kopējais trapes ietekmētais stumbra tilpuma īpatsvars palielinās, galvenokārt palielinoties iekrāsojušās koksnes īpatsvaram.

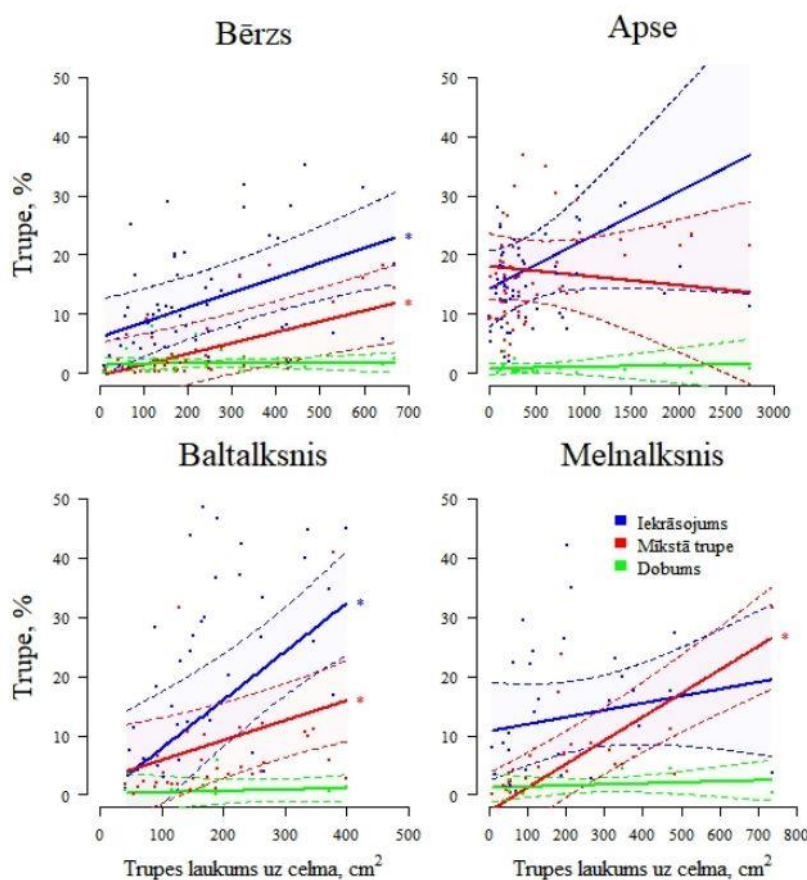
Trapes ietekmētais celma virsmas laukums ir statistiski būtisks parametrs aprēķinot iekrāsojušās un mīkstās trapes īpatsvaru koku stumbros (att. 3.7). Katrai koku sugai ir jāveido individuāli trapes ietekmētā apjoma prognožu modeļi, jo šī ietekme ir sugai specifiska. Ja bērzam un baltalksnim trapes ietekmētais celma laukums statistiski būtiski saistīts ar iekrāsojušās koksnes un mīkstās trapes īpatsvaru, tad melnalksnim tikai ar mīkstās trapes īpatsvaru. Rezultāti apstiprināja, ka tāpat kā koka vecums, caurmērs vai augstums, arī trapes mērījumi uz celma nespēj izskaidrot dobuma īpatsvaru koku stumbros un tas vairāk vai mazāk visām sugām ir konstants.



Attēls 3.6. Trupējušas koksnes īpatsvars atkarībā no koka vecuma (A–C) un krūšaugstuma caurmēra (D–F). Platība starp pārtrauktajām līnijām norāda un 95% ticamības intervālu. Dažādi burti norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām starp sugām, un zvaigznīte norāda uz vecuma vai caurmēra būtisku ietekmi uz trapes īpatsvaru

Kopējais trapes īpatsvars pieaugušās un pāraugušās audzēs galvenokārt palielinās ar audzes vecumu. Vecākas audzes ir arī salīdzinoši uzņēmīgākas pret trapes infekciju, kas atbilst daudzu iepriekšējo pētījumu rezultātiem. Salīdzinošos vecumos, dažas sugas ir uzņēmīgākas pret trupi, savukārt citas izturīgākas. Prognozējot trapes ietekmi uz audzes biomasu, svarīgi ir ņemt vērā katras sugas augšanas apstākļus un koksnes īpašības, jo tās ietekmē gan trapes sastopamību, gan izplatību stumbrā. Piemēram, baltalkšnis ir raksturojams ar izteikti strauju augšanu jaunaudzēs, un salīdzinoši ātrāku bioloģisko novecošanos, salīdzinot ar pārējām pētītajām sugām. Tāpēc nav ieteicams visas lapkoku sugas apvienot vienotā prognožu modelī.

Izpratne par to, kā serdes trapes īpatsvars un apjoms mainās atkarībā no koka izmēriem, ir svarīga, lai novērtētu trupēšanas procesa ietekmi uz biomasas aprēķiniem, īpaši ņemot vērā to, ka kokaudzes lielākie koki veido vislielāko ieguldījumu virszemes biomasā. Sākotnēji paredzēts, ka koka izmēram, ko raksturo koka krūšaugstuma diametrs, celma diametrs, koka augstums, būs liela ietekme uz trapes ietekmēto stumbra tilpuma proporciju pieaugušās un pāraugušās audzēs. Tomēr rezultātu analīze apstiprināja, ka koku augstumam nav ietekme uz trupējušas koksnes īpatsvaru. Savukārt tievākām apsēm novērots būtiski lielāks trapes īpatsvars, kas liecina par lielāku uzņēmību pret trupi, salīdzinot ar resnākiem kokiem. Audzes līmenī konstatēta stipra bērza un abu alkšņu sugu mīkstās trapes īpatsvara korelācija ar trapes laukumu uz celma virsmas. Tas nozīmē, ka trapes celma laukums būs cieši saistīts arī ar stumbra biomasas zudumiem trapes ietekmes rezultātā.



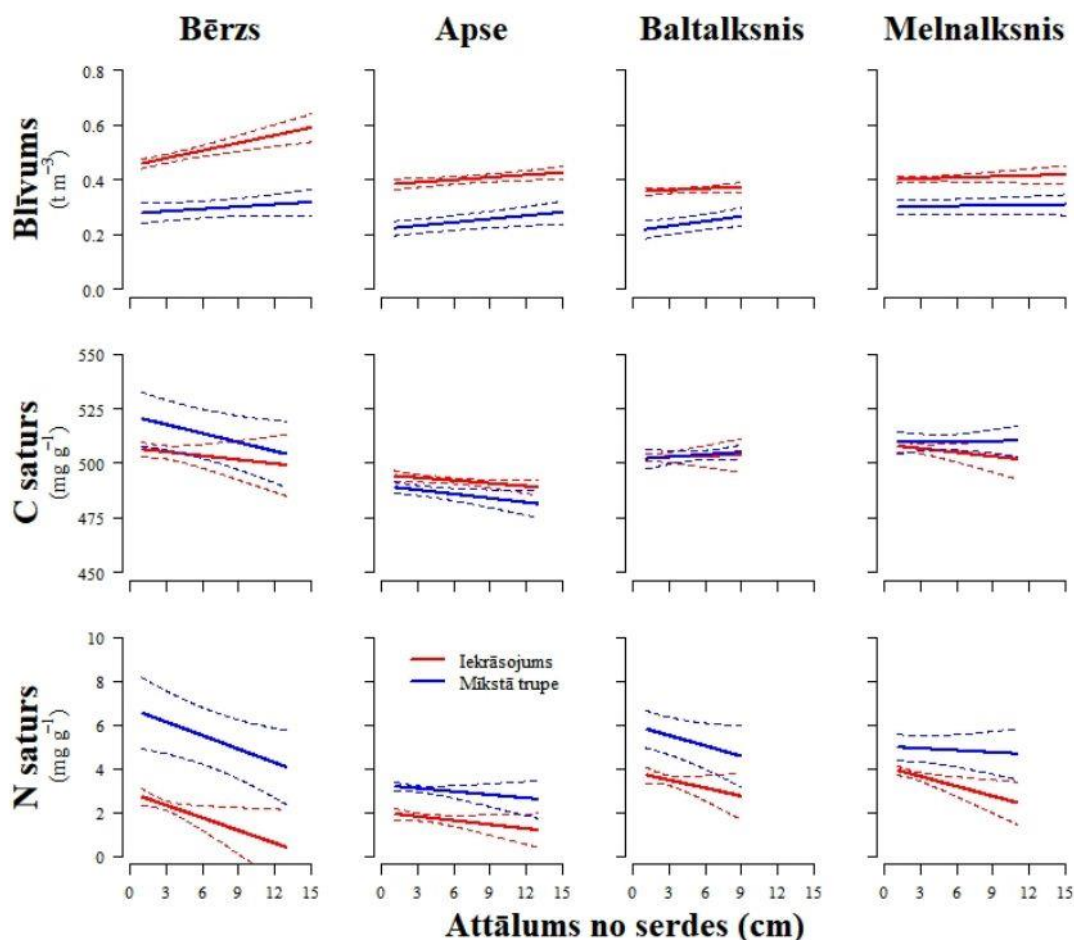
Attēls 3.7. Trupes celma laukuma saistība ar iekrāsojušās koksnes, mīkstās trupes un dobuma īpatsvaru stumbrā. Platība starp pārtrauktajām līnijām norāda uz 95% ticamības intervālu. Zvaigznīte norāda uz būtisku kopējā trupes celma ietekmi uz trupes īpatsvaru

Sadalījusies koksne jeb mīkstā trupe apses stumbros vidēji ir $16,3\% \pm 7,6\%$ no kopējā stumbra tilpuma, kas ir ievērojami lielāks daudzums salīdzinājumā ar citām pētītajām sugām. Tam potenciāli ir būtiska ietekme uz biomasas un oglekļa zudumiem apšu audzēs. Mīkstās trupes un dobuma apjoma prognozēšana apses stumbros ir izaicinoša, jo trupe var būt slēpta, progresējoša un dažreiz atrodas tikai stumbra augšdaļā. Dažkārt trupes infekcija koksnē nonāk caur neizaugušām zaru rētām, un tāpēc celma virsma ne vienmēr norāda uz būtiski lielu trupes klātbūtni stumbrā. Tomēr arī šādos gadījumos novērots, ka uz celma virsmas ir redzama iekrāsojusies koksne, kas atvieglo trupes ietekmes prognozēšanu. Šo faktu pārliecinoši apstiprina plašā apses datu izkliede, analizējot trupes īpatsvaru un to ietekmējošos faktoros.

Ietekme uz blīvumu, oglekļa un slāpekļa saturu

Koksnes paraugu analīzes apstiprināja, ka attālumam no serdes ir būtiska ietekme uz bērza ($p = 0,011$), apses ($p = 0,048$) un baltalkšņa ($p = 0,035$) reducēto blīvumu, kamēr mīkstā trupe būtiski ($p < 0,05$) ietekmēja gan reducēto blīvumu, gan N saturu. Koksnes blīvumam ir tendence palielināties mizas virzienā un šī tendence joprojām saglabājās, noārdoties koksnei trupes ietekmē. Pretēji koksnes blīvumam, N saturs visām sugām samazinās mizas virzienā (att. 3.8), tomēr šīs izmaiņas statistiski būtiskas bija tikai melnalkšnim. Attiecībā uz koksnes C saturu, pētījumā netika konstatētas būtiskas tā atšķirības dažādos attālumos no serdes. Tas nozīmē, ka analizējot trupes

ietekmi uz koksnes blīvumu un N saturu ir jāņem vērā analizēto paraugu novietojums stumbrā, bet attiecībā uz C saturu paraugu novietojumam nav izšķirošas nozīmes.



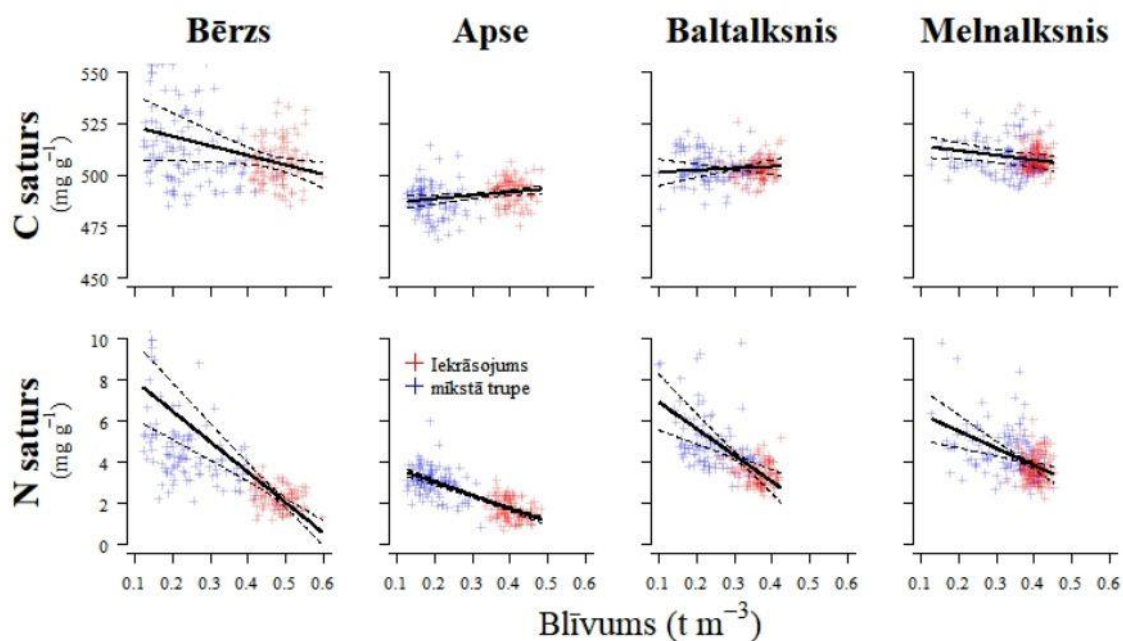
Attēls 3.8. Reducētā blīvuma, oglekļa (C) un slāpekļa (N) satura izmaiņas atkarībā no trupējušas koksnes klasifikācijas (iekrāsojums un mīkstā trupe) un attāluma no serdes. Laukums starp punktētām līnijām norāda uz 95% ticamības intervālu

Statistiskie testi un to vizualizācijas (att. 3.8 un 3.9) apstiprināja, ka trupes sadalīšanās pakāpei ir būtiska ietekme uz koksnes blīvumu un N saturu, kamēr pētījuma rezultāti attiecībā uz C saturu nebija tik viennozīmīgi. Atšķirībā no bērza, baltalkšņa un melnalkšņa, C saturu apses paraugos būtiski ($p = 0,020$) ietekmēja mīkstās trupes klātbūtne. Apsei trupes ietekmē, samazinoties koksnes blīvumam, samazinās arī koksnes C saturs. Pretēja tendence novērota analizētajos bērza paraugos, lielāks C saturs konstatēts mīkstās trupes paraugos, tomēr datu izkliede bija pārāk liela, lai šī tendence būtu statistiski nozīmīga. Līdzīgas tendences novērotas arī citos pētījumos Igaunijā un Lietuvā, analizējot C saturu atmirušajā koksne (Köster u.c., 2015; Stakėnas u.c., 2020).

Koksnes sadalīšanās ir sarežģīts process, kurā iesaistītas dažādas trupes sēnes, un katrai no tām ir sugai specifiskas spējas sadalīt lignīnu, celulozi un hemicelulozi, kas ir galvenās koksnes sastāvdaļas. Lignīns ir aromātisks polimērs, kas raksturo koksnes cietību un izturību pret mikrobiālo sadalīšanu. Celuloze un hemiceluloze ir polisaharīdi, kas veido koksnes šūnu sienas. Lai trupes sēnes varētu izmantot šos polisaharīdus kā oglekļa un enerģijas avotu, tām ir jāpārvar lignīna barjera, kas aprūpina piekļuvi celulozei un hemicelulozei. Oglekļa saturu koksne galvenokārt nosaka lignīna un celulozes īpatsvars, jo lignīns satur proporcionāli visvairāk oglekļa (60-72%), turpretī celulozē (44%) un hemicelulozē (28-30%) oglekļa saturs ir ievērojami mazāks. Ne visas trupes sēnes spēj sadalīt

lignīnu un tāpēc atkarībā no tā, kura sēne ir inficējusi koku, ir atkarīgs koksnes sadalīšanās ātrums un ķīmiski fizikālās īpašības. Pētījumā netika identificētas sēnes, kas izraisīja koksnes trupī. Tas varētu būt viens no iemesliem, kāpēc trupējušo paraugu C satura izmaiņu tendences atšķiras starp analizētajām sugām un paraugkokiem.

Koksni bojājošās sēnes var iedalīt koksni iekrāsojošajās sēnēs un koksni noārdošajās sēnēs. Koksni krāsojošo sēņu hifas koksnē pārvietojas pa šūnām un starpšūnu telpu, izmantojot tur esošās barības vielas. Tās izmaina koksnes krāsu, nesaārdot šūnas. Tomēr šo sēņu parādīšanās un attīstīšanās koksnē liecina par labvēlīgiem apstākļiem koksni noārdošo sēņu attīstībai. Koksni noārdošo sēņu hifas izdala fermentus, kas šķīdina koksnes šūnu sienīgas, pārveidojot tās vielās, ko sēnes izmanto kā barību. Sēnes un mikroorganismu barības avots ir koksnes celuloze, un tās izdala fermentus, kas pārvērš celulozi glikozē. Sēnēs uzņemtā glikoze oksidējas ar gaisa skābekli, veidojot CO₂ un ūdeni. Tāpēc sēņu inficēta koksne kļūst poraina, tās stiprība samazinās, un visbeidzot tā sairst. Koksni noārdošo sēņu attīstība notiek 2–35°C temperatūrā, un ja koksnes mitrums ir no 18–120%. Īpaši intensīva sēņu noārdošā darbība norisinās mainīga mitruma un temperatūras apstākļos.



Attēls 3.9. Oglekļa (C) un slāpekļa (N) satura izmaiņas atkarībā no reducētā blīvuma. Laukums starp punktētām līnijām norāda uz 95% ticamības intervālu

Novērtējot trapes ietekmi uz koku biomasu, ir svarīgi izprast, vai trapes kolonnas ietekmētajā tilpumā ir korekti izmantot veselas koksnes reducētā blīvuma un C satura vērtības. Pētījumā secināts, ka iekrāsojušās koksnes vidējās blīvuma vērtības ir ļoti līdzīgas vai vienādas ar netrupējušas koksnes vērtībām. Tas saskan ar citu pētījumu rezultātiem (Herājārvi, 2007; Herājārvi & Junkkonen, 2006; Jyske u.c., 2008; Liepins & Rieksts-Riekstins, 2013; Zanne u.c., 2009), jo stumbra koksnes iekrāsošanos izraisa fenolu oksidācija trupī izraisīto mikroorganismu darbības rezultātā, kas vēl neietekmē koksnes mehāniskās īpašības. Pētījumā analizējot prognozētās vidējās vērtības (tab. 3.4) secināts, ka mīkstās trapes reducētā blīvuma vidējās vērtības visām sugām ir būtiski mazākas, bet N satura vidējās vērtības ir būtiski lielākas, salīdzinot ar iekrāsojušos koksnī. Bērzam konstatēta vislielākā blīvuma samazināšanās trapes rezultātā (vidējā starpība starp iekrāsojušos koksnī un mīksto trupī = 0,196 g m⁻³), tam sekoja apse (0,152 g m⁻³), baltalksnis (0,132 g m⁻³) un melnalksnis (0,102 g m⁻³). Bērza un apses koksnes blīvums mīkstajā trupē vidēji bija samazinājies par 40%, salīdzinot ar iekrāsojušos koksnī. Savukārt, lielā C satura vērtību variēšana stumbra ietvaros

nesniedza pietiekošu atbalstu apgalvojumam, ka vidējās C satura vērtības iekrāsojušās koksnē un mīkstajā trupē ir būtiski atšķirīgas. Šis secinājums norāda uz to, ka trupējuša koka biomasas pārrēķināšanai C vienībās var izmantot nemainīgu C satura pārrēķināšanas koeficientu.

Tabula 3.4. Trupes veida ietekme uz koksnes reducēto blīvumu, oglekļa un slāpekļa saturu

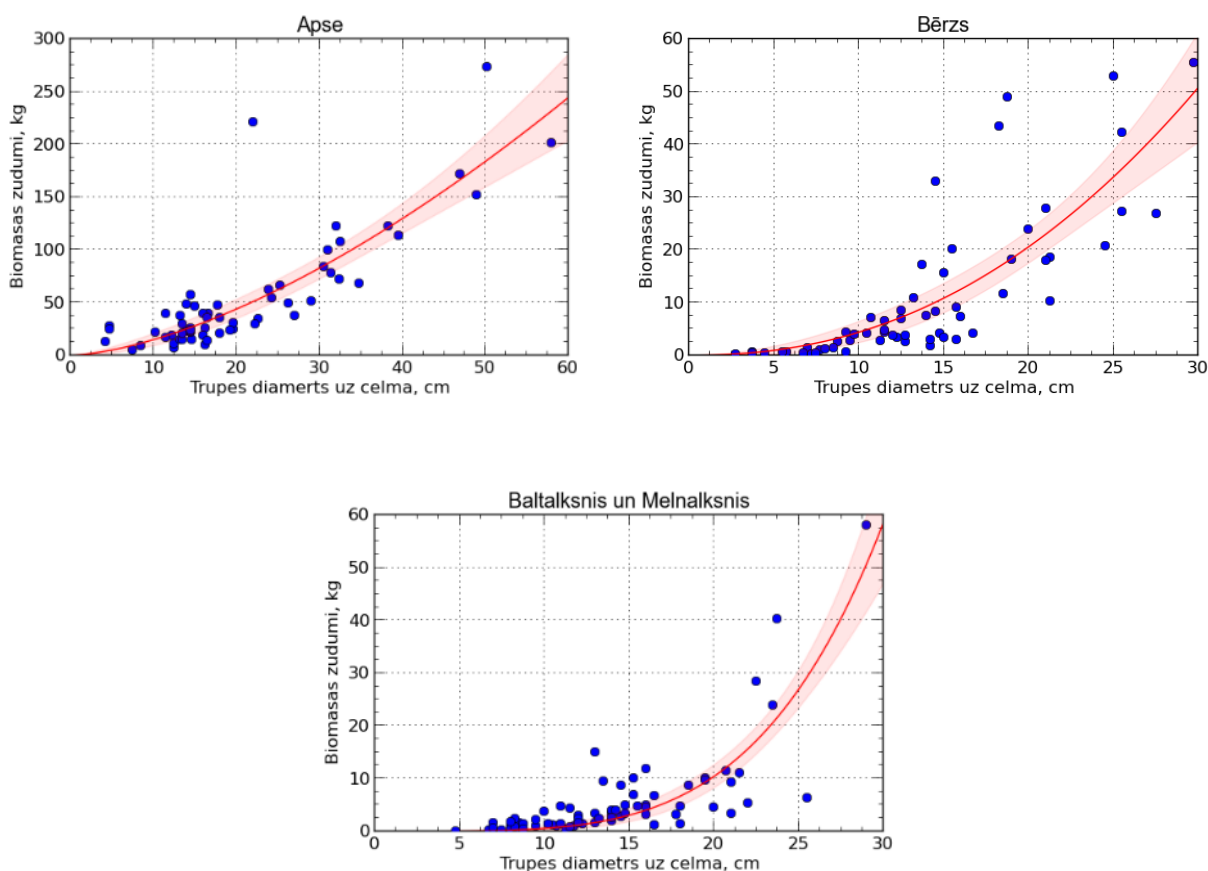
Parauga veids	Suga	Trupes veids	emmean ³	SE	Pāru salīdzināšana	
					Starpība	p-Value
Blīvums, t m ⁻³	Bērzs	Iekrāsojusies koksne	0,480	0,010	0,196	<,0001
		Mīkstā trupe	0,284	0,017		
	Apse	Iekrāsojusies koksne	0,394	0,008	0,157	0,0029
		Mīkstā trupe	0,237	0,016		
	Baltalksnis	Iekrāsojusies koksne	0,360	0,005	0,132	<,0001
		Mīkstā trupe	0,228	0,016		
	Melnalksnis	Iekrāsojusies koksne	0,403	0,006	0,102	0,0011
		Mīkstā trupe	0,301	0,014		
Oglekļa saturs, mg g ⁻¹	Bērzs	Iekrāsojusies koksne	505,0	1,880	-12,20	0,1062
		Mīkstā trupe	517,0	5,860		
	Apse	Iekrāsojusies koksne	492,4	1,027	5,98	0,2439
		Mīkstā trupe	486,4	2,519		
	Baltalksnis	Iekrāsojusies koksne	503,0	1,430	0,02	0,9938
		Mīkstā trupe	503,0	1,700		
	Melnalksnis	Iekrāsojusies koksne	507,0	1,350	-2,90	0,2020
		Mīkstā trupe	510,0	2,090		
Slāpekļa saturs, mg g ⁻¹	Bērzs	Iekrāsojusies koksne	2,2	0,146	-3,8	0,0044
		Mīkstā trupe	6,0	0,728		
	Apse	Iekrāsojusies koksne	1,7	0,096	-1,4	0,0174
		Mīkstā trupe	3,1	0,115		
	Baltalksnis	Iekrāsojusies koksne	3,4	0,187	-2,0	0,0171
		Mīkstā trupe	5,5	0,470		
	Melnalksnis	Iekrāsojusies koksne	3,6	0,137	-1,3	0,015
		Mīkstā trupe	4,9	0,320		

Serdes trupes ietekme uz stumbra biomasas aprēķiniem

Pētījumā modelēšanas vajadzībām izveidoti modeļi, ar kuriem prognozēt stumbra biomasas samazinājumu, izmērot serdes trupes diametru celma augstumā (att. 3.10). Vienādojumi izmantoti, kailcirtēs un kopšanas cirtēs, izmērot serdes trupes kopējo diametru (ieskaitot iekrāsojumu, mīksto

³ emmean – prognozētā vidējā vērtība, SE – vidējās vērtības standartklūda

trupī vai dobumu), aprēķinātu biomasas samazinājumu un līdz ar to trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu. Melnalksnim un baltalksnim stumbra biomasas samazinājums atkarībā no trupes diametra celma augstumā neatšķiras, tāpēc abām koku sugām var izmantot vienu vienādojumu. Serdes trupes ietekmes rezultātā analizētajiem paraugkokiem stumbra biomasa visvairāk samazinājās apsēm (vidēji par 7,2%), un atsevišķiem kokiem biomasas zudumi bija robežās no 1,2% līdz 15,4%. Trupējušajiem bērzu paraugkokiem biomasa vidēji bija samazinājusies par 3,2% un atsevišķiem kokiem bija robežās no 0,1 līdz 11,1%. Serdes trupes ietekmes rezultātā, analizētajiem alkšņiem stumbra biomasa samazinājās par 0,6 līdz 18,1% baltalksnim, bet melnalksnim par 0,1 līdz 9,4%, salīdzinot ar nebojātu koku. Vidējais stumbra biomasas samazinājums baltalksnim ir 4,4%, bet melnalksnim – 2,0%.

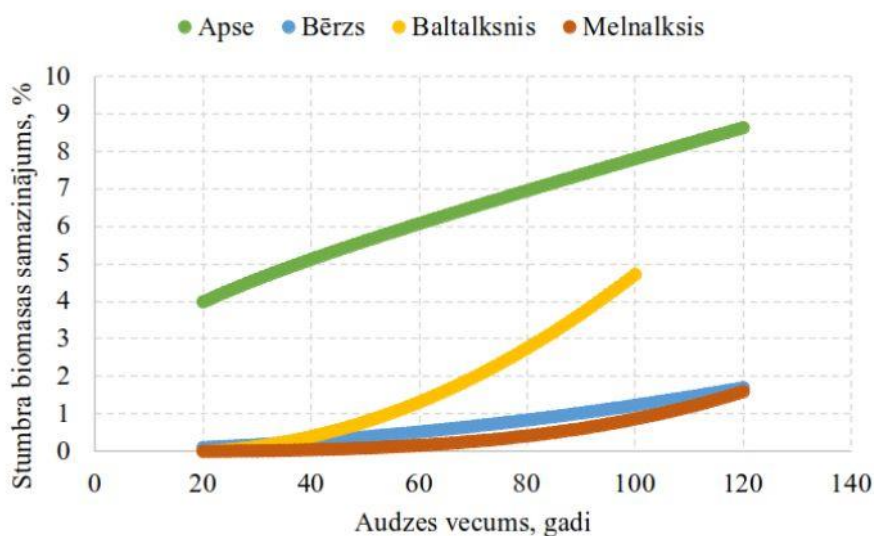


Attēls 3.10. Prognozētais stumbra biomasas samazinājums, atkarībā no trupes diametra uz celma virsmas. 95% ticamības intervāls iekrāsots sarkans

Serdes trupes klātbūtne kokos ir papildus nenoteiktības avots, kas ietekmē virszemes biomasas aprēķinus, tomēr tikai daži pētījumi ir mēģinājuši novērtēt trupes ietekmi uz biomasu vai oglekļa zudumiem. Analizējot vairāk nekā 3000 dažādu koku datus tropu mežos, ir novērtēts, ka serdes trupe var samazināt kopējo virszemes biomasu līdz pat 7%, salīdzinot ar līdzšinējām prognozēm, kurās pieņemts, ka visi koki ir trupes neskarti (Heineman u.c., 2015). Vecos ozolu mežos Vācijā, serdes trupe konstatēta apmēram 6% kokiem, kā rezultātā ozolu audžu biomasu tika pārvērtēta apmēram par 1% (Hauck u.c., 2023). Cita pētījuma rezultāti, analizējot 2,8 hektāru lielu meža masīvu Amerikas Savienotajās Valstīs, secināja, ka koku trupe var izraisīt oglekļa uzkrājuma samazinājumu robežās no 0,13% līdz 36,7%, uzsverot trupes būtisko nozīmi meža ekosistēmu oglekļa aprītes ciklā (Marra u.c., 2018). Piepilsētu mežos veiktā pētījumā Austrālijā, secināja, ka

trupējušu koku oglekļa uzkrājums samazinājies par 69-110 kg, kas atbilst 5-25% no ietekmētā stumbra tilpuma (Orozco-Aguilar u.c., 2018).

Šobrīd serdes trapes ietekme uz audzes biomasu netiek vērtēta nevienas valsts SEG inventarizācijas ziņojumos un pārskatos, jo šādu datu iegūšana ir ļoti laikietilpīga, un zinātnieki vēl diskutē par dažādu trapes ietekmes izvērtēšanas metožu precizitāti un piemērotību šim mērķim. Audzes līmeņa stumbra biomasas samazinājums, saskaņā ar pētījuma sākotnējiem rezultātiem, uzrādīja ievērojamas atšķirības starp analizētajām sugām (att. 3.11). Prognozes ir veidotas, ņemot vērā trupējušo koku sastopamības datus audzēs, vidējos trapes celma virsmas laukuma datus kopšanas cirtēs un kailcirtēs, kā arī individuālu koku biomasas samazinājuma vienādojumus. Pētījuma rezultāti apstiprina, ka lielākā stumbra biomasas pārvērtēšana, aptuveni 4-9% atkarībā no audzes vecuma, ir apšu audzēs. Baltalkšņiem stumbra biomasas samazinājums ir līdz 4%, kamēr bērziem un melnalkšņiem zudumi nepārsniedz vidēji 2% līdz 120 gadu vecumam.



Attēls 3.11. Prognozētais stumbra biomasas samazinājums lapkoku audzēs atkarībā no vecuma

Koka stumbrs, lai gan ir lielākā biomasas komponente, nav vienīgais, ko ietekmē trupe. Izšķir arī celma un sakņu trupī, kuras ietekmē koka pazemes biomasu. Trapes iedarbība uz koka dzīvotspēju ir atkarīga no tās izvietojuma kokā. Visnozīmīgākās ir tieši sakņu trapes, jo to attīstība kavē ūdens un minerālvielu transportēšanu uz stumbru un zaļo vainagu, kā rezultātā kokiem samazinās pieaugums, un lielākā daļa bojāto sakņu lēnām atmirst un galarezultātā nokalst. Sakņu trapes ietekme uz koka dzīvotspēju ir atkarīga ne tikai no sakņu trupēšanas pakāpes, bet arī no koku sugas. Tāpat kā serdes trupe, arī sakņu trupe var attīstīties dzīva koka koksnē bez ārējiem simptomiem līdz brīdim, kamēr vismaz puse no koka sakņu sistēmas vai celma daļas ir inficēta. Sakņu trapes izraisītie bojājumu apmēri biomasas vienībās ir ļoti grūti novērtējami, jo tie ir slēpti zem zemes, turklāt pasaulē nav veikti pētījumi par šo tēmu. Novērtējot celma un sakņu trapes ietekmi uz pazemes biomasu, būtu jāņem vērā ne tikai to sakņu apjoms, kuras ir atmirusas trapes bojājumu dēļ, bet arī koksnes struktūras izmaiņas celma un lielāko sakņu koksnē. Līdz precīzāku datu ieguvei, celma un sakņu trapes ietekmes raksturošanai ieteicams izmantot to pašu biomasas samazinājuma vērtību, kas attiecas uz stumbra biomasu.

3.1.3. Kopsavilkums

Serdes trapes ietekmes raksturošanai lapu koku audzēs, pētījumā analizēti trapes sastopamības dati no 270 audzēm un detalizētai izpētei kopā nozāģēti 190 trapes bojāti koki. Secināts, ka sugai ir visbūtiskākā ietekme uz kopējo trapes īpatsvaru stumbrā, pēc tam seko audzes vecuma ietekme un tad koka caurmēra ietekme. Koksnes paraugu analīzes apstiprināja, ka, trapei progresējot, būtiski samazinās koksnes blīvums un palielinās slāpekļa saturs. Savukārt trupējuša koka biomasas pārrēķināšanai C vienībās var izmantot nemainīgu C satura pārrēķināšanas koeficientu. Saskaņā ar mūsu rezultātiem, trapes sastopamība, izplatība koku stumbros un ietekme uz stumbra biomasu apšu audzēs ir lielāka, salīdzinot ar bērziem, melnalkšņiem un baltalkšņiem. Trapes ietekmes raksturošanai, biomasas samazinājuma korekcija ir piemērojama ne tikai stumbra biomasas, bet arī pazemes biomasas aprēķiniem.

Pētījuma rezultāti publicēti rakstā “A Comparative Study of Stem Rot Severity in Mature Deciduous Trees in Latvia” (Liepiņš u.c., 2024).

2024. gadā sāksim trapes izplatības un sastopamības analīzi parastās egles un priedes audzēs. Veiksim trupējušas koksnes paraugu ievākšanu augošos kokos vai no celmu virsmas blīvuma, slāpekļa un oglekļa satura izmaiņu raksturošanai, kā arī uzsāksim stumbra trapes ietekmes uz dzīvu koku biomasu analīzi egles un priedes audzēs.

3.2. Izstrādāt oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes trapes ietekmē pie dažādiem meža apsaimniekošanas scenārijiem

Pētījuma mērķis 2023. gadā ir izstrādāt vienādojumus oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozēšanai serdes trapes ietekmētiem bērziem un apsei un veikt iegūto datu kvalitātes kontroli. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, iekļauti scenāriju analīzes rezultāti, salīdzinot ikdienišķo meža apsaimniekošanas scenāriju, ikdienišķo meža apsaimniekošanas scenāriju, kurā iekļauti pieņēmumi par saimnieciskās darbības ierobežojumiem saskaņā ar dabas atjaunošanas regulas projektu, kā arī papildinātais scenārijs, kurā ikdienišķā meža apsaimniekošanas scenārijs papildināts ar pieņēmumiem par mērķtiecīgas meža apsaimniekošanas pasākumu ieviešanu (LVMI Silava, 2023a).

Lai novērtētu trapes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu kokaugu biomasā, izmantots audzes vecums un valdošā suga, lai raksturotu stumbra biomasas zudumus, salīdzinot ar veselu koku biomasu. Veselu koku biomasas raksturošanai izmantoti pētījuma ietvaros izstrādātie vienādojumi (Liepiņš u.c., 2022). Oglekļa uzkrājuma samazinājums pieņemts proporcionāli biomasas zudumiem. Oglekļa uzkrājuma aprēķinu secība:

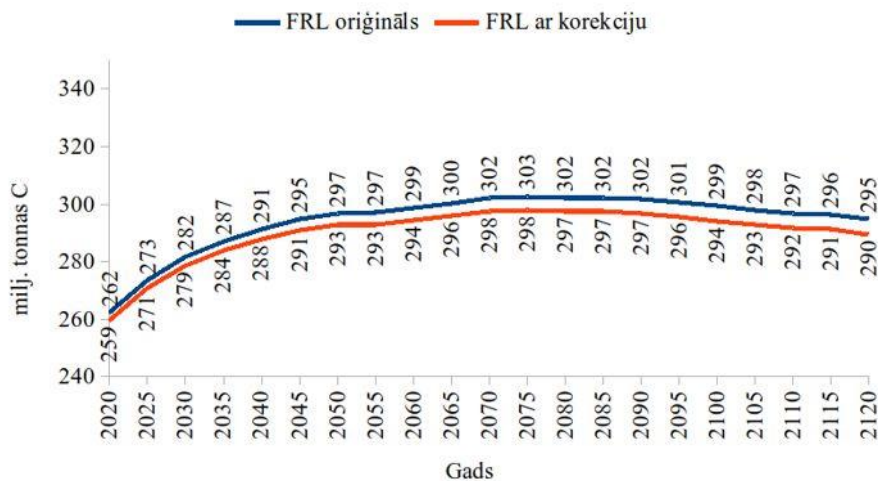
1. biomasas aprēķins veselu koku stumbros atbilstoši kopējai krājai un valdošās sugas īpatsvaram audzē (Liepiņš u.c., 2022);
2. stumbra biomasas zudumu aprēķins atbilstoši pētījuma ietvaros izstrādājamiem vienādojumiem;
3. zaru biomasas aprēķins (Liepiņš u.c., 2022) un kopējās virszemes biomasas aprēķins veselīem kokiem un ņemot vērā biomasas zudumus;
4. relatīvā virszemes biomasas samazinājuma trapes ietekmē aprēķins, salīdzinot biomasas aprēķinu veselīem kokiem un biomasas aprēķinu, kurā ietverta trapes ietekme;
5. pazemes biomasas aprēķins veselīem kokiem (Liepiņš u.c., 2022) un pārrēķins uz trapes ietekmētu biomasu, izmantojot iepriekšējā solī iegūto trapes ietekmes faktoru;
6. relatīvā virszemes un pazemes biomasas samazinājuma trapes ietekmē aprēķins, salīdzinot biomasas aprēķinu veselīem kokiem un biomasas aprēķinu, kurā ietverta trapes ietekme;

7. biomasas pārrēķins uz oglekļa uzkrājumu, izmantojot valdošās sugas oglekļa satura rādītājus (Bārdule u.c., 2021).

Aprēķinu 6. solī iegūto koeficientu izmanto, lai raksturotu oglekļa ieneses samazinājumu nedzīvajā koksņē, reizinot oglekļa uzkrājumu atmirušajos kokos, kas aprēķināts, izmantojot veselu koku biomasas vienādojumus, ar iegūto relatīvo biomasas samazinājuma rādītāju.

Tieši tāpat 6. solī iegūto koeficientu izmanto, lai raksturotu oglekļa zudumus dzīvo koku biomasā mežizstrādes rezultātā, bet 2. solī iegūto koeficientu izmanto, lai raksturotu oglekļa zudumus stumbra koksņē. Lai novērstu SEG emisiju samazinājuma pārvērtējumu, rēķinot meža biokurināmā aizstāšanas efektu, oglekļa zudumi nozāģēto koku biomasā ir jāattiecina uz meža biokurināmo, pieņemot, ka kurināmā siltumspējas samazinājums ir proporcionāls kopējam oglekļa zudumam nozāģēto koku stumbra biomasā, t.i. ja stumbra biomasas samazinājums ir 5%, bet veselu koku stumbra biomasā ir 100 tonnas, biomasas zudums ir 5 tonnas un to attiecina uz malku. Attiecīgi, ja malkas īpatsvars ir 10% no stumbra biomasas (10 tonnas), pēc pārrēķina malkas biomasā ir 5 tonnas. Šāda pieeja ļauj attiecināt oglekļa zudumus nevis proporcionāli uz visiem koksnes produktiem, bet uz to produktu grupu, kur zudumi, visticamāk, veidojas, t.i. meža biokurināmo. Biomasas zudumu aprēķins nav attiecināms uz mežizstrādes atliekām, kokapstrādes atliekām un reciklēto koksni, bet, modelējot celmu ieguvu, var prognozēt virszemes biomasas zudumam proporcionālu oglekļa uzkrājuma un siltumspējas samazinājumu kurināmajā. Aprēķins darbojas arī kā papildus loģiskās kontroles mehānisms meža biokurināmā aprēķinos.

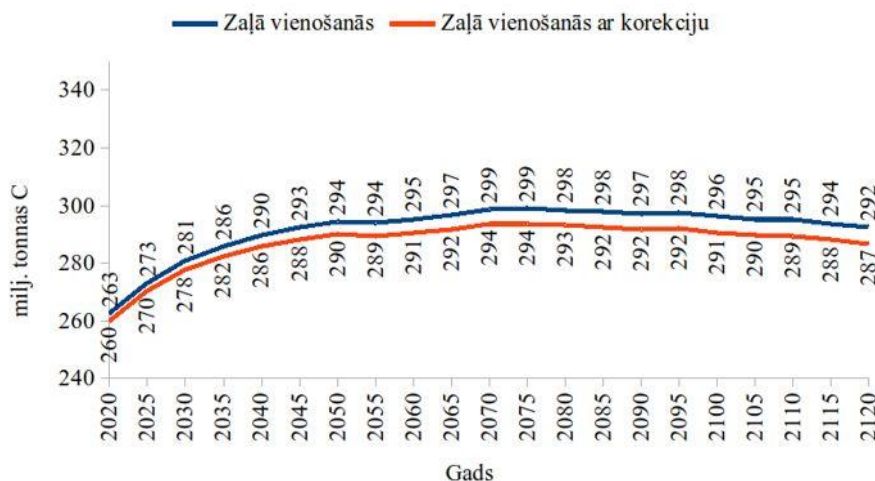
Aprēķinu rezultāti Mežsaimniecības references līmeņa 2021.-2025. gadam parādīti att. 3.12. Grafikā parādīts oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā un kriticalās. Pārrēķinu ietekme uz kopējo oglekļa uzkrājumu ir nebūtiska – 2025. gadā tas samazinās par 1% un turpmāko 100 gadu laikā par 1,8%.



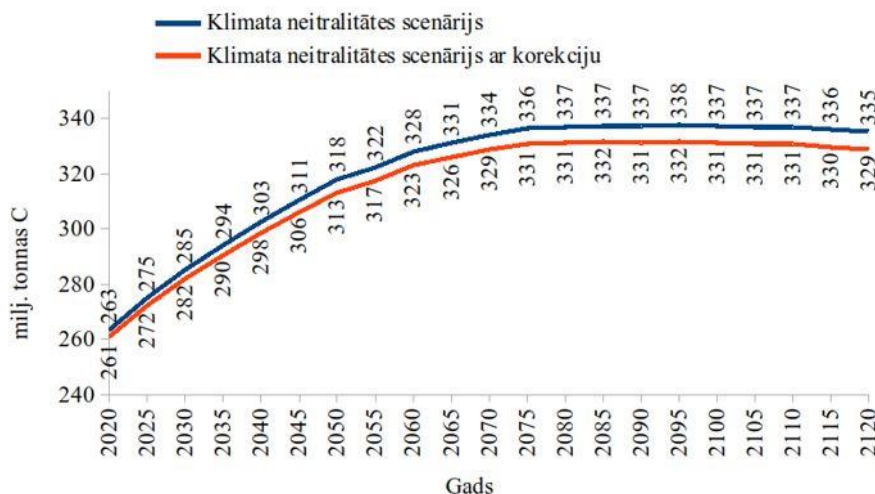
Attēls 3.12. Oglekļa uzkrājuma prognoze biomasā un kriticalās meža references līmeņa (FRL) scenārijā

Att. 3.13 dots pārrēķinu rezultāts scenārijam, kas paredz saimnieciskās darbības pārtraukšanu 10% mežu, galvenokārt, vecās skuju koku audzēs, un saimnieciskās darbības ierobežošanu vēl 20% mežu (“zaļās vienošanās” scenārijs). Arī šajā gadījumā ietekme ir nebūtiska un līdz 2030. gadam, veicot pārrēķinu, sasniedz 1,2%, bet 100 gadu laikā – 2,0%.

Att. 3.14 dots pārrēķinu rezultāts “klimata neitralitātes” scenārijam, kas iesniegts Nacionālajā klimata un enerģētikas plānā un kas apvieno “zaļās vienošanās” scenāriju un pasākumus, kas vērsti uz klimata neitralitātes sasniegšanu ZIZIMM sektorā. Arī šajā scenārijā pārrēķinu ietekme ir nebūtiska – 1,2% 2030. gadā un 1,8% pēc 100 gadiem.



Attēls 3.13. Oglekļa uzkrājuma prognoze biomasā un kritālās “zaļās vienošanās” scenārijā



Attēls 3.14. Oglekļa uzkrājuma prognoze biomasā un kritālās “klimata neitralitātes” scenārijā

Precīzāku vērtējumu par trapes ietekmi uz oglekļa zudumiem no biomasas varēs iegūt pēc vienādojumu izstrādāšanas skuju kokiem, aizstājot šobrīd izmantojamo pieņēmumu, ka oglekļa zudumi skuju koku audzēs atbilst vidējiem oglekļa zudumiem lapu koku biomasā.

3.3. Novērtēt trapes ierobežošanas darbību ietekmi uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti meža zemēs

Pētījuma nolūks 2023. gadā ir trapes ierobežošanas pasākumu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti meža zemēs novērtēšanas metožu izstrādāšana atbilstoši pieejamajām zināšanām un iespējamās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti novērtēšana. Pētījuma ietvaros turpinās kamerālie darbi, tajā skaitā trapes ierobežošanas pasākumu ietekmes aprēķinu metodikas izstrādāšana atbilstoši zinātniskajā literatūrā pieejamajām zināšanām; trapes ierobežošanas pasākumu iespējamās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti analīze meža apsaimniekošanas prognožu scenārijos un pārskata dokumentācijas sagatavošana. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā iekļauti vienādojumi oglekļa zudumu raksturošanai lapu koku audzēs trapes ietekmē, atkarībā no koku vecuma, kā arī sagatavoti aprēķinu piemēri galvenās cirtes vecuma kritēriju izmaiņu ietekmes uz oglekļa apriti raksturošanai.

Vienādojumi oglekļa zudumu raksturošana bērzu, apses, melnalkšņa un baltalkšņa audzēs izstrādāti, balstoties uz Liepiņš u.c. (2024) izstrādāto oglekļa zudumu raksturojumu. Formulās 2, 3, 4, 5 un 6 biomasa veselīgā audzē atbilst Liepiņš u.c. (2022) izstrādātajiem vienādojumiem.

$$\text{Apse} \quad C_l = \frac{-0,00008 * A^2 + 0,05651 * A + 2,96436}{100}, \quad (2)$$

kur

C_l – oglekļa zudums biomasā, salīdzinot ar veselīgu audzi (%);
 A – koku vecums, gados.

$$\text{Bērzs} \quad C_l = \frac{0,00009 * A^2 + 0,00305 * A + 0,0066}{100} \quad (3)$$

$$\text{Baltalksnis} \quad C_l = \frac{0,00065 * A^2 - 0,01938 * A + 0,12727}{100} \quad (4)$$

$$\text{Melnalksnis} \quad C_l = \frac{0,0000003 * A^{3,2213365}}{100} \quad (5)$$

$$\text{Skuju koki}^4 \quad C_l = \frac{0,00012 * A^{1,95494}}{100} \quad (6)$$

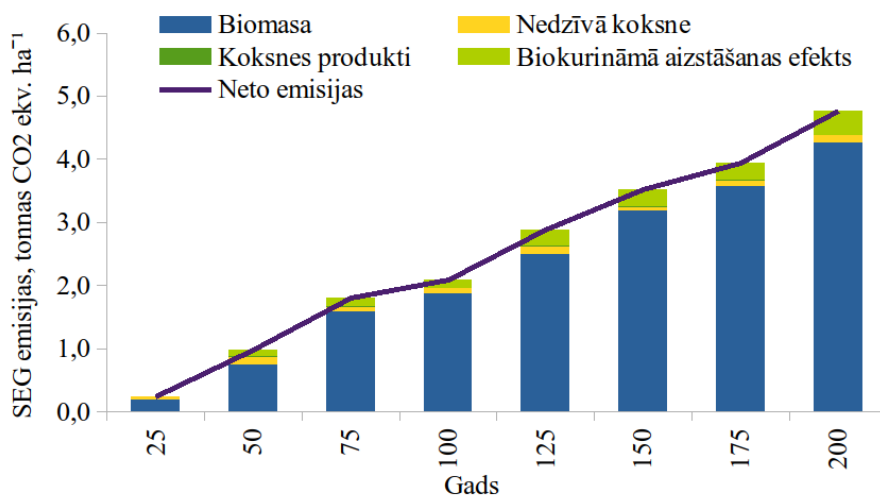
Veicot efektīvāku mežsaimniecību, var būtiski mazināt trapes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu koku stumbrā: apsei veicot galveno cirti 41 gada vecumā nevis vidēji 60 gadu vecumā kā līdz šim – par 20% (kopējie zudumi 7%), bērzam, nodrošinot galveno cirti pēc mērķa caurmēra, vidēji 50 gadu vecumā nevis pēc 71 gadu vecuma sasniegšanas – par 76% (kopējie zudumi 0,4%). Melnalksnim sakarība ir līdzīga kā bērzam, tikai šai koku sugai mērķa caurmērs nav noteikts; attiecīgi, mērķa caurmēra noteikšana melnalksnim ļautu samazināt oglekļa zudumus no koku biomasas par aptuveni 76% (kopējie zudumi 0,3%).

Atsevišķā pirmās bonitātes bērza audzē, ko atjauno pēc mērķa vecuma sasniegšanas, trupe palielina neto emisijas par 0,4% 200 gadu laikā (att. 3.15), salīdzinot ar veselīgu audzi. Kopējais SEG emisiju samazinājums bērza audzēs 200 gadu laikā sasniedz 1357 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹, tajā skaitā lielāko daļu nodrošina biokurināmā aizstāšanas efekts (att. 3.16).

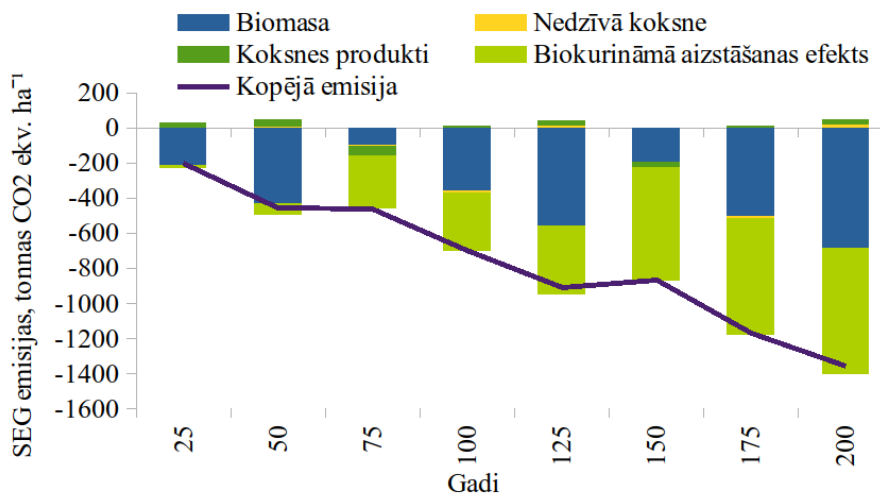
Mežizstrādes vecuma samazināšana, atjaunojot audzi pēc mērķa caurmēra sasniegšanas (46 gadu vecumā) būtiski neietekmē SEG emisijas (att. 3.17), tomēr samazinās kokmateriālu ar īsu kalpošanas termiņu īpatsvara pieaugums, kā rezultātā emisijas var pat pieaugt.

⁴ Oglekļa uzkrājuma samazinājums aprēķināts, kā vidējais aritmētiskais no oglekļa uzkrājuma samazinājuma bērza un melnalkšņa audzēs. Pēc empīrisku datu ieguves skuju koku audzēs, izstrādāsim vienādojumus eglei un priedei.

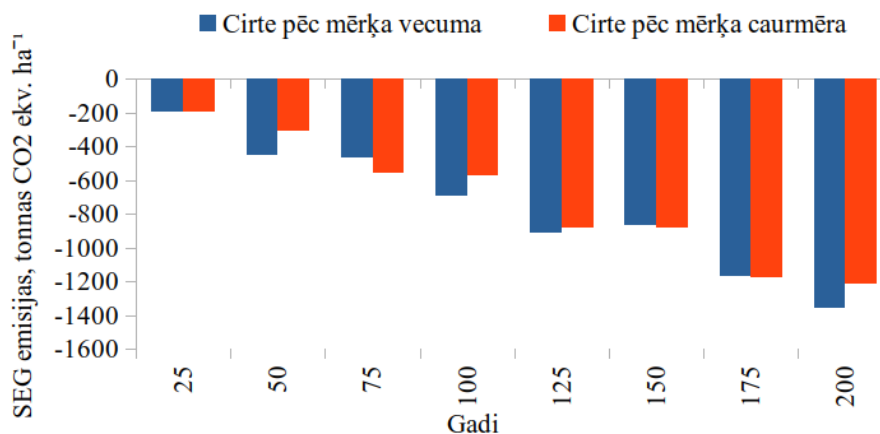
Oglekļa aprīte meža ekosistēmā



Attēls 3.15. SEG emisiju pieaugums pirmās bonitātes bērza audzē trupes ietekmē



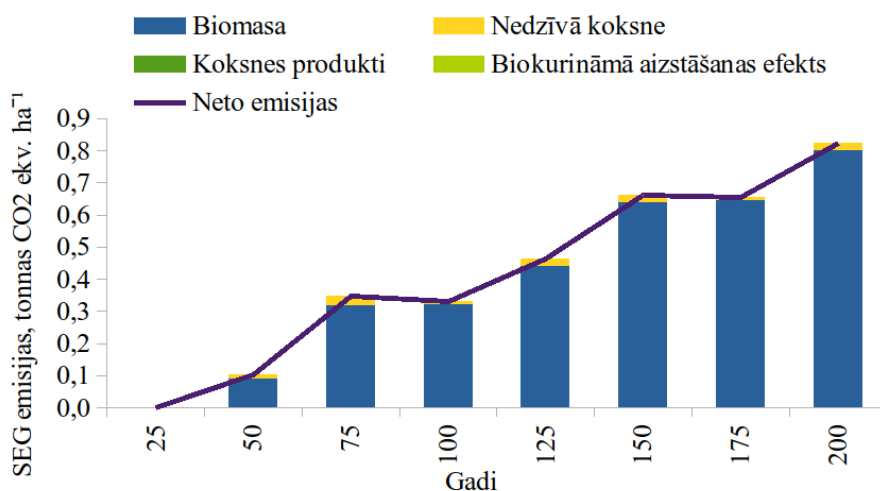
Attēls 3.16. Neto SEG emisiju samazinājums pirmās bonitātes bērza audzē



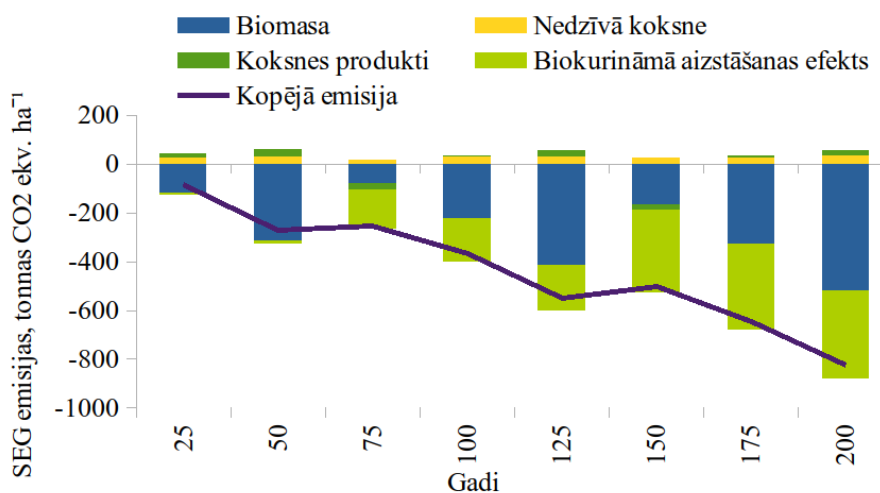
Attēls 3.17. Mežizstrādes vecuma samazināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes bērza audzē

Atsevišķā pirmās bonitātes melnalkšņa audzē, ko atjauno pēc mērķa vecuma sasniegšanas, trupe palielina neto emisijas par 0,1% 200 gadu laikā (att. 3.18), salīdzinot ar veselīgu audzi. Kopējais SEG emisiju samazinājums melnalkšņa audzēs 200 gadu laikā sasniedz 822 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹, tajā skaitā lielāko daļu, tāpat kā bērza audzēs, nodrošina biokurināmā aizstāšanas efekts (att. 3.19).

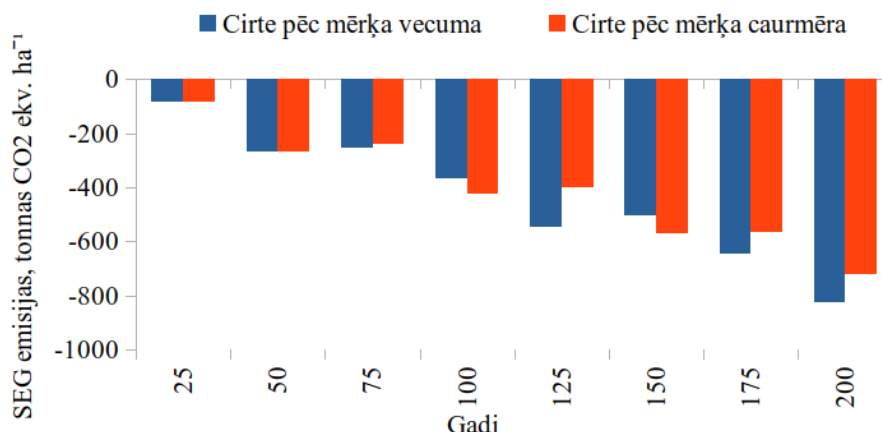
Mežizstrādes vecuma samazināšana, atjaunojot audzi pēc mērķa caurmēra sasniegšanas (55 gadu vecumā, pieņemot, ka tas, tāpat kā bērzam, ir 25 cm) var nedaudz palielināt SEG emisijas (att. 3.20), kas saistīts ar kokmateriālu ar īsu kalpošanas termiņu īpatsvara pieaugumu.



Attēls 3.18. SEG emisiju pieaugums pirmās bonitātes melnalkšņa audzē trapes ietekmē



Attēls 3.19. Neto SEG emisiju samazinājums pirmās bonitātes melnalkšņa audzē

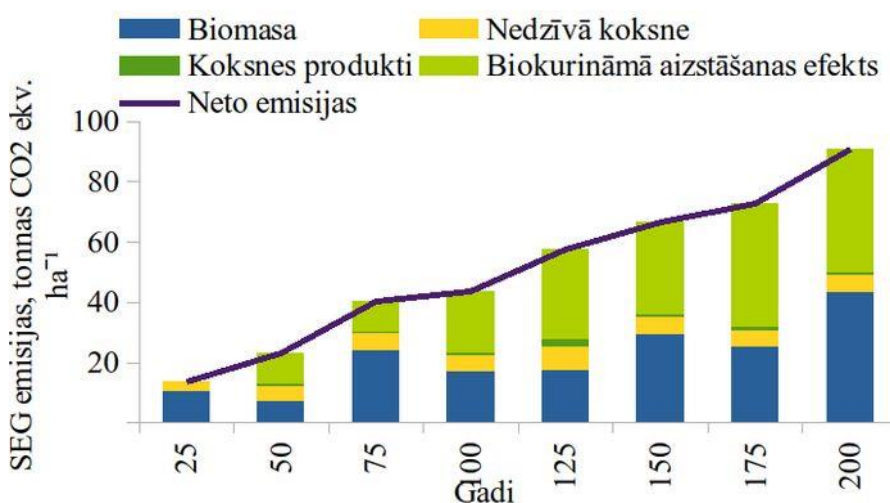


Attēls 3.20. Mežizstrādes vecuma samazināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes melnalkšņa audzē

Atsevišķā pirmās bonitātes apses audzē, ko mērķtiecīgi atjauno pēc mērķa vecuma sasniegšanas, trupe palielina neto emisijas par 5,6% 200 gadu laikā (att. 3.21), salīdzinot ar veselīgu audzi. Kopējais SEG emisiju samazinājums apses audzē 200 gadu laikā sasniedz 1525 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹, tajā skaitā lielāko daļu, tāpat kā bērza un melnalkšņa audzēs, nodrošina biokurināmā aizstāšanas efekts (att. 3.22).

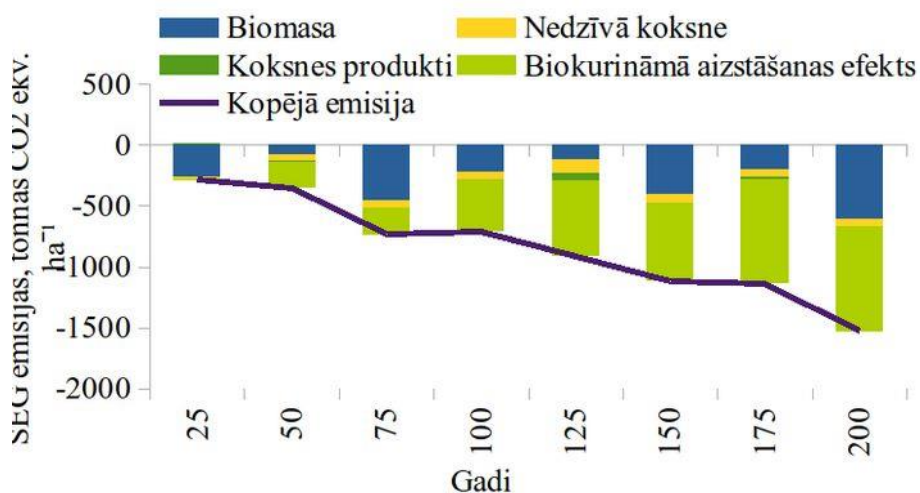
Mežizstrādes vecuma samazināšana, atjaunojot audzi pēc mērķa caurmēra sasniegšanas (30 gadu vecumā, pieņemot, ka tas, tāpat kā bērzam, ir 25 cm) var palielināt SEG emisijas (att. 3.23), kas saistīts ar kokmateriālu ar īsu kalpošanas termiņu īpatsvara pieaugumu. Tomēr arī mežizstrādes mērķa vecuma palielināšana līdz 61 gadam palielina SEG emisijas (att. 3.24), pateicoties oglekļa zudumiem no biomasas trapes ietekmē un kokmateriālu ar ilgu kalpošanas termiņu īpatsvara samazināšanos.

Aprēķinos nav ņemts vērā dabisko traucējumu risks, kas var būtiski ietekmēt aprēķinu rezultātu, palielinot saīsināta aprites cikla priekšrocības.

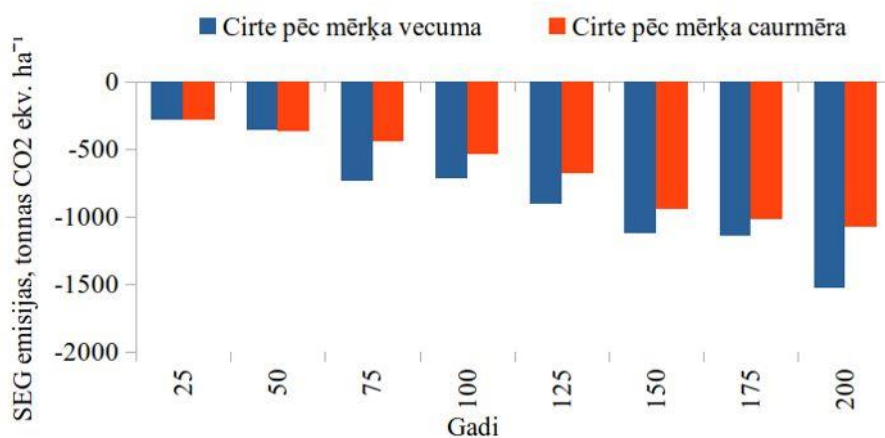


Attēls 3.21. SEG emisiju pieaugums pirmās bonitātes apses audzē trapes ietekmē

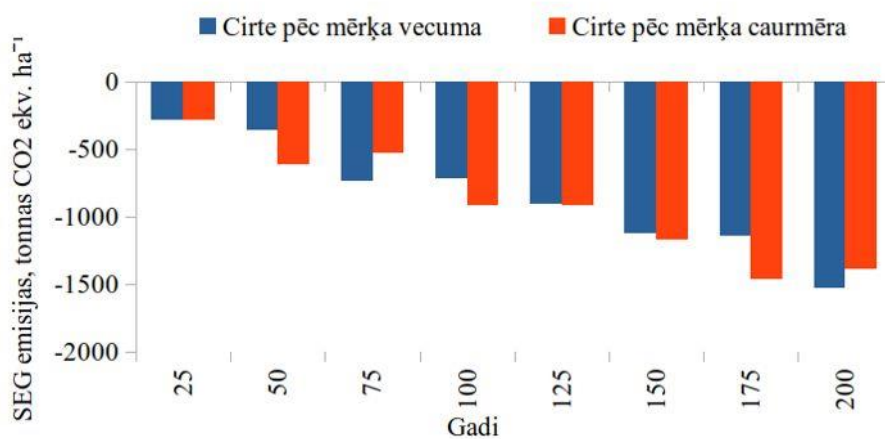
Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 3.22. Neto SEG emisiju samazinājums pirmās bonitātes apses audzē



Attēls 3.23. Mežizstrādes vecuma samazināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes apses audzē



Attēls 3.24. Mežizstrādes vecuma palielināšanas ietekme uz neto emisijām pirmās bonitātes apses audzē

Pētījuma rezultātu kopsavilkums par apaļo kokmateriālu iznākumu lapu koku audzēs iesniegts publicēšanai žurnālā *Forests*. Raksta nosaukums “Saw log recovery in birch, black alder and aspen stands of hemiboreal forests in Latvia” un tas pieejams priekšskatīšanai *Preprints* vietnē⁵. Pētījumā secināts, ka teorētiskais kokmateriālu prognožu modelis mēdz par zemu novērtēt zāģbaļķu iznākumu jaunākās audzēs ar un mazākā diametra kokiem, bet pārspilē zāģbaļķu iznākumu, palielinoties koku vecumam un caurmēram. Atšķirību starp teorētisko modeli un faktisko kokmateriālu iznākumu būtiski ietekmē augsnes tips, vecums un bērza vidējais caurmērs. Melnalkšņa un apses audzēs atšķirību galvenokārt ietekmē vecums un vidējais caurmērs. Šīs atziņas izceļ zāģbaļķu iznākuma prognozēšanas sarežģītību un uzsver, cik svarīgi ir ņemt vērā tādus faktoros kā augsnes tips, vecums, kā arī parasti izmantotais caurmērs, pilnveidojot teorētiskos modeļus precīzākiem novērtējumiem. Pētījumā secināts, ka esošās zināšanas par dažādu bojājumu, tajā skaitā trupes, ietekmi uz vērtīgāko apaļo kokmateriālu iznākumu ir nepietiekošas, lai prognozētu ar dažādiem bojājumiem saistītu kokmateriālu kvalitātes samazināšanos. Turpmākajos pētījumos jāizvirza uzdevums izveidot šādus prognožu modeļus.

⁵ <https://www.preprints.org/manuscript/202312.0719/v1>

4. SEG EMISIJU SAMAZINĀŠANA MEŽA APSAIMNIEKOŠANĀ KLIMATA PĀRMAIŅU MAZINĀŠANAS KONTEKSTĀ

4.1. Esošo modeļteritoriju un pētījumu apzināšana un ietekmes uz oglekļa uzkrājumu un SEG emisijām apzināšana

4.1.1. Jaunaudžu kopšanas cirtes

Pētījuma ietvaros veikta parauglaukumu marķējumu atjaunošana, taksācijas rādītāju noteikšana un ģeotelpisko datu iegūšana, izmantojot lāzerskenēšanas metodi, 20 audzēs, kurās iepriekšējo 10-15 gados veikti jaunaudžu kopšanas ciršu izmēģinājumi, eksperimentējot ar dažādām biežībām. Turpmākajos pētījuma etapos šos datus izmantosim, lai raksturotu jaunaudžu kopšanas ciršu **ietekmi** uz SEG emisijām. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā papildināta rezultātu analīze, papildināta informācija par jaunaudžu kopšanas ciršu ietekmi un sagatavots SEG gāzu apmaiņas analīžu rezultātu kopsavilkums.

Lāzerskenēšana, vienlaikus izveidojot arī nogabalu RGB ortofotoainas, veikta arī 2022. gadā ierīkotajos izpētes objektos. Pārskata sagatavošanas brīdī tālizpētes dati iegūti sekojošās audzēs pētīšanas stacijas Kalsnavas mežu novadā – 22-7⁶, 74-4, 74-5, 74-7, 84-7, 85-4, 94-11, 111-4, 116-4, 130-4, 167-6, 175-10, 186-7, 188-35, 193-3, 194-2, 235-7, 260-11, 261-6, 279-18, 284-20, 284-21; Jelgavas mežu novadā – 31-13, 31-15, 34-10, 34-12, 34-14, 54-4, 54-12; un Talsu mežu novadā – 8-2, 8-13, 9-14, 10-18, 10-29, 12-2, 12-9, 16-5, 22-28, 25-7, 33-3 un 35-16.

Jaunaudžu uzmērīšanas rezultāti apkopoti rakstā “The Effect of Forest Stand Thinning on Tree Biomass Carbon Stock”, kas iesniegts publicēšanai rakstu krājumā Engineering for rural development. Rakstā secināts, ka pētījums sniedz vērtīgu ieskatu niansētajās attiecībās starp koku sugām, audzes vecumu un kopšanas laika ietekmi uz oglekļa uzkrāšanos. Novērotās tendences un atšķirības uzsver meža apsaimniekošanas stratēģiju nozīmi, ņemot vērā gan sugām raksturīgās pazīmes, gan audzes vecuma dinamiku. Kopšanas rezultātā uzkrāts papildu ogleklis dzīvajā biomasā visu vērtēto koku sugu audzēs. Kopšanas efekts ir 3-6%, atkarībā no koku sugas. Vislielāko oglekļa uzkrāšanas pieaugumu var novērot skuju koku (egles un priedes) audzēs. Mežaudzes vecumam ir būtiska ietekme uz papildus oglekļa uzkrājumu, kas vecākās audzēs samazinās, norādot uz laikus veiktas kopšanas nozīmīgumu lielākas papildu oglekļa uzkrāšanas nodrošināšanai. Mežaudžu kopšana nodrošina pozitīvu ietekmi uz augošo krājumu un papildu oglekļa uzkrāšanos arī pēc 10 gadiem. Šie atklājumi paver ceļu turpmākai mežsaimniecības prakses izpētei un pilnveidošanai, lai optimizētu oglekļa piesaisti dažādās meža ekosistēmās un lai palīdzētu mazināt klimata pārmaiņas. Pētījums pierāda, ka jaunaudžu kopšana ir darbība, kas nodrošina būtisku papildus piesaisti īstermiņā (10 gadu laikā pēc kopšanas); attiecīgi, šīs darbības īstenošana rekomendējama ne tikai ilgtermiņa, bet arī īstermiņa klimata mērķu sasniegšanai.

4.1.2. Skrīveru kokaugu stādījums – augšanas gaita un SEG emisijas

Pētījuma sagaidāmais rezultāts ir aprobēta metodika valdošās koku sugas un stādījumu konfigurācijas ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti novērtēšanai kokaugu stādījumos (10-20 gadus veci kokaugu stādījumi, 20 objekti, kur pielietotas dažādas koku sugas un stādījumu konfigurācija), izmantojot lāzerskenēšanas metodi. Darba uzdevuma īstenošanai iegūti lāzerskenēšanas dati par kokaugu stādījumiem Skrīveru apkārtnē parauglaukumos, kur notiek SEG paraugu ievākšana un augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi un visā stādījumā kopumā (att. 4.1).

⁶ Kvartāls – nogabals.



Attēls 4.1. Stādījums Skrīveru novada Pardenčos (56°41'30.9"N 25°08'34.6"E; 56.691917, 25.142944), attēls uzņemts 2023. gada vasarā

Kopumā Skrīveru novadā 2011. gada aprīlī/maijā ierīkotajā izmēģinājumu objektā (Rancane u.c., 2012) iestādītas 9 koku sugas (*Populus nigra*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Prunus avium*, *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Alnus incana x glutinosa*, *Salix viminalis*, *Salix spp.*, *Populus tremula x tremuloides*), visām minētajām koku sugām, stādījumi 3-4 atkārtojumos ierīkoti trijos augsnes ielabošanas variantos:

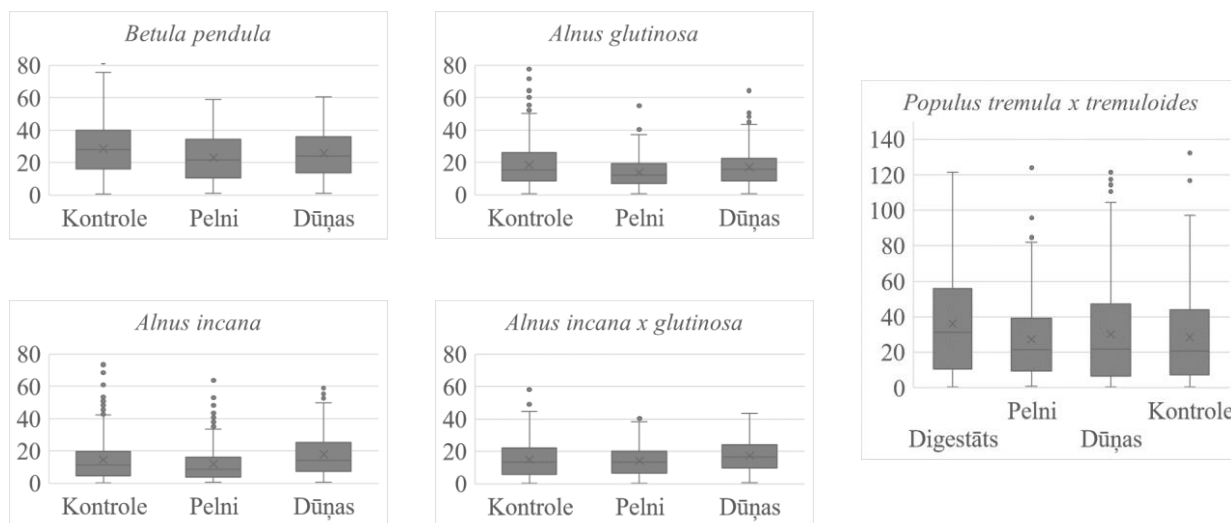
1. Kontrole – augsne uzarta, kultivēta;
2. augsnes ielabošana ar koksnes pelniem (P-K, un mikroelementi) -pēc augsnes uzaršanas, kultivējot augsnē iestrādāti ar Siguldas pilsētas katlu mājā ievākti koksnes pelni (6 t ha^{-1});
3. Augsnes ielabošana ar sadzīves notekūdeņu dūņām (N-P un mikroelementi, organiskā viela) – pēc augsnes uzaršanas un pirms kultivēšanas augsnē iestrādātas Aizkraukles sadzīves notekūdeņu attīrīšanas iekārtu dūņas (5 t ha^{-1} , tab. 4.1)⁷.

⁷ Sarmite Rancane, Aldis Karklins, Dagnija Lazdina, Perennial grasses for bioenergy production: characterization of the experimental site, Research for rural development 2012: annual 18th international scientific conference proceedings, Jelgava, 16-18 May 2012

Tabula 4.1. 2011. gadā ierīkotā stādījuma koku sugu, stādīšanas attāluma, pamatmēslojuma kombinācijas un SEG emisiju uzskaitē parauglaukumi (katrā atkārtojumā iestādītas vismaz 6 rindas, rinda vismaz 24 m gara)

Koku suga	Stādījuma dizains, attālums starp stādiem un rindām, m						Vienlaidu pamatmēslojums, t ha ⁻¹			SEG uzmērījumu punkti x atkārtojumi x varianti, n
	1,5 x 0,7 0,5	1,7 x 0,5	2x2	2,5 x 2,5	3 x 3	2,5 x 5	koksnes pelni, 6 t ha ⁻¹	notekūdeņu dūņas, 5 t ha ⁻¹	kontrolē, 0 t ha ⁻¹	
<i>Populus tremuloides tremula</i>			x				x	x	x	3x2x3
					x		x	x	x	
						x	x	x	x	
<i>Salix viminalis, spp.</i>	x						x	x	x	3x3
<i>Betula pendula</i>				x			x	x	x	3x2x3
<i>Alnus glutinosa</i>				x			x	x	x	3x2x3
<i>Alnus glutinosa x incana</i>				x			x	x	x	3x2x3
<i>Alnus incana</i>				x			x	x	x	3x2x3
<i>Prunus avium Agromežs</i>						x	x	x	x	3x3
<i>Populus spp. kloni</i>		x					x	x	x	
<i>Acer platanoides</i>						x	x	x	x	
<i>Tilia cordata</i>						x	x	x	x	

2023. gada nogalē ar parauglaukumu metodi atkārtoti uzmērīti SEG gāzu uzskaites parauglaukumos augošie koki tām koku sugām, kurām 2021. gada uzmērījumos bija pozitīva atbildes reakcija uz ienesto mēslojumu. Iepriekšējie mērījumi visiem stādītajiem kokiem veikti 2021. gada rudenī, kad noteikti koku caurmēri un aprēķināta to biomasa (att. 4.2.). Desmit gadus pēc stādījuma ierīkošanas, slāpekli saturoša pamatmēslojuma, sadzīves notekūdeņu dūņu un liellopu mēslu digestāta, pozitīva ietekme bija vērojama tikai ātri augošajām hibrīdajām apsēm un baltalkšņiem, tai skaitā dabiskiem baltalkšņu hibrīdiem.



Attēls 4.2. Bērzu, alkšņu, apšu hibrīdu biomasa, kg koks⁻¹ saskaņā ar J. Liepiņa izstrādātajiem vienādojumiem (Liepiņš u.c., 2017, 2021)

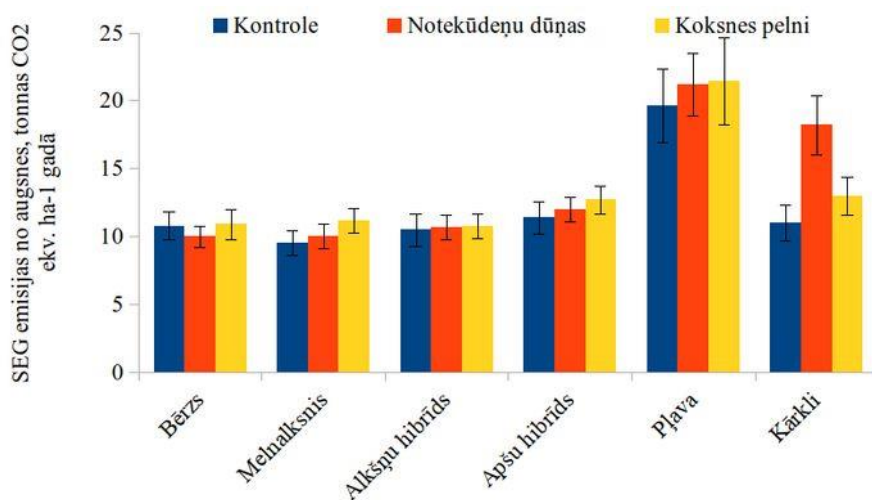
Rezultāti, kas iegūti 2011.-2022. gadā, publicēti starptautiski citējamā zinātniskā izdevumā, žurnāla *Sustainability* 2023. gada 15 numura 16272. rakstā "*Long-Term Effect of Wood Ash and Wastewater Sludge Fertilization on Tree Growth in Short-Rotation Forest Plantations on Abandoned Agricultural Land: A Case Study*", kurā apkopoti dažādos izpētes darbos 11 gados ievāktie dati, tai skaitā šī pētījuma ietvaros – tie analizēti klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā. Aprēķināta lapu koku joslās, ilggadīgajos kokaugu stādījumos un plantāciju mežos (stādījums atbilst visiem trim kritērijiem) vienas 10 gadu aprites laikā izaudzējamā biomasa. Salīdzinoši vislielāko biomasu var piesaistīt hibrīdas apses, bērzu un alkšņu stādījumos, pamatmēslojuma iestrāde augsnē ietekmējusi galvenokārt saglabāšanās rādītājus, tāpēc ielabotajos variantos kopējā biomasa lielāka. Apšu hibrīdu klonu (stādīts 2x2 m) biomasa atšķiras ievērojami – 4. klons, kas saņēmis pamatmēslojumu sadzīves notekūdeņu dūņu veidā, ir uzkrājis virszemes biomasā 109,4 t ha⁻¹, 28. klons labāk audzis ar koksnes pelniem ielabotā augsnē, virszemes biomasa 30,6 t ha⁻¹. Bērzu stādījumos (stādīts 2,5x2,5 m) vislielākā biomasa uzkrāta, ja pamatmēslojumā iestrādāti koksnes pelni, virszemes biomasa 34,3 t ha⁻¹. Melnalksnis un baltalksnis (stādīti 2,5x2,5 m) labāk auguši ar sadzīves notekūdeņu dūņām ielabotajās audzēs – virszemes biomasa; attiecīgi, 33,6; 40,9 un 34,1 t ha⁻¹. Audu kultūrās pavairotie hibrīdo alkšņu kloni ar mēslojumu neielabotajās platībās uzkrājuši virszemes biomasā vidēji 36,2 t ha⁻¹ (Makovskis u.c., 2023).

Skrīveru stādījumā pētījuma ietvaros turpināti augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi un gāzu paraugu ievākšana CH₄ un N₂O emisiju no augsnes raksturošanai. Pētījuma ietvaros turpinās nobiru paraugu savākšanas parauglaukumi, kuros uzkrājas nobiras visas veģētācijas sezonas garumā (att. 4.3). Arī 2023. gada nogalē ievākti nobiru paraugi, lai noteiktu kopējo un dažādu koku sugu lapu un citu nobiru biomasu. Paraugu analīzes turpinās.



Attēls 4.3. Gāzu paraugu ievākšanas un uzmērījumu vietas hibrīdās apses stādījumos

SEG emisiju un augsnes heterotrofās elpošanas mērījumu kopsavilkums dots 4. pielikumā. Saskaņā ar sākotnējo datu apstrādi SEG emisijas no augsnes, neatkarīgi no audzējamo koku sugas, ir līdz divas reizes mazākas nekā kontroles platībā, ko apsaimnieko kā zālāju (att. 4.4.). Tikai vienā no izmēģinājumu objektiem (kārķu atvasājs) konstatētas pozitīvas CH₄ emisijas, bet visos objektos, tajā skaitā zālajos, konstatētas N₂O emisijas. Tas var norādīt uz šibrīža pieņēmuma par to, ka minerālaugsnēs N₂O emisijas veidojas tikai tādā gadījumā, ja no augsnes notiek oglekļa zudumi, var nebūt objektīvs un N₂O emisijas jāvērtē arī minerālaugsnēs.



Attēls 4.4. SEG emisiju mērījumu kopsavilkums

Katru gadu veģetācijas apsekojumos konstatē jaunas sugas – 2023. gadā parauglaukumos sastopamas 80 sugas, 2022. gadā bija 65 sugas, bet 2021. gadā tajos bija 60 sugas. Pavisam triju gadu laikā uzskaitītas 99 sugas. 2023. gadā vienas sugas ietvaros veģetāciju veido 6-25 sugas no kopumā uzskaitītajām 80 sugām (tab. 4.2 un 4.3).

Tabula 4.2. Veģetācijas daudzveidība zem dažādu koku sugu vainaga

sugu skaits	Apses (2x2 m)	Bērzi (2,5x2,5m)	Alkšņu hibrīdi (2,5x2,5m)	Saldie ķirši (2,5x5 m)	Melnalkšņi (2,5x2,5m)	Kārķli (10000ha)
no	11	6	7	23	9	9
līdz	15	18	17	25	15	21

Tabula 4.3. Iepriekšējos trijos gados stādījumā uzskaitītās lakstaugu sugas zem visu koku sugu vainagiem

Nr.	suga/gads	2021	2022	2023		suga/gads	2021	2022	2023
1	<i>Acer platanoides</i>	0	1	0	51	<i>Juncus tenuis</i>	1	0	0
2	<i>Achillea millefolium</i>	0	6	4	52	<i>Lathyrus pratensis</i>	0	0	1
3	<i>Agrimonia eupatoria</i>	0	4	2	53	<i>Leucanthemum vulgare</i>	0	12	5
4	<i>Agrostis tennuis</i>	0	46	25	54	<i>Lolium multiflorum</i>	1	10	4
5	<i>Alchemilla mollis</i>	0	6	4	55	<i>Lotus corniculatus</i>	0	4	2
6	<i>Alchemilla vulgaris</i>	2	0	0	56	<i>Lupinus polyphyllus</i>	0	2	2
7	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	0	0	1	57	<i>Luzula pilosa</i>	0	3	1
8	<i>Artemisia campestris</i>	0	8	4	58	<i>Lycopus europaeus</i>	2	0	0
9	<i>Aster salignus</i>	0	0	1	59	<i>Lysimachia vulgaris</i>	3	9	12
10	<i>Bellis perennis</i>	0	2	1	60	<i>Matricaria perforata</i>	0	0	1
11	<i>Betula pendula</i>	1	2	0	61	<i>Medicago lupulina</i>	1	7	5
12	<i>Betula pubescens</i>	1	6	0	62	<i>Mentha arvensis</i>	4	0	1
13	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	13	33	16	63	<i>Mycelis muralis</i>	2	0	2
14	<i>Calamagrostis epigeios</i>	0	7	5	64	<i>Myosotis arvensis</i>	1	5	2
15	<i>Campanula glomerata</i>	1	0	0	65	<i>Odontites vulgaris</i>	2	0	0
16	<i>Campanula patula</i>	4	41	21	66	<i>Phleum pratense</i>	0	5	2
17	<i>Capsella brussa-pastoris</i>	0	0	1	67	<i>Phragmites australis</i>	1	7	4
18	<i>Cardamine amara</i>	1	4	0	68	<i>Plantago lanceolata</i>	1	0	0
19	<i>Carex cinerea</i>	1	7	8	69	<i>Poa annua</i>	0	0	3
20	<i>Carex sp.</i>	0	1	0	70	<i>Poa nemoralis</i>	21	0	0
21	<i>Carum carvi</i>	1	0	0	71	<i>Polygonatum multiflorum</i>	1	0	0
22	<i>Chelidonium majus</i>	0	6	0	72	<i>Potentilla argentea</i>	1	3	2

Ogleklā aprīte meža ekosistēmā

Nr.	suga/gads	2021	2022	2023		suga/gads	2021	2022	2023
23	<i>Chelidonium majus</i>	0	0	3	73	<i>Prunella vulgaris</i>	0	0	3
24	<i>Chrysosplenium alternifolium</i>	5	3	2	74	<i>Pulmonaria obscura</i>	1	2	1
25	<i>Cirsium arvense</i>	6	5	2	75	<i>Quercus robur</i>	0	2	0
26	<i>Coronaria flos-cuculi</i>	0	0	1	76	<i>Ranunculus acris</i>	6	3	4
27	<i>Crataegus monogyna</i>	0	1	0	77	<i>Rumex acetosa</i>	0	0	1
28	<i>Crepis praemorsa</i>	2	3	2	78	<i>Salix alba</i>	1	0	0
29	<i>Dactylis glomerata</i>	1	14	8	79	<i>Salix caprea</i>	1	0	1
30	<i>Dactylorhiza maculata</i>	0	3	2	80	<i>Saponaria officinalis</i>	1	0	1
31	<i>Daucus carota</i>	0	0	3	81	<i>Scutellaria galericulata</i>	1	0	0
32	<i>Deshampsia flexuosa</i>	0	18	8	82	<i>Solidago canadensis</i>	7	27	14
33	<i>Dryopteris carthusiana</i>	0	0	3	83	<i>Sorbus aucuparia</i>	0	1	0
34	<i>Epilobium angustifolium</i>	0	35	19	84	<i>Stellaria holostea</i>	0	0	2
35	<i>Epilobium hirsutum</i>	5	0	0	85	<i>Stellaria nemorum</i>	5	0	0
36	<i>Equisetum pratense</i>	2	23	16	86	<i>Tanacetum vulgare</i>	0	2	1
37	<i>Equisetum sylvaticum</i>	0	5	4	87	<i>Taraxacum officinale</i>	29	56	28
38	<i>Erigeron annuus</i>	1	17	9	88	<i>Tragopogon pratensis</i>	0	4	1
39	<i>Erigeron canadensis</i>	0	18	8	89	<i>Trifolium medium</i>	0	2	3
40	<i>Festuca arundinacea</i>	6	0	0	90	<i>Trifolium montanum</i>	0	5	2
41	<i>Festuca ovina</i>	10	5	9	91	<i>Trifolium pratense</i>	2	3	1
42	<i>Filipendula ulmaria</i>	0	0	1	92	<i>Trifolium repens</i>	0	3	2
43	<i>Fragaria vesca</i>	0	9	6	93	<i>Tussilago farfara</i>	0	1	0
44	<i>Frangula alnus</i>	1	20	0	94	<i>Urtica dioica</i>	0	0	1
45	<i>Galium aparine</i>	0	19	8	95	<i>Vaccinium myrtillus</i>	0	1	0
46	<i>Geum rivale</i>	4	30	16	96	<i>Valeriana officinalis</i>	0	18	17

Nr.	suga/gads	2021	2022	2023		suga/gads	2021	2022	2023
47	<i>Geum urbanum</i>	0	2	1	97	<i>Veronica chamaedrys</i>	0	6	5
48	<i>Hieracium x floribundum Wimm.</i>	1	0	0	98	<i>Veronica filiformis</i>	0	31	15
49	<i>Hypericum maculatum</i>	6	21	11	99	<i>Vicia cracca</i>	0	23	12
50	<i>Juncus effusus</i>	1	23	16					

Stādot atsevišķas vienas koku sugas grupas, stādījumos var panākt lielāku zemsedzes daudzveidību un dalīt biotiskos un abiotiskos riskus.

4.2. Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai

Lai raksturotu augsnes sagatavošanas ietekmi uz siltumnīcefekta gāzu (CO₂, CH₄, N₂O) emisijām kūdras augsnēs, uzsākti mērījumi trīs objektos, lai novērtētu augsnes-atmosfēras siltumnīcefekta gāzu apmaiņu mežos ar kūdras augsnēm uz pacilām, bedrēs un pārējās platībās (tab. 4.4.). Siltumnīcefekta gāzu emisiju un ietekmējošo faktoru mērījumi šajos objektos uzsākti vismaz vienu gadu pirms atjaunošanas circes veikšanas, nodrošinot references datus augsnes sagatavošanas ietekmes raksturošanai. Pēc galvenās circes un augsnes sagatavošanas gāzu apmaiņas mērīšanas parauglūkumi atjaunoti, ierīkojot papildus mērījumu vietas uz pacilām un bedrēs un mērījumi turpināti, lai iegūto mērījumu dati raksturotu augsnes sagatavošanas ietekmi uz siltumnīcefekta gāzu emisijām meža zemē. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, papildināta informācija par sākotnējiem pētījuma rezultātiem, salīdzinot SEG emisijas no risēm un augsnes sagatavošanas neskartajām platībām, kā arī sagatavoti sākotnējie dati par dziļvagu ierīkošanas ietekmi uz SEG emisijām.

Gāzu apmaiņas mērīšanas aprīkojums uzstādīts arī divos rezerves objektos, kas izveidoti, lai novērstu riskus, kas saistīti ar grunts nestspēju un iespējām sagatavot augsni izpētes platībās.

Tabula 4.4. Gāzu apmaiņas mērīšanas parauglūkumi atjaunotās platībās

Objekta identifikators	Koordinātes	Mērījumi uzsākti	Saimnieciskā darbība	Piezīmes
012-193-27 (LVC116)	57.26889, 25.99285	20.01.2021	Atjaunošanas circe 22.02.2022; augsnes sagatavošana 25.08.2022; stādīta priede 24.10.2022	Objektā uzsākti arī gāzu apmaiņas mērījumi, lai raksturotu SEG emisijas no risēm (objekts LVMCA_R4)
012-218-4 (LVC309)	57.27915, 25.85371	20.01.2021	Atjaunošanas circe 22.03.2022; augsnes sagatavošana 2022. gada jūnijā, vienlaikus ierīkojot dziļvagas un atjaunojot esošos grāvjus	Objektā uzsākti arī gāzu apmaiņas mērījumi, lai raksturotu SEG emisijas no risēm (objekts LVMCA_R1). Pētījumā iegūtos datus izmantosim arī dziļvagu ietekmes novērtēšanai
031-108-4 (LVC312)	57.311643, 25.936089	20.01.2021	Atjaunošanas circe 24.05.2022, augsnes sagatavošana 2022. gada	Objektā uzsākti arī gāzu apmaiņas mērījumi, lai raksturotu SEG emisijas no

Objekta identifikators	Koordinātes	Mērījumi uzsākti	Saimnieciskā darbība	Piezīmes
			augustā; 2023. gada aprīlī stādīta uz pacilām egles, bet mitrākajā daļā melnalksnis.	risēm (objekts LVMCA_R2 un LVMCA_R2). Visi mērījumi notiek platībā, kur stādīta egles.
Rezerves objekti				
031-51-11 (LVC112)	57.33731, 26.02635	18.01.2021	Atjaunošanas cirte 23.02.2022; augsnes sagatavošana 24.08.2022; stādīta egles 26.10.2022	References dati iegūti LIFE OrgBalt projektā, gāzu mērīšanas aprīkojums atjaunots 2023. gada jūlijā
012-218-51 (LVC311)	57.27887, 25.85441	20.01.2021	Atjaunošanas cirte 25.04.2022; augsnes sagatavošana 2022. gada jūnijā, ierīkojot dziļvagas liekā ūdens novadīšanai, un atjaunoti esošie grāvji	References dati iegūti LIFE OrgBalt projektā, gāzu mērīšanas aprīkojums atjaunots 2023. gada jūlijā; objektā paredzēta gāzu apmaiņas mērīšana dziļvagu ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai un objekta mitrākā vieta izmantota, lai raksturotu mežizstrādes ietekmi izcirtumā (tab. 4.10)

Laika periodā no 2021. gada janvāra līdz 2023. gada novembrim augsnes-atmosfēras SEG apmaiņas raksturošanai ievākti kopā 2607 gāzu paraugi. No ievāktajiem paraugiem 537 raksturo emisijas no augsnes pacilā, 537 – pacilas bedrē, 1533 paraugi – augsnes sagatavošanas neskartā augsnes vietā (kontroles paraugi). Kontroles paraugi raksturo augsnes emisijas platībā pirms un pēc atjaunošanas cirtes, kad vienlaicīgi ievākti SEG paraugi atjaunotajā platībā no pacilas, bedres un kontroles (tab. 4.5.).

Tabula 4.5. Veikto augsnes-atmosfēras SEG paraugu skaits

Mērījuma vieta	Paraugu ņemšanas periods	SEG paraugu skaits
Bedre	27.06.22 - 31.10.23	537
Kontrole	21.01.21 - 31.10.23	1533
Pacila	27.06.22 - 31.10.23	537
Kopā		2607

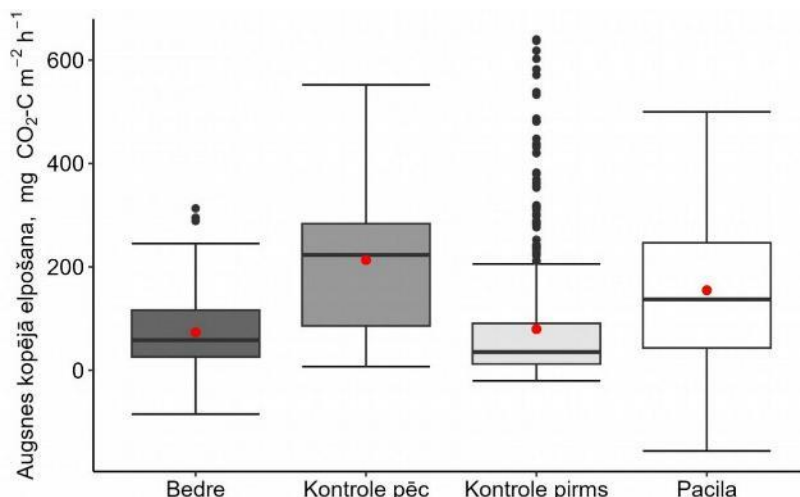
Periodā kopā novērtētā vidējās augsnes-atmosfēras CO₂ apmaiņas kontroles mērījuma vērtība ir 206±19 mg CO₂-C m⁻² h⁻¹; savukārt, bedrē un pacilā; attiecīgi, 72±10 un 155±19 mg CO₂-C m⁻² h⁻¹ (šeit un nodaļā turpmāk emisiju vidējā vērtības nenoteiktība izteiktā kā 95% ticamības intervāls). Interpretējot rezultātus, ņemams vērā, ka augsnes-atmosfēras SEG mērījums ietver heterotrofās un autotrofās elpošanas summu. Attiecīgi rezultāts atspoguļo ne tikai augsnes organiskās vielas sadalīšanās radītās CO₂ emisijas (heterotrofā elpošana), bet arī SEG emisiju mērījumu kamerā ietvertās virszemes un pazemes veģetācijas elpošanas CO₂ emisijas (autotrofā elpošana). Novērtētās metāna emisijas no kontroles mērījuma punkta, bedres un pacilas ir; attiecīgi, vidēji -13±21; 251±179

un $37 \pm 58 \mu\text{g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Savukārt, novērtētās augsnes N_2O emisijas ir kontroles mērījumā, bedrē un pacilā ir vidēji 4 ± 1 ; 29 ± 17 un $22 \pm 1 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (tab. 4.6).

Tabula 4.6. Augsnes-atmosfēras SEG apmaiņas un vides parametru mērījumu rezultāti

Parametrs		Mērījuma vieta		
		Bedre	Kontrole	Pacila
$\text{CO}_2\text{-C, mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Vidēji	72 ± 10	206 ± 179	155 ± 19
$\text{CH}_4\text{-C, } \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Vidēji	251 ± 179	-13 ± 21	37 ± 58
$\text{N}_2\text{O-N, } \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Vidēji	29 ± 17	4 ± 1	17 ± 4
Gruntsūdens līmenis	Vidēji	49 ± 38	68 ± 40	50 ± 38
	Diapazons	2 līdz 116	0 līdz 146	2 līdz 116
Augsnes mitrums, %	Vidēji	54 ± 22	48 ± 23	54 ± 22
	Diapazons	16 līdz 100	7 līdz 96	9 līdz 89
Gaisa temperatūra, °C	Vidēji	13 ± 7	13 ± 7	13 ± 7
	Diapazons	-3 līdz 30	-11 līdz 36	-3 līdz 30
Augsnes temperatūra 10 cm dziļumā, °C	Vidēji	12 ± 0	9 ± 0	12 ± 0
	Diapazons	-0,2 līdz 22,9	-0,9 līdz 21,3	-1,0 līdz 29,2

Izmēģinājumu platībās pirms atjaunošanas augsnes kopējās elpošanas emisijas kontroles mērījumos bija vidēji $80 \pm 11 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, bet pēc atjaunošanas cirtes un augsnes sagatavošanas augsnes kopējās elpošanas emisijas kontroles mērījumos bija būtiski ($p < 0,05$) lielākās (vidēji $333 \pm 171 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Statistiski būtiskas mērījumu rezultātu izkliedes atšķirības konstatētas starp visām mērījumu veidu grupām (bedre, kontrole pirms, kontrole pēc izstrādes, pacila) pie būtiskuma līmeņa $p = 0,05$. Mazākās atšķirības ir starp kopējo elpošanu bedrēs (vidēji $72 \pm 10 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) un kontrolē (vidēji $80 \pm 11 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) pirms meža atjaunošanas ($p = 0,02$) un starp mērījumu rezultātiem pacilās (vidēji $155 \pm 19 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) un kontrolē (vidēji $333 \pm 171 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) pēc meža atjaunošanas ($p = 0,046$). Rezultāti norāda, ka atjaunošanas cirtes un augsnes sagatavošanas ietekmē augsnes kopējās elpošanas emisijas var pieaugt četras reizes, no 7 līdz 29 t $\text{CO}_2\text{-C ha}^{-1}$ gadā (att. 4.5 un tab. 4.7).

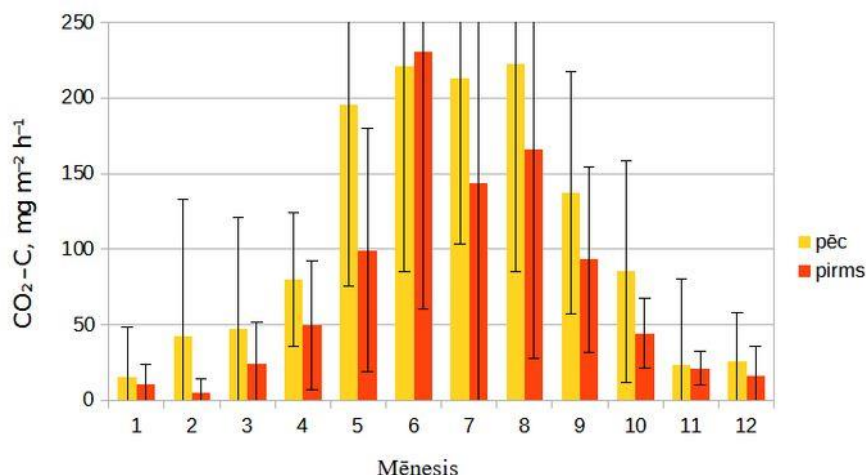


Attēls 4.5. Augsnes kopējās elpošanas mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas

Tabula 4.7. Kopējās elpošanas mērījumu datu Vilkoksona rangū summas testa rezultāti

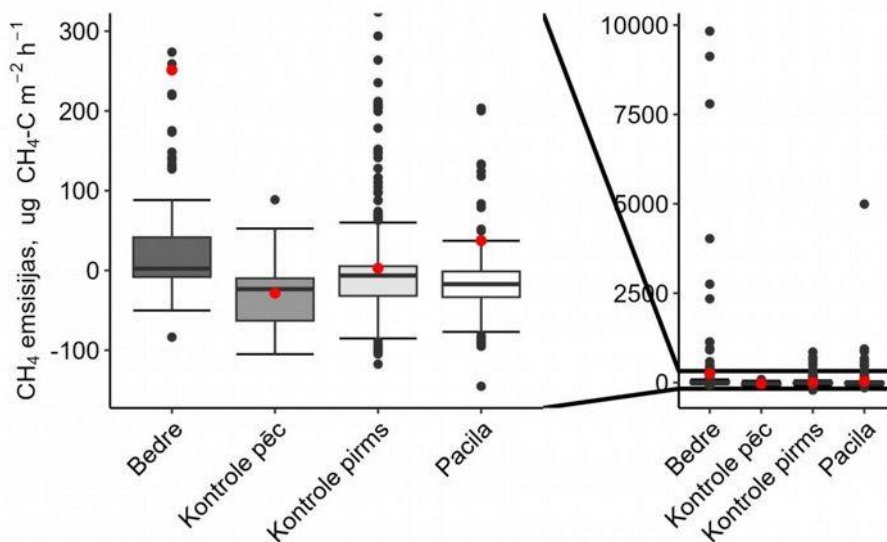
Variants	Bedre	Kontrole pēc	Kontrole pirms
Kontrole pēc	3,7e-10	-	-
Kontrole pirms	0,02	2,0e-11	-
Pacila	1,3e-07	0,046	1,2e-13

Paaugstinātas augsnes kopējās elpošanas CO₂ emisijas galvenokārt novērotas siltajos mēnešos no jūnija līdz augustam, kas augsnes CO₂ emisijām ir raksturīgi (att. 4.6). Pazeminātās emisijas no bedrēm visdrīzāk ir skaidrojamas ar kopējās elpošanas mērījumu specifiku – vietās ar mazāku veģētācijas biomasu sagaidāmas mazākas autotrofās elpošanas emisijas; attiecīgi, arī kopējās elpošanas (autotrofās un heterotrofās elpošanas summa) emisijas. Autotrofās elpošanas īpatsvars meža zemēs mēdz būt robežās no 50 līdz 80 %. Paaugstinātās emisijas no pacilām gada siltajos mēnešos var būt skaidrojamas ar pastiprinātu augsnes organiskās vielas mineralizāciju uzlabotas aerācijas apstākļos, kā arī pieaugot svaigas, viegli mineralizējamas biomasas daudzumam pēc mežizstrādes.

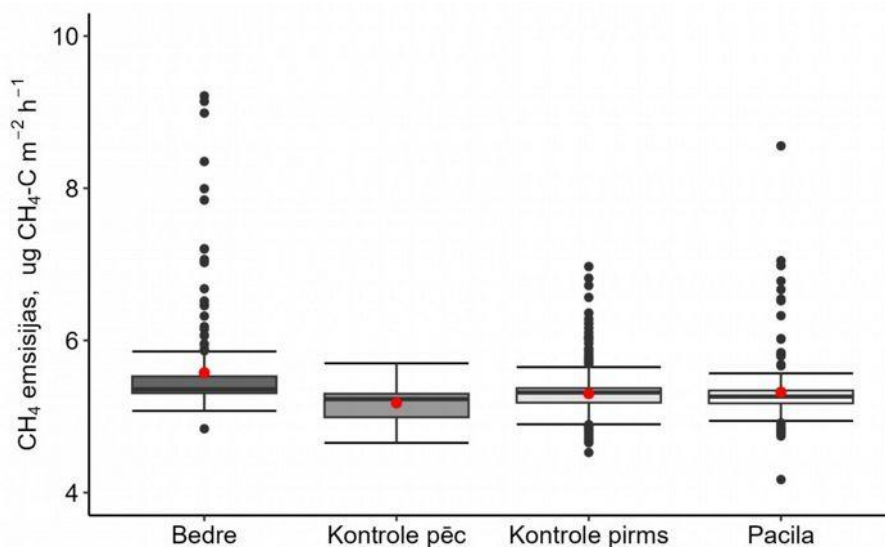


Attēls 4.6. Augsnis-atmosfēras CO₂ apmaiņas mērījumu vidējie rezultāti atkarībā no mērījuma mēneša (nenoteiktība – standartnovirze)

Novērtētas augsnes metāna mērījumu rezultātu variācija starp visām mērījumu variantu grupām ir būtiski atšķirīga, izņemot starp kontroles mērījumiem pirms atjaunošanas *cirtes* (vidēji $1 \pm 8 \mu\text{g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) un pacilās (vidēji $37 \pm 58 \mu\text{g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), kur novērtētās emisijas ir nenozīmīgas. Kontrolē pēc meža atjaunošanas novērota neliela metāna piesaiste vidēji $-28 \pm 12 \mu\text{g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Pacilu bedru mērījumos novēroti metānu emisiju ekstrēmi, kuru ietekmē vidējās novērtētās emisijas ir $251 \pm 159 \mu\text{g CH}_4\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, kas atbilstoši globālas sasilšanas faktoram (28) ir nozīmīgas ($0,8 \text{ t CO}_2 \text{ ekv. ha}^{-1} \text{ gadā}$), pietuvojoties CO₂ emisijām no augsnes (att. 4.7 un 4.8, tab. 4.8).



Attēls 4.7. Augsnis metāna emisiju mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas

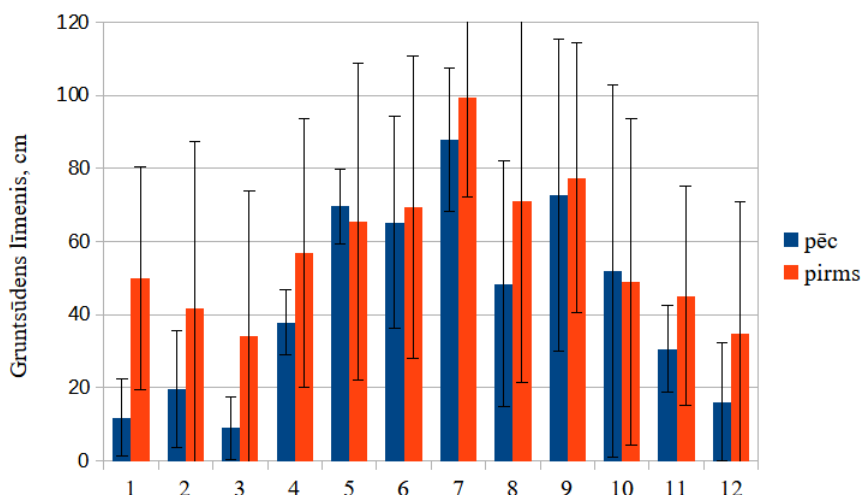


Attēls 4.8. Logaritmiski $[\ln(\text{CH}_4+210)]$ transformētu augsnes metāna emisiju mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas

Tabula 4.8. Metāna emisiju mērījumu datu Vilkoksona rangū summas testa rezultāti

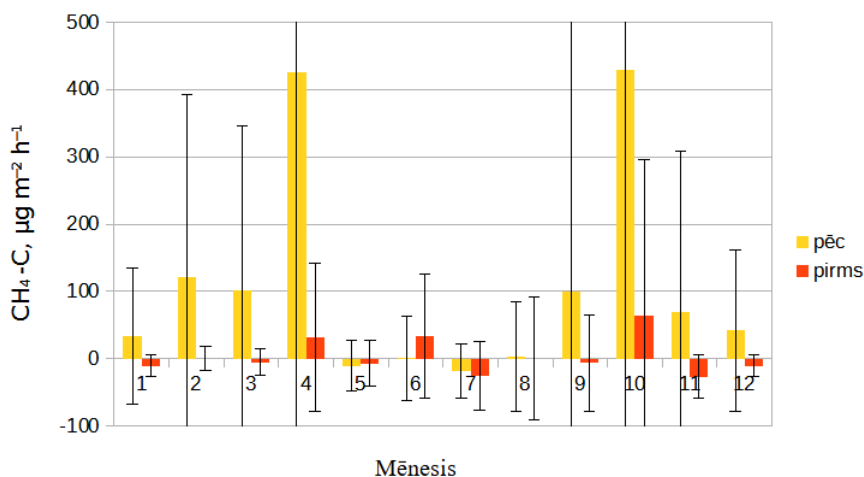
Variants	Bedre	Kontrole pēc	Kontrole pirms
Kontrole pēc	8,7e-11	-	-
Kontrole pirms	2,0e-11	0,00486	-
Pacila	2,7e-08	0,00015	1

Novērotās nenozīmīgās metāna emisijas kontroles mērījumos un pacilās var būt skaidrojamas ar gruntsūdens līmeņa izmaiņām izmēģinājuma objektos – atjaunošanas cirte nav veicinājusi gruntsūdens līmeņa paaugstināšanos pirmajā gadā pēc mežizstrādes, kas saistīts ar būtiski mazāku nokrišņu daudzumu 2023. gada vasarā. Pirms un pēc atjaunošanas cirtes vidējais novērtētais gruntsūdens līmenis ir bijis; attiecīgi, 52 ± 40 un 61 ± 42 cm (att. 4.9). Paaugstinātas metāna emisijas no pacilu bedrēm var būt skaidrojamas ar zemsedzes veģetācijas neesamību; zināms, ka sūnu slānis var veicināt metanofilo mikroorganismu darbību, kas metabolisma procesā no augsnes virzienā uz atmosfēru plūstošo metānu patērē metabolismā, kā galaproduktu izvadot CO_2 . Bedrēs nav novērots arī lielāks mitruma saturs augsnē. Bedrēs, pacilās un kontrolē pēc meža atjaunošanas tas ir bijis vidēji 54%, bet kontroles mērījuma punktos pirms mežizstrādes nedaudz mazāks, vidēji 45%, tomēr šī atšķirība ir nenoteiktības robežās (mērījumu standartnovirze aptuveni 30%).



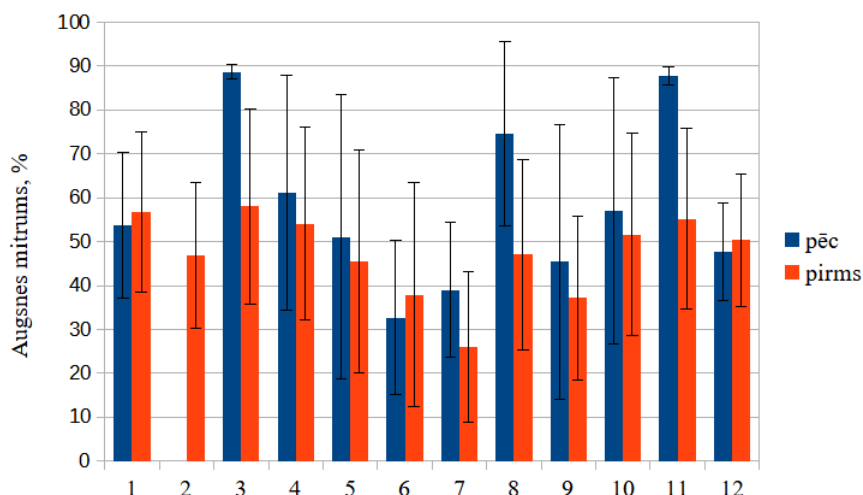
Attēls 4.9. Vidējais gruntsūdens līmenis atkarībā no mērījuma mēneša izmēģinājuma objektos pirms un pēc atjaunošanas cirtes (nenoteiktība – standartnovirze)

Metāna mērījumu rezultātus apkopojot kategorijās pirms un pēc atjaunošanas cirtes, novērojama izteikta metāna emisiju no bedrēm ietekme uz mēneša vidējām emisijām aprīlī un oktobrī (att. 4.10). Paaugstinātas metāna emisijas pavasarī un rudenī ir raksturīgas augsnes mitruma un gruntsūdens līmeņa režīma ietekmē. Grafikā att. 4.9 novērojams, ka tieši aprīlis un oktobris ir mēneši ir siltās sezonas pārejas mēneši, kad arī gruntsūdens līmenis ievērojami paaugstinās (vēsajā sezonā vidēji 35 cm), salīdzinot ar to, kāds tas ir vidēji no maija līdz septembrim (vidēji 72 cm).



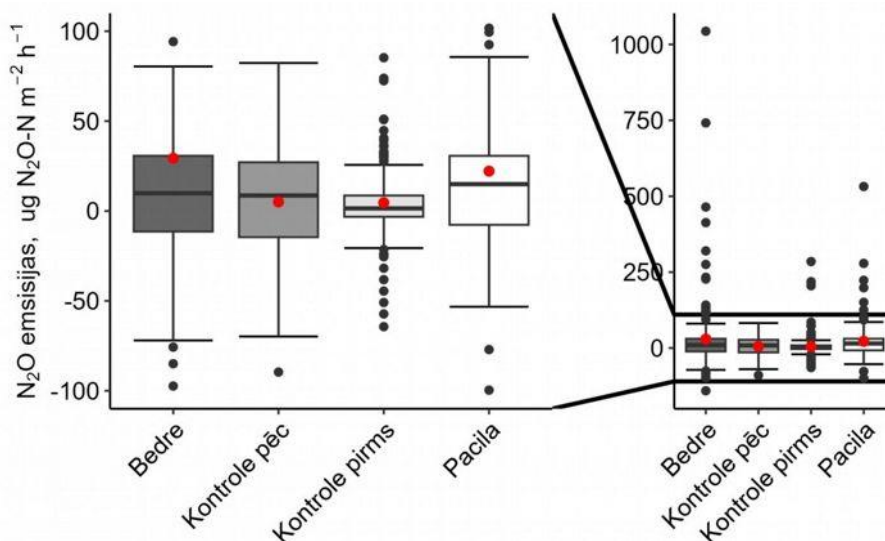
Attēls 4.10. Augsnes-atmosfēras CH₄ apmaiņas mērījumu vidējie rezultāti atkarībā no mērījuma mēneša (nenoteiktība - standartnovirze)

Palielinātu metāna emisiju pēc atjaunošanas cirtes iemesls pamanāms arī augsnes mitruma mērījumu rezultātu vidējās vērtībās, atkarībā no mērījuma mēneša. Vasaras mēnešos, kad metāna emisijas bijušas nenozīmīgas, arī mitruma saturs augsnē ir vismazākais (att. 4.11). Novērojams arī, ka, lai gan visu augsne mitrumu mērījumu vidējās vērtības nozīmīgi neatšķirās, sadalījumā pa mēnešiem augsnes mitrums tiecās būt lielāks pēc augsnes sagatavošanas.



Attēls 4.11. Augsnes mitrums atkarībā no mērījuma mēneša izmēģinājuma objektos pirms un pēc atjaunošanas cirtes (nenoteiktība - standartnovirze)

Augsnes N₂O emisijas pirms ($3 \pm 2 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) un pēc ($5 \pm 10 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) atjaunošanas cirtes kontroles mērījumos ir nenozīmīgas un būtiski neatšķiras ($p > 0,05$). Pēc augsnes sagatavošanas N₂O emisijas gan no pacilām ($22 \pm 9 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), gan bedrēm ($29 \pm 17 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ir lielākās, un atšķirība ar kontroles mērījumiem ir statistiski būtiska ($p < 0,05$, izņemot bedres un kontroles mērījumus pēc augsnes sagatavošanas, att. 4.12 un tab. 4.9). Šādas emisijas var būt nozīmīgas klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu izpildes kontekstā, jo, ņemot vērā N₂O globālās sasilšanas potenciāla faktoru 265, vidēji $26 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ emisiju ekvivalents ir $0,8 \text{ t CO}_2 \text{ ekv. ha}^{-1}$ gadā, t.i. gandrīz 70% no CO₂ emisijām, kas veidojas meliorētās organiskās augsnēs. Būtiski turpināt novērojumus, lai novērtētu, cik ilgi saglabājas šāda atšķirība un vai to ietekmē meža atjaunošanas paņēmieni. Ir jāizvērtē arī tādi augsnes sagatavošanas paņēmieni kā inversija jeb velēnas apvēršana, kas ļauj 2 reizes samazināt ietekmēto platību.

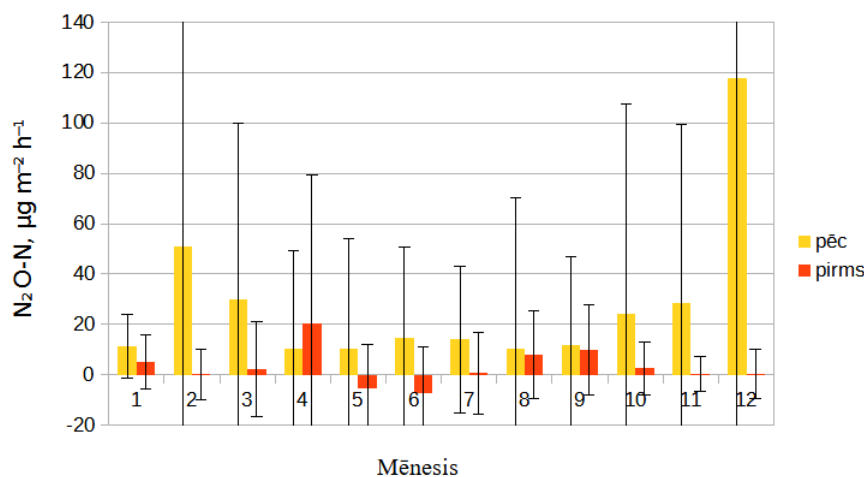


Attēls 4.12. Augsnes N₂O emisiju mērījumu rezultātu variācija, tajā skaitā kontroles platībās pirms un pēc meža atjaunošanas

Tabula 4.9. N₂O emisiju mērījumu datu Vilkoksona rangū summas testa rezultāti

Variants	Bedre	Kontrole pēc	Kontrole pirms
Kontrole pēc	1	-	-
Kontrole pirms	0,00286	1,00000	-
Pacila	0,00053	0,00215	< 2e-16

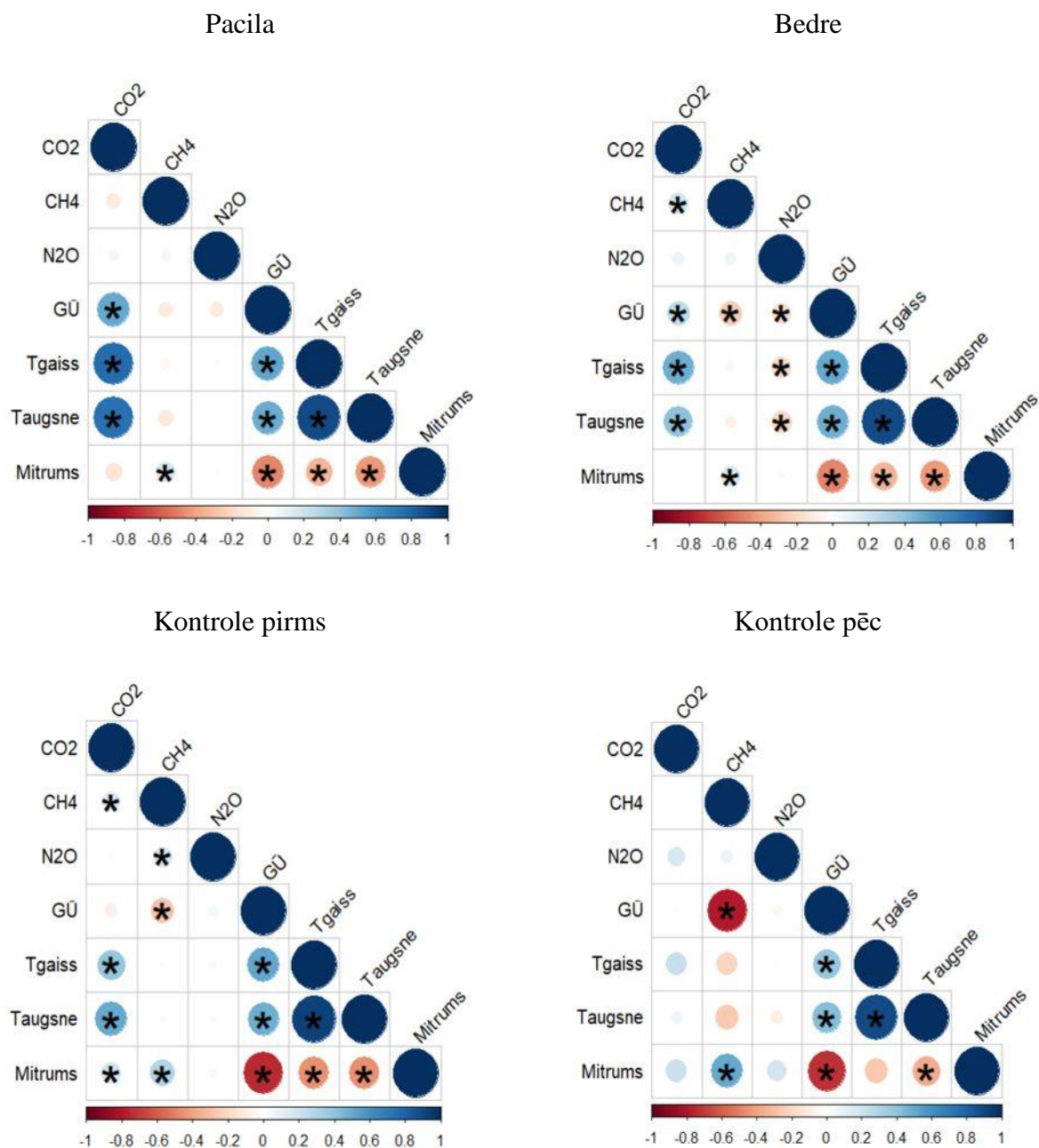
Augsnes N₂O emisijām ir vāja korelācija gan ar augsnes temperatūru, gan gruntsūdens līmeni (augšnes mitrumu). Tas atspoguļojas ar augsnes emisiju sadalījuma atkarībā no mēneša. Gadā laikā N₂O emisijas, salīdzinot ar citām SEG, ir salīdzinoši vienmērīgas ar lielāku emisiju tendenci rudenī un pavasarī (att. 4.13). Arī emisiju atspoguļojums mēnešu sadalījumā norāda uz atjaunošanas cirtes īstenošanas un augsnes sagatavošanas radīto augsnes bojājumu ietekmi uz palielinātām N₂O emisijām.



Attēls 4.13. Augšnes-atmosfēras N₂O apmaiņas mērījumu vidējie rezultāti atkarībā no mērījuma mēneša (nenoteiktība – standartnovirze)

Augsnes kopējās elpošanas CO₂ emisijām ir būtiska un cieša sakarība ar augsnes un atmosfēras temperatūru visās mērījumu grupās, izņemot kontroli pēc atjaunošanas cirti. Ciešākā temperatūras un CO₂ emisiju sakarība novērojama mērījumos pacilā. N₂O emisijām nav nozīmīgas korelācijas ar vērtētajiem vides parametriem. CH₄ emisijām ir cieša korelācija ar gruntsūdens līmeņa dziļumu tikai kontroles mērījumos pēc atjaunošanas cirtes. Augšnes mitrums ar CH₄ emisijām ciešāk korelē kontroles mērījumos (att. 4.14).

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 4.14. Pīrsona korelācijas analīze

Pētījuma ietvaros ierīkoti pieci objekti veicot gāzu apmaiņas mērījumus izcirtumos slapjajos un purvainos vienlaidus atjaunošanas cirtes ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai (tab. 4.10).

Tabula 4.10. Gāzu apmaiņas mērīšanas parauglaukumi izcirtumos slapjajos un purvainos

Objekts	Koordinātes	Valdošā koku suga	Meža tips	Augsnes auglība	Mērījumi uzsākti	Mežizstrāde
129-11 (LZP-BM-MRW)	57.29669 25.91146	B	Slapjainis	Auglīgs	30.05.2022	08.02.2023
67-21 (LVM-PM-MPW)	57.32998 26.0123	P	Slapjainis	Mazauglīgs	26.05.2022	08.02.2023
187-10 (LVM-PM-OPW)	57.28949 26.01518	P	Purvainis	Mazauglīgs	31.05.2022	08.02.2023
133-23 (Birzuļu_Izc_8)	56.703091 24.403671	B	Dumbrājs	Auglīgs	09.10.2020	2019. gada ziema
012-218-51 (LVC311) ⁸	57.27887, 25.85441	B	Dumbrājs	Auglīgs	20.01.2021	22.03.2022

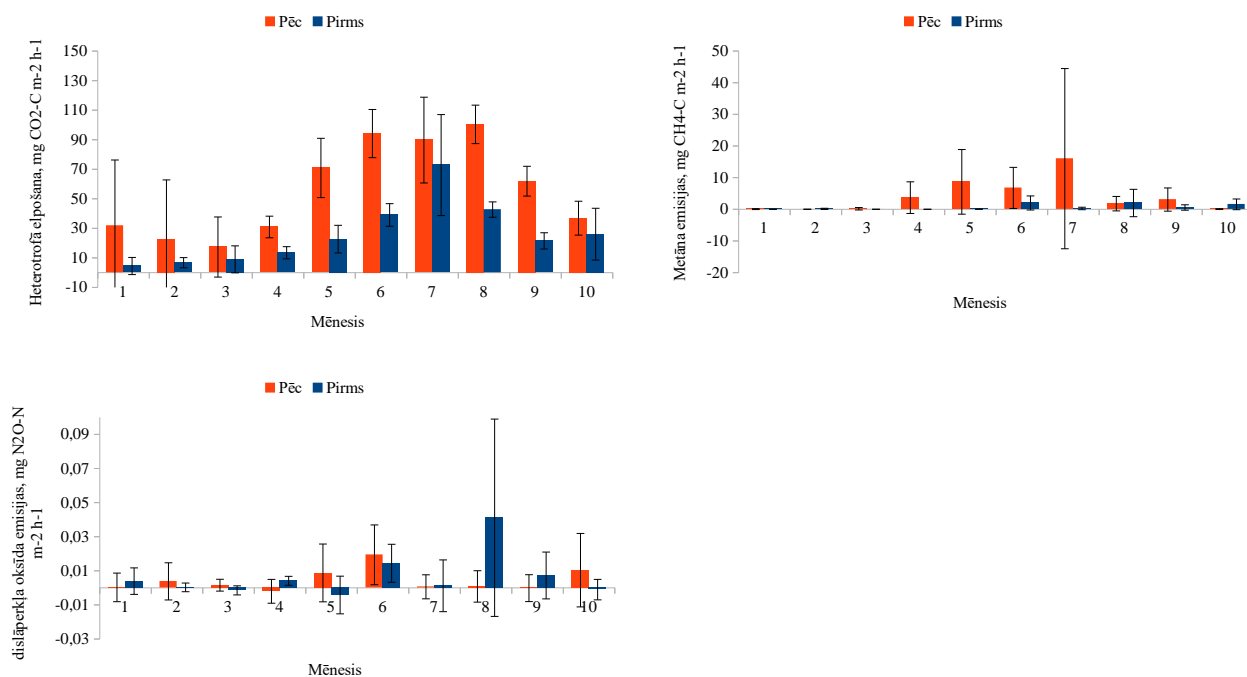
2023. gadā šajos objektos ievākti 1200 gāzu paraugi CH₄, N₂O un kopējās elpošanas raksturošanai, kā arī veikti 900 heterotrofās elpošanas mērījumi. Vienlaicīgi ar gāzu paraugu ievākšanu noteikti vides parametri, kas raksturo SEG emisijas, tajā skaitā augsnes un gaisa temperatūra, mitruma saturs augsnē un gruntsūdens līmenis.

Sākotnējie pētījuma rezultāti parāda, ka gan purvainos, gan slapjajos pēc mežizstrādes pieaug oglekļa zudumi augsnes heterotrofās elpošanas rezultātā un vairākkārtīgi palielinās CH₄ emisijas (att. 4.15. un 4.16.). N₂O emisijas pieaug atsevišķos mēnešos, taču būtiska atšķirība nav vērojama. Būtiski, ka slapjajos CO₂ emisijas ir tikai nedaudz mazākas nekā purvainos, norādot uz nepieciešamību palielināt SEG emisiju novērojumu apjomu slapjajos, kas līdz šim tika uzskatīti CO₂ emisiju neitrāli. Turpretim, CH₄ emisijas slapjajos izpētes teritorijās ir vidēji 100 reizes mazākas nekā purvainos. N₂O emisijas slapjajos ir lielākas nekā purvainos.

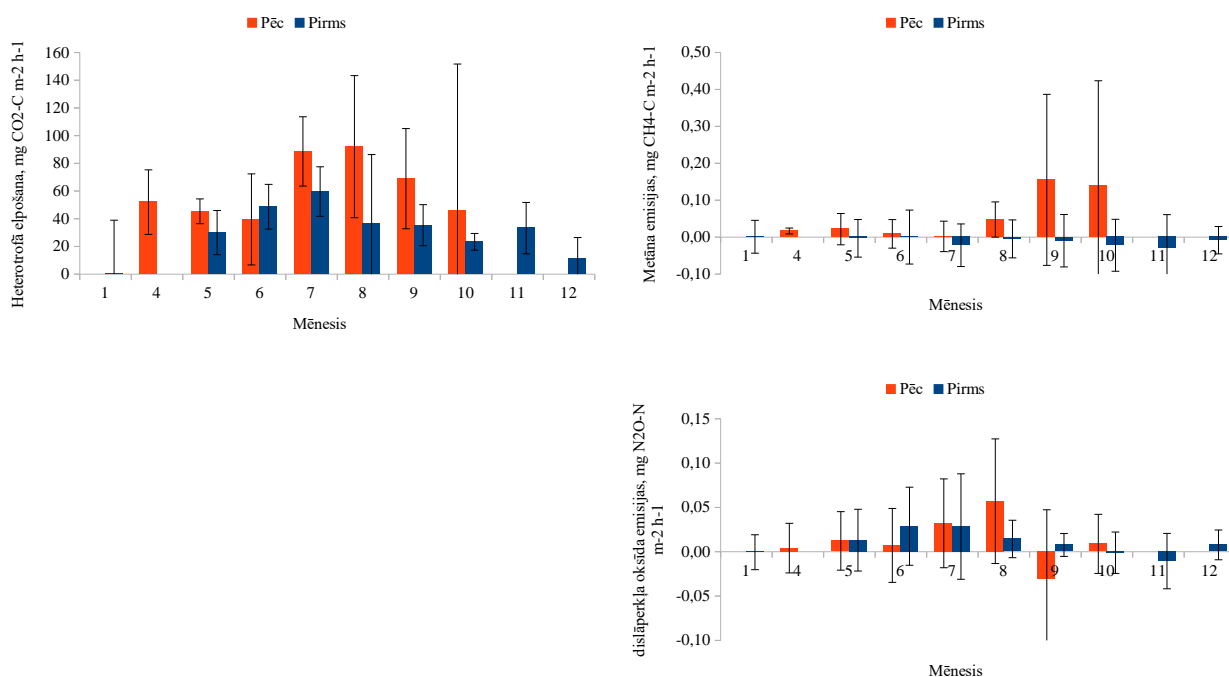
Iegūtie rezultāti apstiprina hipotēzi, ka mežizstrāde purvainos un slapjajos būtiski palielina SEG emisijas no augsnes, un norāda uz nepieciešamību veikt padziļinātu izpēti, lai raksturotu emisiju veidošanās likumsakarības purvainos un slapjajos un mežizstrādes ietekmes ilgumu. Šāda pētījuma vajadzībām papildus jāierīko vismaz 40 SEG emisiju monitoringa vietas gāzu apmaiņas monitoringam pirms un pēc mežizstrādes, tajā skaitā veidot emisiju mazināšanas pasākumus (dziļvagu ierīkošana ūdens aizvadīšanai un koksnes pelnu ienese zemsedzes veģetācijas veidošanās veicināšanai).

⁸ Objektā ierīkoti trīs gāzu mērījumu parauglaukumi, raksturojot mitruma režīma gradientu.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 4.15. Sākotnējie augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju rezultāti pirms un pēc mežizstrādes purvainos



Attēls 4.16. Sākotnējie augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju rezultāti pirms un pēc mežizstrādes slapjajos

Mērījumus jau ierīkotajos izpētes objektos turpināsim vēl vienu sezonu, lai nodrošinātu iegūto rezultātu atbilstību Starpvalstu klimata pārmaiņu padomes vadlīniju prasībām, taču mežizstrādes ietekmes ilguma un kumulatīvās ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai novērojumi turpināmi ilgāk, lai iespējamo īstermiņa emisiju pieaugumu neekstrapolētu uz ilgāku laika periodu.

4.3. Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību kataloga mežsaimniecībai izstrādāšana

Pētījuma ietvaros identificētas tās darbības, kuru ietekmei ir zinātnisks pamatojums, kas balstīts uz Latvijā iegūtiem datiem, kā arī darbības, kuru efektivitāte pamatota zinātniskos pārskatos, kas balstīti uz empīriski iegūtiem datiem. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, ir saīsināts klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu saraksts, izslēdzot no tā pasākumus, kuru ietekme ir grūti prognozējama, papildināts pasākumu apraksts. Pasākumu izmaksu un ieņēmumu salīdzinājums veikts, izmantojot pieņēmumus, kas atbilst 2021.-2022. gada Centrālā statistikas biroja un citos publiski pieejamos avotos esošajai informācijai. Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību katalogs pievienots 3. pielikumā. Informācija, kas iekļauta katalogā, ir harmonizēta ar priekšlikumiem, kas iesniegti klimata neitralitātes plāna sasniegšanai Nacionālajā klimata un enerģētikas plānā.

5. MEŽA IEAUDZĒŠANAS UN KOKAUGU STĀDĪJUMU IERĪKOŠANAS MELIORĀCIJAS SISTĒMU BUFERJOSLĀS IETEKMES UZ SEG EMISIJĀM UN CO₂ PIESAISTI IZPĒTE

5.1. Eksperimentālo stādījumu ierīkošana un esošo apmežojumu apzināšana meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti demonstrēšanai minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs

Pētījuma nolūks 2023. gadā ir empīrisko datu ieguve meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti demonstrēšanai platībās ar minerālaugsnēm un organiskajām augsnēm. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, papildināta informācija par izmēģinājumu objektu ierīkošanas progresu un SEG emisijām, atkarībā no kūdras slāņa biezuma apmežojamās platībās.

5.1.1. Oglekļa aprites izpētes objekta ierīkošana Kapusila karjerā







Meža ieaudzēšanas (dažādas sugas un stādīšanas biežums) ietekmes uz dažādām oglekļa krātuvēm raksturošanai paredzēts pabeigt, kad noslēgsies Mežu pētīšanas stacijas Mežoles mežu novada Kapusila karjera rekultivācijas darbi. Jau iepriekšējā gadā sagatavotas shēmas apļveida parauglaukumu izvietojumam reljefā. Rekultivācija ietver reljefa saglabāšanu, paredzēta nogāžu slīpuma samazināšana – atbilstoši normatīvajiem aktiem par smilts/grants karjeru rekultivāciju pēc derīgā izrakteņa ieguves pārtraukšanas, kas atļaus veidot stādījumu, kas orientēts pret dažādām debespusēm (att. 5.1), paredzēts noskaidrot augsnes temperatūras un apgaismojuma ietekmi uz koku augšanu un SEG emisijām.



Attēls 5.1. Kapusila karjera apsekošana 2023. gada jūnijā

Līdz šim karjers apmežojās spontāni. Dabiski ieaugušas gan priedes, gan bērzi, gan dažādas kārķļu sugas, arī atsevišķas egles. Vietām ieplakās krājas nedaudz ūdens (att. 5.2). Rekultivācijas laikā šīs ieplakas ir aizpildītas. Karjera izlīdzināšana pirms koku stādīšanas pabeigta tikai 2023. gada novembrī.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Apzīmējumi	
	Zemes vienības un zemes vienības daļas robežas
	Atradnes krājumu aprēķina laukuma kontūra un robežpunkti
	Teritorijas, kuras paredzēts līdzināt vai piebērt
	Teritorijas, vai nogāžu daļas, kuras paredzēts norakt/nostumt
	Grunts pārvietošanas virziens
	Utilizējamie būvatkritumi un riepas

KĀPLES UN NOGĀZES				
Nogāzes apzīmējums	Kāples nr. un izstrādes virziena	Sīpums, grādos	Sīpums, vertikāli	Apraksts
	-	33°	1:1,5	Rekultivācijas nogāzes kur sīpuma samazināšana nav paredzēta
	-	27°	1:2	Rekultivācijas nogāzes kur paredzēta sīpuma samazināšana

Attēls 5.3. Kapsila karjera rekultivācijas shēmā iekļautās aktivitātes

Karjeru ieskaujošajā teritorijā, kur izrakteņa ieguve pabeigta ātrāk, vērojama dabiska atjaunošanās – izaugušas priedes un bioloģiski vērtīgas lapu koku sugas, blīgzna, liepas, kļavas, arī bērzi (att. 5.4). Šī daļa rekultivācijas darbos nav skarta.



Attēls 5.4. Kapsila karjera senākās daļas dabiskā apmežošānās ar bērzu

Dabiskā apmežošānās nevienmērīga, un koku skaits ir nepietiekošs. Koki izauguši reljefa mikroieplakās, kur uz augsnes virskārtas uzkrājušās meža nobiras. Jau aizaugušajā teritorijā priedes bojātas tādā pakāpē, ka to augšana ir būtiski ierobežota (att. 5.5). Tomēr karjera teritoriju ieskaujošajā buferjoslā (starp oranžo un sarkano līniju, att. 5.3) priedes nav apkostas, bojājumi vērojami vien lapu kokiem, galvenokārt kārkliem.



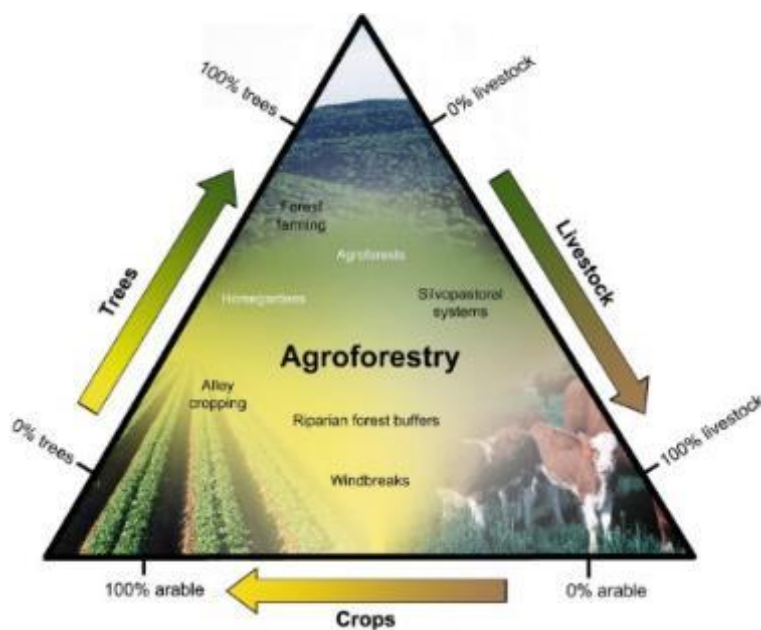
Attēls 5.5. Izlīdzinātā karjera reljefs un to ieskaujošajā daļā augošās priedes

Karjera rekultivāciju turpināsies 2024. gada pavasarī, MPS ir pasūtīts nepieciešamais stādu skaits, lai teritorijā izvietotu dažāda blīvuma priežu, egļu, bērzu un melnalkšņu stādījumus, kas

izkārtoti, veidojot Nedlera apļus⁹. Karjera rekultivācijas plānā paredzēts veidot 40 m platu buferzonu gar karjera rietumu malu, kur karjeram pieguļ autoceļš – šeit atkārtosim MPS jau 2023. gadā ierīkoto vīrišķo vītolu stādījumu shēmu un stādīsim citas lapu koku sugu kombinācijas, izvēloties kokus ar dažādu augšanas tempu un dažādu sasniedzamo augstumu.

5.1.2. Agromežsaimniecības potenciāla novērtējums

Pētījuma ietvaros vērtējam arī agromežsaimniecības pasākumu potenciālo ietekmi uz SEG emisiju samazinājumu un rezultātus iekļāvām pētījuma ietvaros aktualizētajā klimata pārmaiņu mazināšanas katalogā. LVMI Silava meža atjaunošanas, ieaudzēšanas un agro mežsaimniecības grupa ir Eiropas agro mežsaimniecības federācijas (EURAF) biedrs¹⁰. Biedrība aktīvi iesaistās agromežsaimniecības prakšu plašākas ieviešanas lobēšanā, kā arī veido prakšu iekļaušanas vienotajos plānošanas dokumentos pamatojumus. Biedrības mājaslapā angļu valodā regulāri publicē politikas vadlīnijas (*Policy Briefing*), tai skaitā par oglekļa piesaistes jautājumiem¹¹. EURAF vadošie speciālisti izstrādā vadlīnijas agro mežsaimniecības darbību ieviešanai Eiropas lauksaimniecības un mežsaimniecības praksē bioloģiskās daudzveidības un oglekļa piesaistes veicināšanai ņemot vērā visus trīs agromežsaimniecības sistēmām raksturīgas saimniekošanas produktīvo kultūru veidus – kokaugi, lauksaimniecības kultūraugi, lopkopība, putnkopība, biškopība. (att. 5.6).



Attēls 5.6. Agromežsaimniecības sistēmas veidojošie komponenti¹²

Izstrādājot pēcdoktorantūras pētījumu “Klimatu izmaiņu mazināšanas potenciāla izpēte agromežsaimniecības sistēmās ar organiskām augsnēm un minerālaugsnēm”¹³, sagatavots kopsavilkums par politikas un plānošanas dokumentiem raksturojot situāciju Latvijā uz 2023. gada martu. Pētījuma

⁹ Alba, F., Péllico, S., Behling, A., Marinheski-Filho, A., & Cerqueira, C. (2022). A new approach to assessing competition from trees on Nelder wheels. *Forest Systems*, 31(1), e004. <https://doi.org/10.5424/fs/2022311-17913>

¹⁰ <https://euraf.net/>

¹¹ <https://zenodo.org/records/7803182>

¹² Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D. (2021). Classification of Agroforestry Systems. In: *An Introduction to Agroforestry*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0_3

¹³ <https://www.silava.lv/images/Petijumi/2021-PostDoc-684-Bardulis/2023-04-25-PostDoc-684-Informacija-politikas-veidotajiem.pdf>

ietvaros dokuments papildināts, saite uz periodiski papildināmu dokumentu publicēta pētījuma sadaļā LVMI Silava mājas lapā¹⁴.

2023. gadā agromežsaimniecības sistēmas pirmo reizi ir iekļautas vienoto platības maksājumu shēmās, jo “Tiešo maksājumu piešķiršanas kārtība lauksaimniekiem” noteikts, ka:

- 13. pants. Atbalsttiesīgas aramzemes platība ietver agromežsaimniecības sistēmu elementus – kokus, kas aug atsevišķi, grupās vai rindās, ja koku skaits uz hektāra nepārsniedz 100 vai ja koku grupu, rindu vai joslu aizņemtā kopējā platība nepārsniedz 500 kvadrātmetru, izņemot tos elementus, kas deklarēti regulas 2021/2115 III pielikumā noteiktajā 8. laba lauksaimniecības un vides stāvokļa standartā (turpmāk – LVS standarts);
- 19. pants. Tiešo maksājumu saņemšanai atbalsttiesīga ilggadīgo stādījumu un ilggadīgā zālāja platība ietver tādus agromežsaimniecības sistēmu elementus kā koki, kas aug atsevišķi, grupās vai rindās, ja koku skaits uz hektāra nepārsniedz 100 vai koku grupu, rindu vai joslu aizņemtā kopējā platība nepārsniedz 500 kvadrātmetru.¹⁵

Nosakot “Atbalsta piešķiršanas kārtība Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai platībatkarīgo un dzīvniekatkarīgo saistību īstenošanai”, tās pieminētas sadaļā 2.1.6. Prasības intervences “Zālāju biotopu apsaimniekošana” īstenošanai – “59.2.4. 4. klase – ārpus lauksaimniecības platības esošie zālāju biotopi (tostarp biotopi, kas tiek atjaunoti, un agromežsaimniecības platības, kas nevar pastāvēt bez lauksaimnieciskās darbības īstenošanas)”¹⁶.

Sākot ar 2023. gadu, ir divkāršots labas lauksaimniecības prakses noteikumos minētais koku skaits, iepriekš tie bija 50, tagad jau 100 koki uz ha vai 500 m² liela koku grupa, kas atbilst kokāju pļavām un ganībām raksturīgai situācijai, piemēram, arī tādai, kādu AS “Latvijas valsts meži” izveidoja 2022./2023. gadā Ziemeļgaujā.¹⁷ Agromežsaimniecība pieminēta arī “Par Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektora virzību uz klimatneitralitāti”¹⁸ informatīvajā ziņojumā, kur rakstīts:

1. “Latvijā, lai sasniegtu abu regulu mērķus, ir jāveicina un jāuztur SEG piesaistei un bioloģiskās daudzveidības uzturēšanai labvēlīga meža vecumstruktūra un apsaimniekošana, jāpiekopj dabai draudzīgas lauksaimniecības prakses, t.i., jāveicina bioloģiskā lauksaimniecība un agromežsaimniecība, kā arī jāveic organisko augšņu ilgtspējīga apsaimniekošana un atjaunošana”;
2. “Pašlaik ir zināms, ka ir nepieciešams rast risinājumus, kas saistīti ar lauksaimnieciskās ražošanas turpināšanu, nesamazinot saražotās produkcijas apjomu un optimālu mežsaimniecības veikšanu, kas nodrošina koksnes, vides un klimata vajadzību nodrošināšanu. Lauksaimniecības kontekstā ir svarīgi turpināt ražošanu, samazinot SEG un amonjaka emisijas, taču mežsaimniecības kontekstā veikt mežu apsaimniekošanu, veicinot piesaistes palielināšanu. Tieši tāpēc ir nepieciešams veicināt nozaru pētniecību, jaunu tehnoloģiju, metožu un inovatīvu risinājumu izstrādi un pielietošanu. Svarīgi arī veicināt nozaru kopīgu attīstību un risinājumu integrēšanu zemes apsaimniekošanā, piemēram, veicināt agromežsaimniecības attīstību. Tāpat ir svarīgi nodrošināt finansiālu atbalstu līdz šim nebijušām, bet efektīvām mežsaimniecības un lauksaimniecības apsaimniekošanas praksēm”.

5.1.3. SEG emisijas no augsnes atkarībā no kūdras slāņa biezuma

Gāzu apmaiņas mērījumi dažādu kūdras slāņa biezuma ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai pirms meža ieaudzēšanas veikti 501. kv. apg. 365. kv. 54. nogabalā, mērījumi uzsākti

¹⁴ <https://www.silava.lv/petnieciba/aktive-petijumi/oglekla-aprite-meza-ekosistema>

¹⁵ <https://likumi.lv/ta/id/341260-tieso-maksajumu-pieskirsanas-kartiba-lauksaimniekiem>

¹⁶ <https://likumi.lv/ta/id/341263-atbalsta-pieskirsanas-kartiba-eiropas-lauksaimniecibas-fonda-lauku-attistibai-platibatkarigo-un-dzivniekatkarigo-saistibu>

¹⁷ <https://www.lvm.lv/jaunumi/7025-sovasar-jau-uzziedejusas-lvm-atjaunotas-parkveida-plavas-ziemelgauja>

¹⁸ https://tapportals.mk.gov.lv/legal_acts/7a032e81-ace2-484e-976b-628f57cbe307#

15.07.2021, lai iegūtu vismaz vienu gadu garu datu rindu pirms augsnes sagatavošanas un turpināta 2023. gadā pēc augsnes sagatavošanas 2022. gada ziemā. Objektā ierīkoti trīs parauglaukumi ar trīs augsnes heterotrofās elpošanas punktiem un trīs gāzes paraugu ievākšanas vietām augsnes-atmosfēras siltumnīcefektā gāzu apmaiņas novērtēšanai.

Pētījumā konstatēts, ka kūdras slāņa biezums nekorelē ar SEG emisijām no augsnes, un lielākās SEG emisijas ir platībā ar mazāko kūdras slāņa biezumu, lai arī atšķirība nav būtiska (tab. 5.1). Pēc augsnes sagatavošanas CO₂ emisijas no augsnes palielinājušās, salīdzinot vidējos emisiju rādītājus (tab. 5.2), taču tas var būt saistīts arī ar atšķirībām laika apstākļos, piemēram, 2023. gada vasarā bija ekstrēmi mazs nokrišņu daudzums. Emisiju pieaugums vērojams tikai platībās ar dziļāku kūdras slāni.

Tabula 5.1. SEG emisijas no augsnes pirms augsnes sagatavošanas (2021. gada rezultāti)

Kūdras slāņa biezums, cm	Augsnes heterotrofā elpošana, CO ₂ , mg C m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ , mg C m ⁻² h ⁻¹	N ₂ O, mg N m ⁻² h ⁻¹
10	56,373 ± 9,754	-0,056 ± 0,018	0,037 ± 0,009
15	37,876 ± 6,373	-0,078 ± 0,015	0,020 ± 0,004
25	28,301 ± 3,324	-0,018 ± 0,012	0,005 ± 0,005

Tabula 5.2. SEG emisijas no augsnes pēc augsnes sagatavošanas (2022.-2023. gada rezultāti)

Kūdras slāņa biezums, cm	Augsnes heterotrofā elpošana, CO ₂ , mg C m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ , mg C m ⁻² h ⁻¹	N ₂ O, mg N m ⁻² h ⁻¹
10	55,745 ± 6,615	-0,047 ± 0,005	0,000 ± 0,004
15	51,386 ± 8,329	-0,019 ± 0,016	0,014 ± 0,010
25	55,122 ± 6,763	-0,025 ± 0,005	-0,011 ± 0,004

Vērtējot sakarību starp augsnes elpošanas radītajām CO₂ emisijām un gaisa temperatūru, konstatēts, ka plānāks kūdras slānis saistīts ar straujāku emisiju pieaugumu (att. 5.7.), kam par iemeslu var būt straujāka augsnes sasilšana un izkalšana, pieaugot CO₂ emisijām.

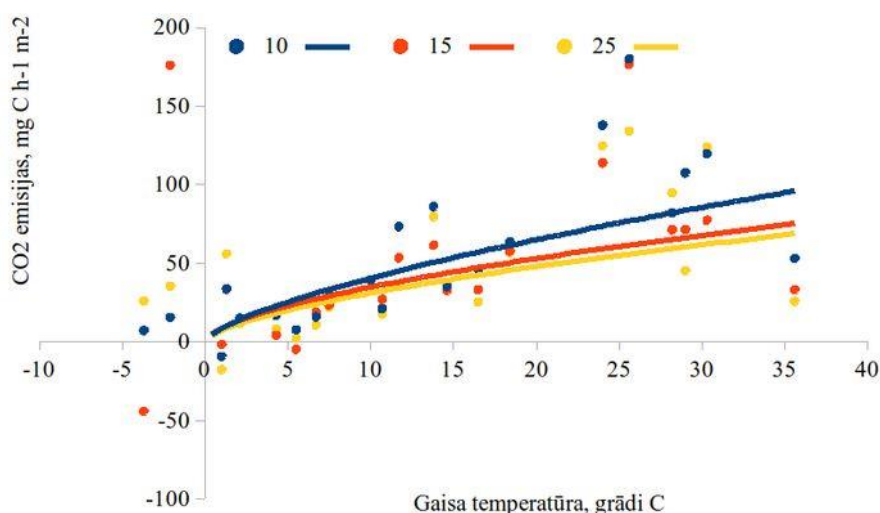
Metāna (CH₄) emisijas ir negatīvas, neatkarīgi no gaisa temperatūras; attiecīgi, gaisa temperatūras izmaiņas nevar izmantot CH₄ emisiju raksturošanai (att. 5.8.). CH₄ emisijas pieaug tikai tad, kad augsne ir mitruma piesātinājuma apstākļos.

Dislāpekļa oksīda (N₂O) emisijas korelē ar gaisa temperatūru, taču emisijas kopumā ir nelielas (att. 5.9.). Pētījumā nav konstatēts, ka N₂O emisijas pieaug, palielinoties kūdras slāņa biezumam.

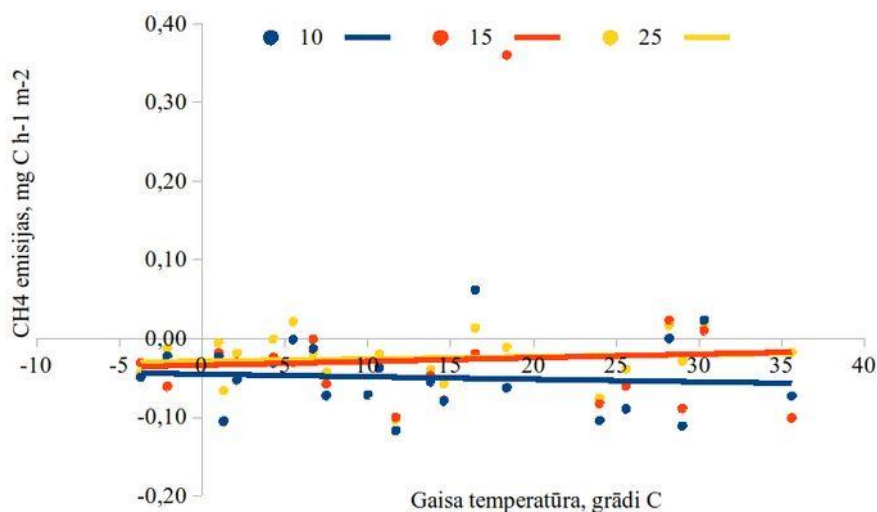
Pētījuma sākotnējie rezultāti apstiprina to, ka augsnes ar nelielu kūdras slāni arī ir būtisks emisiju avots, tāpēc pētījumi šajā virzienā jāturpina. Uzmanība vēršama uz kūdras slāņa biezuma, oglekļa uzkrājuma, mitruma, temperatūras, siltumnīcefekta gāzu apmaiņas un gruntsūdens līmeņa savstarpējām sakarībām dažādos meteoroloģiskos apstākļos. Lai gan temperatūra tiešā veidā nekorelē ar augsnes CH₄ emisijām, jāmeklē izpratne par temperatūras ietekmi uz augsnes mitruma režīmu, kas savukārt korelē ar CH₄, emisijām. Vienlaicīgi turpināma empīrisku datu ievākšana, lai uzlabotu N₂O emisiju prognozēšanas spējas. Lai gan absolūtās N₂O masas vienībās emisijas ir nelielas, šai gāzei globālās sasilšanas potenciāls ir 265 reizes lielāks nekā CO₂ emisijām (GWP

AR5¹⁹). Attiecīgi ir būtiski sasniegt šo emisiju novērtēšanas nenoteiktības samazināšanas spēju. Īpaši būtiski tas ir lauksaimniecības zemju apmežojumos, kur stādīts melnalksnis un baltalksnis, kas saista atmosfēras slāpekli.

2023. gadā uzstādīts gāzu apmaiņas mērīšanas aprīkojums augsnes heterotrofās elpošanas un SEG emisiju mērīšanai no pacilām un bedrēs, plašāka informācija par šī izmēģinājuma sākotnējiem rezultātiem dota nodaļā “[4.2. Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai](#)”.

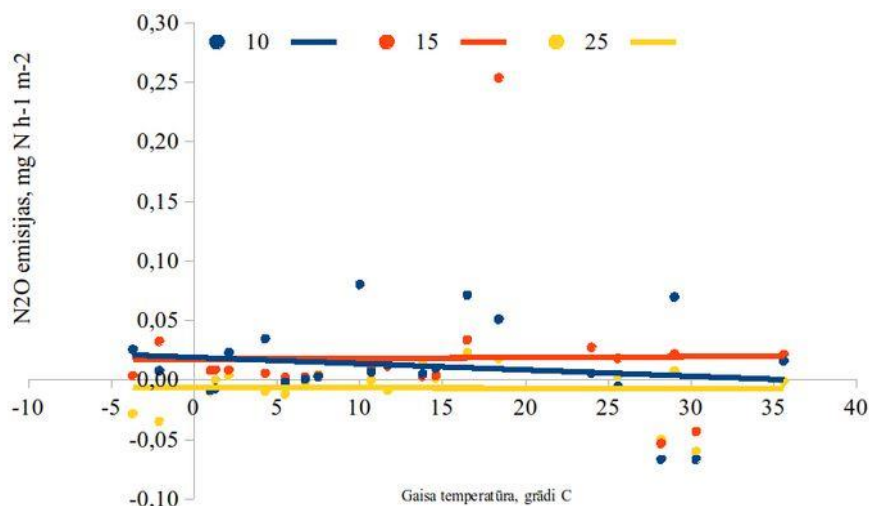


Attēls 5.7. Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas no augsnes



Attēls 5.8. CH₄ emisijas no augsnes

¹⁹ https://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf



Attēls 5.9. N₂O emisijas no augsnes

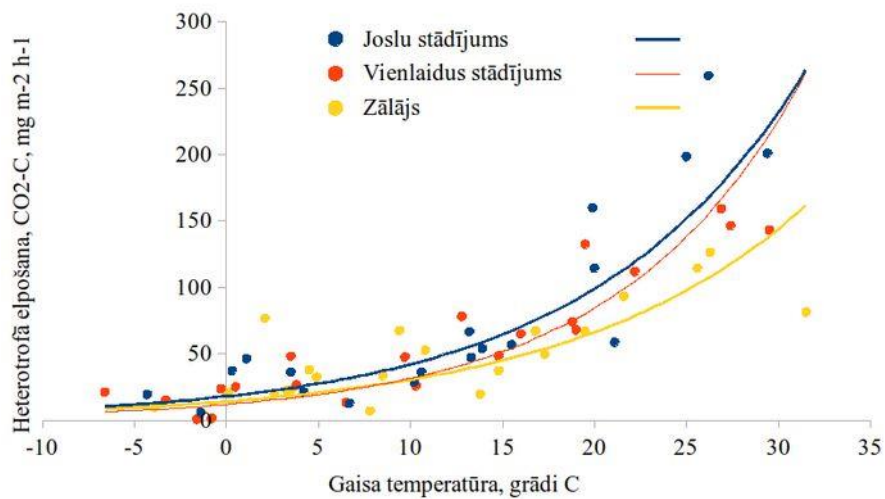
5.2. Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskam augsnēm un minerālaugsnēm

Augsnes-atmosfēras gāzu apmaiņas mērījumi 2023. gadā veikti iepriekš LIFE OrgBalt projekta ietvaros ierīkotā kokaugu stādījumā ar kūdras augsni ZS “Andrupēni”, lai salīdzinātu SEG emisijas vienlaidus kokaugu stādījumā un joslu stādījumā. Saskaņā ar sākotnējiem 2023. gadā iegūtajiem rezultātiem SEG emisijas no kokaugu joslu stādījuma ir vidēji par 16% lielākas nekā no vienlaidus stādījuma, bet abos variantos tās ir lielākas nekā saimnieciskās darbības sētā zālājā (tab. 5.3). Visticamāk, ka tas saistīts ar augsnes sagatavošanas un agrotehniskās kopšanas (ecēšanas) radīto ietekmi, tāpēc novērojumi ir jāturpina ilgstoši, lai noteiktu, cik ilgi saglabājas atšķirība starp emisijām zālājā un kokaugu stādījumā organiskā augsnē. Lielākas emisijas joslu stādījumā skaidrojamas ar to, ka joslu stādījums atrodas pie grāvja, kur gruntsūdens līmenis ir zemāks un pieejams lielāks barības vielu daudzums filtrācijas ūdeņos; attiecīgi, arī lielāka augsnes mikrofloras aktivitāte.

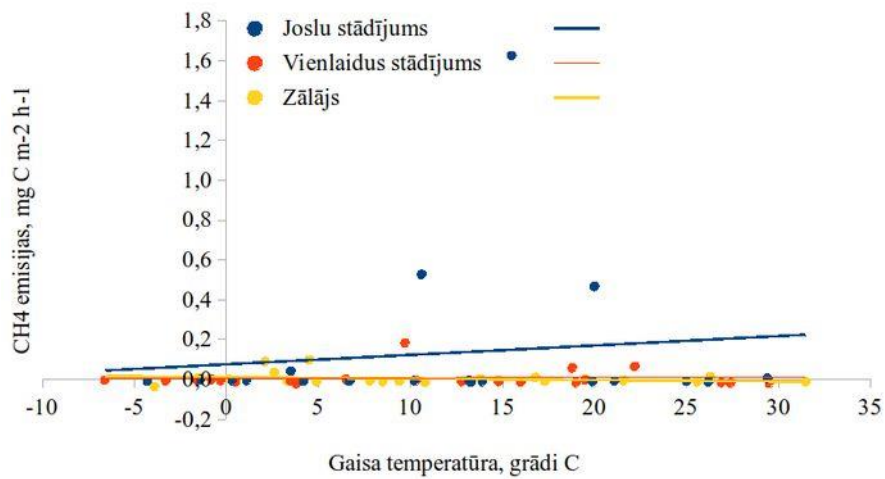
Tabula 5.3 SEG emisiju kopsavilkums (sākotnējie dati)

Nosaukums	Augsnes elpošana, CO ₂ , mg m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ , mg m ⁻² h ⁻¹	N ₂ O, mg m ⁻² h ⁻¹	SEG emisijas kopā, mg m ⁻² h ⁻¹
Joslu stādījums	76,783 ± 8,102	0,134 ± 0,044	0,006 ± 0,001	289 ± 30
Kokaugu stādījums	66,068 ± 5,972	0,007 ± 0,006	0,004 ± 0,001	244 ± 22
Kontrole - zālājs	47,987 ± 2,644	0,004 ± 0,004	0,009 ± 0,002	180 ± 10

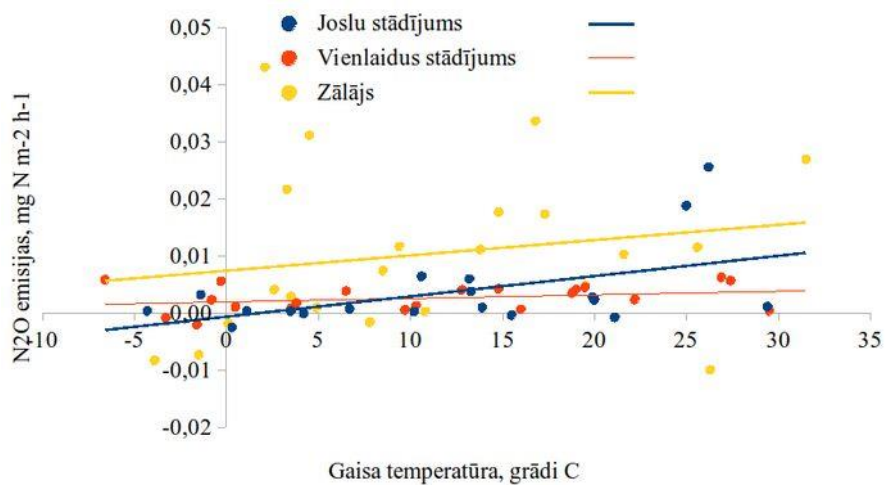
CO₂ emisijas no augsnes korelē ar gaisa temperatūru, joslu stādījumos emisiju pieaugums, kāpjot temperatūrai, ir nedaudz lielāks nekā vienlaidus stādījumā (att. 5.10), kas var būt saistīts ar vidēji zemāku gruntsūdens līmeni. CH₄ emisijas nekorelē ar temperatūru un ir nenozīmīgas gan kokaugu joslu, gan vienlaidus stādījumā, izņemot atsevišķus ekstrēmus joslu stādījumā (att. 5.11), kas korelē ar gruntsūdens līmeņa izmaiņām, taču sakarība nav sistemātiska. N₂O emisijas arī ir nelielas abās vērtētajās teritorijās, taču joslu stādījumā, pieaugot gaisa temperatūrai, veidojas N₂O emisiju ekstrēmi (att. 5.12). Lielākās N₂O emisijas veidojas zālajos.



Attēls 5.10. Augsnes heterotrofās elpošanas radītās CO₂ emisijas no augsnes



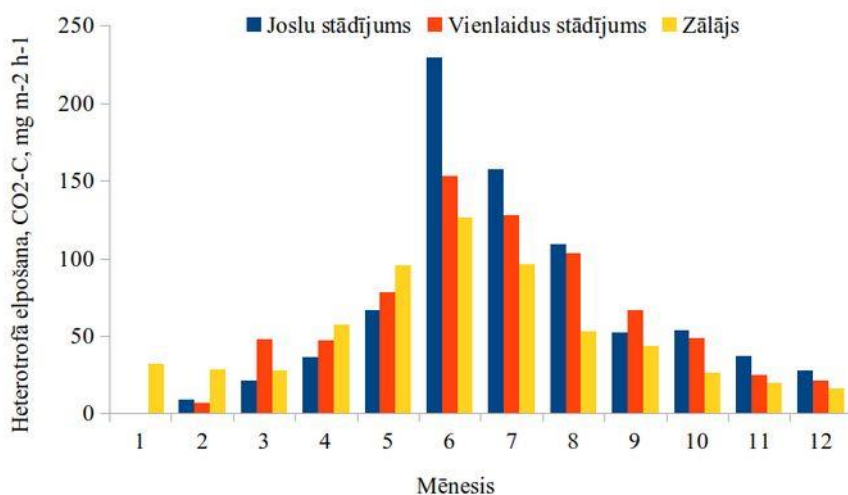
Attēls 5.11. CH₄ emisijas no augsnes



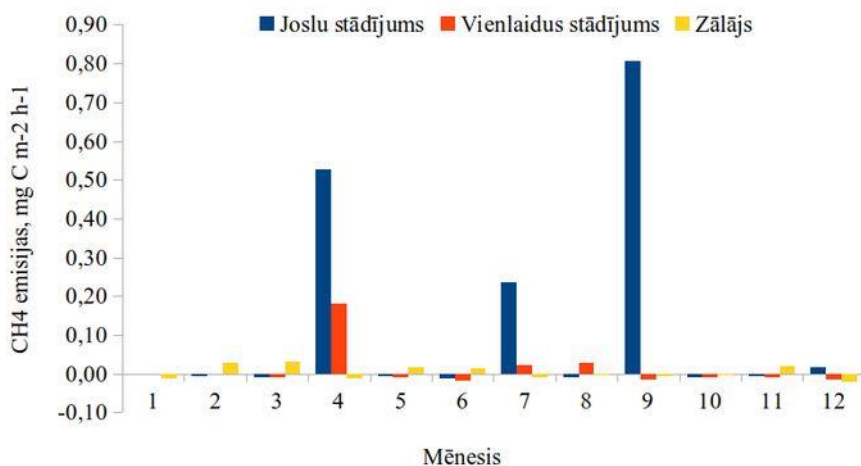
Attēls 5.12. N₂O emisijas no augsnes

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Kalendāro mēnešu griezumā CO₂ emisijas pieaug līdz jūnijam un samazinās, sākot ar jūliju. Joslu stādījumos CO₂ emisiju samazināšanās notiek pakāpeniski (att. 5.13). CH₄ emisijas veidojas galvenokārt pavasara, vasaras un rudens mēnešos, taču emisiju veidošanās notiek ekstrēmu izmaiņu veidā, nevis emisijām pakāpeniski pieaugot vai samazinoties (att. 5.14). Ekstrēmas emisiju vērtības konstatētas tikai joslu stādījumos. N₂O emisijas pieaug pavasara mēnešos, straujāks emisiju pieaugums ir joslu stādījumos, kas var būt saistīts ar barības vielu izskalošanos augsnes apstrādes rezultātā (att. 5.15).

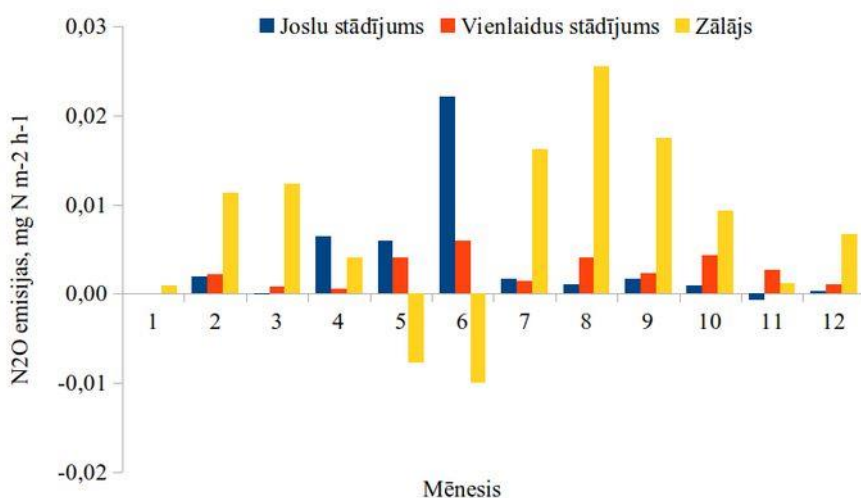


Attēls 5.13. Vidējās CO₂ emisijas no augsnes kalendāro mēnešu griezumā



Attēls 5.14. Vidējās CH₄ emisijas no augsnes kalendāro mēnešu griezumā

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 5.15. Vidējās N₂O emisijas no augsnes kalendāro mēnešu griezumā

Sadarbojoties ar MPS, uzsākta izpētes objekta ierīkošana kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai platībās ar minerālaugsnēm, kā arī veikta Skrīveru kokaugu stādījumā 2022. gadā iegūto gāzu apmaiņas un citu oglekļa aprites datu kvalitātes analīze un uzsākta gāzu apmaiņas mērījumu rezultātu apkopošana SEG emisiju no augsnes raksturošanai.

Kokaugu stādījuma ierīkošana uzsākta Mežu pētīšanas stacijas Kalsnavas mežu novadā. Iepriekš ierīkotās balto vītolu un nektāraugu agromežsaimniecības sistēmas papildinātas ar papeļu un vietējas izcelsmes kārkļu šķirņu aizsargjoslām (att. 5.16). Stādījums kopts ravējot. 2024. gada ziemā ievāksim stādmaterialu, lai papildinātu izkritušos stādus, ka arī lai ierīkotu šī stādījuma atkārtojumu MPS Kapusila karjerā.



Attēls 5.16. Balto vītolu agromežsaimniecības sistēmai blakus ierīkotais kārkļu un papeļu stādījums

Stādījumā veikta nezāļu apkarošana. Iezīmētas gāzu apmaiņas mērījumu vietas. Izvēlēta arī kontroles teritorija zālājā tajā pašā iežogotajā teritorijā. Sakņu sistēma attīstījās vāji, saglabājušies apmēram 60% stādījuma, 2024. gadā būs jāveic papildināšana. 2023./24. gada ziemā iežogotajā teritorijā MPS plāno apauguma novākšanas darbus, atstājot kokāju pļavām raksturīgās struktūras koku grupas un atsevišķus kokus, kā rezultāta teritorijā būs gan aleju agromežsaimniecības, gan koku grupas, gan buferjoslas.

5.3. Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām

2023. gadā sagatavoti divi videomateriāli, iekļaujot tādas klimata pārmaiņu samazināšanas darbības, kā meža ieaudzēšana organiskās augsnēs un mežu ar organiskām augsnēm apsaimniekošanas ietekme uz SEG emisijām. Šie ieraksti publicēti LVMI Silava YouTube vietnē sadaļā "Atskaņošanas saraksti"²⁰, pārskata sagatavošanas brīdī tiem bija jau 93 un 77 skatījumi. Izveidots atskaņošanas saraksts ko nākamajā pētījuma īstenošanas periodā papildinās ar jauniem video materiāliem.

Gada nogalē žurnālā Agrotops (Nr. 11)²¹ publicēts populārzinātnisks raksts "Pētījums! Organiskās augsnes — svarīgākais elements klimata politikas mērķu sasniegšanā", sniedzot vispārēju informāciju par nepieciešamību mazināt SEG emisijas un palielināt oglekļa dioksīda piesaisti meža apsaimniekošanā, kā arī informējot par konkrētu klimata pārmaiņu mazināšanas darbību ieviešanas iespējām un potenciālo klimata pārmaiņu mazināšanas ietekmi.

Publicēts zinātnisks raksts par bērzu apšu hibrīdu, alkšņu augšanu marginālā lauksaimniecības zemē (akmeņaina, smags māls) – analizēta pirmajos 11 gadus uzkrātās virszemes biomasas dinamika un koksnes pelnu, sadzīves notekūdeņu pamatmēslojuma ietekme - Long-Term Effect of Wood Ash and Wastewater Sludge Fertilization on Tree Growth in Short-Rotation Forest Plantations on Abandoned Agricultural Land: A Case Study.²²

Pētījuma ietvaros 2023. gadā sagatavots raidieraksts par kokaugu stādījumiem "LVMI Silava raidieraksts: #5 Kokaugu stādījumi nemeža zemēs".²³ Līdz šim to noklausījušies 213 reizes. Raidieraksta anotācijā teikts: "Novārtā atstātas lauksaimniecības zemju platības, izstrādātie kūdrāji un citas derīgo izrakteņu ieguves vietas Latvijas ainavā veido nelielu, tomēr vērā ņemamu zemes platību. Jaunākajā raidieraksta epizodē LVMI Silava vadošā pētniece Dagnija Lazdiņa stāsta par apmežošanu kā vienu no kūdras ieguves ietekmētas teritorijas rekultivācijas veidiem, par to, kas ir agromežsaimniecība un kādas ir šādas saimniekošanas priekšrocības un ieguvumi, kā arī dalās ar veiksmes stāstiem, kā iespējams veikt derīgo izrakteņu ieguves vietu rekultivāciju. Klausies, uzzini un analizē!"

Raidierakstā # 13 "Klimata politikas mērķi un CO₂ piesaistes/SEG emisiju mazināšana"²⁴ LVMI Silava vadošais pētnieks Andis Lazdiņš stāsta par klimata pārmaiņu mazināšanas mērķiem ZIZIMM sektorā un par darbībām, ko var īstenot klimata neitralitātes mērķu sasniegšanai līdz 2030. un 2050. gadam.

²⁰ https://www.youtube.com/playlist?list=PLqkJMZ9QnCJWmTYRXAXehfDe-R3Cjha_p

²¹ <https://lasi.lv/saimnieks-uznemejs/zalais-kurss/petijums-organiskas-augsnes-svarigakais-elements-klimata-politikas-merku-sasniegsana.9086>

²² Makovskis, Kristaps, Kārlis Dūmiņš, Toms Artūrs Štāls, Viktorija Vendiņa, Arta Bārdule, and Dagnija Lazdiņa. 2023. "Long-Term Effect of Wood Ash and Wastewater Sludge Fertilization on Tree Growth in Short-Rotation Forest Plantations on Abandoned Agricultural Land: A Case Study" Sustainability 15, no. 23: 16272. <https://doi.org/10.3390/su152316272>

²³

https://www.youtube.com/watch?v=UZD9wb_vMuM&list=PLqkJMZ9QnCJUaLPA0Eug1wvd7wRG_ifHV&index=6

²⁴

https://www.youtube.com/watch?v=bW19zQDjtso&list=PLqkJMZ9QnCJUaLPA0Eug1wvd7wRG_ifHV&index=14

6. MEŽA RESURSU IZMANTOŠANAS EFEKTIVITĀTES PALIELINĀŠANA KLIMATA PĀRMAIŅU MAZINĀŠANAI

6.1. Kokmateriālu iznākuma sadalījuma prognozēšanas algoritmu pilnveidošana

Pētījuma ietvaros esam izveidojuši mašīnmācīšanās [metodi](#) saražoto apaļo kokmateriālu prognozēšanai meža nogabalu vai Meža resursu monitoringa parauglaukuma līmenī. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, papildināti aprēķinu rezultāti un aprēķinu metodika.

6.1.1. Metodika

Pētījumā analizētas dažādu apaļo kokmateriālu sortimentu prognozēšanas iespējas LVM cirsmu ietvaros. No LVM iegūta datu kopa, kura satur 353 905 ierakstus par sagatavotajiem apaļo kokmateriālu sortimentiem 2021. gadā izstrādātajās krājas kopšanas un atjaunošanas cirtēs. Datu kopa satur informāciju par koku sugu, sugu grupu, sagatavotā apaļo kokmateriālu sortimenta veidu un apjomu, cirsmas ID, cirtes veidu, kā arī kvartālu apgabala, kvartāla un nogabala numuru. Apaļo kokmateriālu sortimentu veidi un to atšifrējumi atrodami apaļo kokmateriālu kvalitātes aprakstā (AS Latvijas valsts meži, 2022).

Datu kopas sagatavošana tālākajai analīzei veikta R (R Core Team, 2022) programmatūras vidē. Šajā posmā veiktas sekojošas darbības:

1. Atlasītas cirsmas, kur mežizstrāde veikta viena nogabala robežās, tādējādi nodrošinot savienojamību ar LVM nogabalu datubāzi;
2. Atlasītas platības, kur veikta atjaunošanas cirte (KC). Krājas kopšanas ciršu dati izslēgti no tālākās apstrādes, jo šādu datu bija par maz, lai veiktu ticamu mašīnmācīšanās modeļu apmācīšanu dažādu apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanai;
3. No koku sugas un apaļo kokmateriālu sortimenta kolonnām ģenerēta jauna kolonna, lai iegūtu sarakstu ar visām datu kopā sastopamajām koku sugu un apaļo kokmateriālu sortimentu kombinācijām;
4. Izmantojot izveidoto sugu un apaļo kokmateriālu sortimentu kombināciju sarakstu, oriģinālajai datu kopai pievienotas jaunas kolonnas ar visu sastopamo kombināciju nosaukumiem kā kolonnu nosaukumiem;
5. Jaunizveidotajās kolonnās aprēķināts katra konkrētā apaļo kokmateriālu sortimenta apjoms, kam par pamatu izmantoti sākotnējie dati;
6. Datu kopas ieraksti grupēti pēc cirsmas identifikatora, tādējādi iegūstot jaunu datu kopu, kurā katrai cirsmā ir viens ieraksts, kas satur informāciju par konkrētajā cirtmā iegūtajiem apaļo kokmateriālu sortimentiem;
7. No datu kopas dzēstas tās apaļo kokmateriālu sortimentu kolonnas, kurās unikālo ierakstu skaits ir mazāks par 200, jo mašīnmācīšanās algoritmu pielietošanai tipiski nepieciešami vismaz vairāki simti datu rindu;
8. Jaunizveidotajai datu kopai, balstoties uz cirsmas identifikatoru, pievienota informācija no LVM nogabalu datubāzes versijas, kura datēta ar 16.10.2019, tādējādi katram datu kopas ierakstam pievienota informācija par mežaudzes koku sugu sastāvu un dažādiem meža inventarizācijas parametriem (koku suga, nogabala platība, mežaudzes augšanas apstākļu tips, sugu sastāva formula, krāja, vidējais koku augstums un diametrs, šķērslaukums, biežība un atjaunošanas veids);
9. Koku sugu sastāva formula izmantota par pamatu jaunas datu kopas kolonnas ģenerēšanai, kura satur informāciju par katras koku sugas īpatsvaru mežaudzē. Tā kā pieraksta veids koku

sugu sastāva formulā ir dažāds, tālākai apstrādei izmantota tikai tā informācija, kas ietver koku sugu sastāva formulas pirmo burtu un skaitļu virkni (līdz pirmajai atstarpei), piemēram, no koda „7E3P91 +P41” izmantota tikai pirmā daļa, jeb „7E3P91”. Ja kopējā koku sugu proporcija pēc šīs darbības nesasniedz 10, šī datu rinda dzēsta, piemēram, kods „7P91 3P61 +P121” apgrieztajā formātā ir „7P91”.

10. Informācija par mežaudzes augšanas apstākļu tipu un atjaunošanas veidu no pieraksta teksta veidā pārveidota uz bināru pierakstu, atsevišķās kolonnās izdalot cirtes piederību augšanas apstākļu tipam un atjaunošanas veidam.

Apaļo kokmateriālu sortimentu prognozēšanai izvēlēts *randomForests* algoritms (Breiman, 2001; Liaw & Wiener, 2022), kas paredzēts klasifikācijas veikšanai un regresijas analīzei. Modeļa apmācīšanai pēc nejaušības principa atlasīti 70% no datu kopas, savukārt atlikušie 30% izmantoti modeļa precizitātes pārbaudei, jeb validācijai. Lai novērtētu paredzamā modeļa veiktspēju un ierobežotu tādas problēmas kā pārmērīga vai nepietiekama pielāgošana, veikta 5-kārtēja savstarpējā validācija, kas ir plaši izplatīta dažādos mašīnmācīšanās uzdevumos.

Izmantojot *randomForests* modeli, novērtēti arī dažādi parametra *n*tree lielumi. Šis parametrs norāda uz lēmumu pieņemšanas „koku” skaitu, kas izmantoti mašīnmācīšanās modeļa lēmuma pieņemšanā. Jo vairāk šo „koku”, jo tipiski precīzāks mašīnmācīšanās modelis. Tomēr vairāk „koku” nozīmē arī vairāk aprēķinu. Modeļa apmācīšana ar augstāku *n*tree vērtību var aizņemt vairāk laika un resursu. Novērtējot dažādu *n*tree vērtību veiktspēju attiecībā uz mašīnmācīšanās modeļa sniegto prognozēšanas precizitāti, nolemts šo vērtību iestatīt uz 500.

Tālāk datu kopa sadalīta divās daļās, kur vienā datu kopā atlasītas kolonnas, kuras raksturo dažādu apaļo kokmateriālu sortimentu apjomu, jeb atbildes mainīgie un otrā datu kopā atlasītas kolonnas, kuras raksturo meža inventarizācijas parametrus, jeb prognozētājus. Pēc tam dažādu apaļo kokmateriālu sortimentu dati secīgi pa vienai kolonnai izmantoti mašīnmācīšanās modeļu apmācīšanai, izmantojot meža inventarizācijas datus no LVM nogabalu datubāzes. Katra atsevišķā apaļo kokmateriālu sortimenta modeļa precizitāte pārbaudīta veicot apaļo kokmateriālu sortimenta apjoma prognozēšanu, izmantojot validācijas datu kopu.

Apmācītu mašīnmācīšanās prognožu modeļu tālāka izmantošana iespējama izmantojot tikai LVM nogabalu datubāzē atrodamo informāciju (tab. 6.1), kur 1-8 rindās esošie ieraksti ir ņemami pa tiešo no mežaudžu nogabalu datubāzes, 9-19 rindās esošie ieraksti atvasināmi no mežaudzes sugu sastāva formulas, 20-42 rindas ir bināras un atvasināmas no augšanas apstākļu tipa datiem, savukārt 43-44 rindas ir bināras un atvasināmas no audzes atjaunošanas veida.

Tabula 6.1. Apmācīta mašīnmācīšanās modeļa darbināšanai nepieciešamās datu kopas struktūra

NPK	Parametrs	Datu formāts
1	PLAT	chr
2	KRAJAUZNOGABALU	chr
3	H10	int
4	D10	int
5	B10	int
6	K10	int
7	A10	int
8	PIRMATAVASKERSLAUKUMS	int
9	P	num

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

NPK	Parametrs	Datu formāts
10	E	num
11	B	num
12	A	num
13	M	num
14	Li	num
15	Oz	num
16	Ma	num
17	Ba	num
18	Os	num
19	La	num
20	MTAm	num
21	MTAp	num
22	MTAs	num
23	MTAv	num
24	MTDb	num
25	MTDm	num
26	MTDms	num
27	MTGr	num
28	MTGrs	num
29	MTGs	num
30	MTKm	num
31	MTKp	num
32	MTKs	num
33	MTKv	num
34	MTLk	num
35	MTLn	num
36	MTMr	num
37	MTMrs	num
38	MTNd	num
39	MTPv	num
40	MTSl	num
41	MTVr	num

NPK	Parametrs	Datu formāts
42	MTVrs	num
43	ATJAUNVEIDSDabīgi	num
44	ATJAUNVEIDSMākslīgi	num

6.1.2. Rezultāti

Pētījuma rezultāti liecina, ka apaļo kokmateriālu sortimentu prognozēšana, izmantojot mašīnmācīšanās modeļus, uzrāda atšķirīgu precizitāti dažādām apaļo kokmateriālu sortimentu grupām. 54 sortimentu veidiem, kas ir retāk sastopami, un to ierakstu skaits ir salīdzinoši neliels ($n < 200$), prognozēšana nav veikta. Šie apaļo kokmateriālu sortimenti iekļāva tādas koku sugas kā ozols, osis, liepa un lapegle un koku sugu grupas kā citi skuju koki un cietie lapu koki. Pārējām koku sugām un koku sugu grupām lielākā daļa no apaļo kokmateriālu sortimentiem pārsniedza vairāk nekā 200 ierakstus.

Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte apsei (tab. 6.2 un 6.3) ir zema, malkas apjomam ($R^2 = 0,045$) un tehnoloģiskajai koksnei līdz vidēja, taras klučiem un zāģbaļķiem ($R^2 = 0,551$). Apses papīrmalkai modelis nav izstrādāts, jo nebija pietiekami daudz datu modeļa apmācīšanas procesam. Dažādiem apses apaļo kokmateriālu sortimentiem ierakstu skaits bija robežās no 837 līdz 2157, un izstrādāto prognozēšanas modeļu precizitāte ir tieši atkarīga no ierakstu skaita.

Tabula 6.2. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte apsei

Apaļo kokmateriālu sortimenta veids	R^2	Ierakstu skaits
MA4X	0,045	837
MA5X	0,170	1004
PM6X	-	<200
TA12X24	0,528	2157
TK5X	0,326	1224
TK6X	0,334	1152
Z24X	0,551	1690

Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte bērzam (tab. 6.3) ir zema, finierklučiem ar tievgaļa diametru no 14 līdz 18 cm ($R^2 = 0,012$), malkai, tehnoloģiskajai koksnei un papīrmalkai, vidēja, kamīnmalkai, taras klučiem ar tievgaļa diametru no 12 līdz 24 un finierklučiem ar tievgaļa diametru virs 18 cm ($R^2 = 0,690$). Arī bērza apaļo kokmateriālu sortimentu prognozēšana precīzāka ir pie liela ierakstu skaita (>4000) un prioritāriem apaļo koksnes sortimentu veidiem.

Tabula 6.3. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte bērzam

Apaļo kokmateriālu sortimenta veids	R^2	Ierakstu skaits
FI14X18	0,012	1013

Apaļo kokmateriālu sortimenta veids	R ²	Ierakstu skaits
FI18X	0,690	4295
FIB18X	-	<200
KM10X	0,499	3563
MA4X	0,031	1795
MA5X	0,101	2155
PM6X	0,137	842
TA12X	-	<200
TA12X24	0,609	4132
TK5X	0,112	1977
TK6X	0,106	1907

Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte baltalksnim (tab. 6.4.) ir zema gan taras klučiem ($R^2 = 0,245$), gan kamīnmalkai ($R^2 = 0,312$). Pārējiem baltalkšņa apaļo kokmateriālu sortimentiem datu kopas ierakstu skaits bija pārāk mazs, lai pielietotu mašīnmācīšanās metodes, tomēr arī tiem apaļo kokmateriālu sortimentiem, kuri prognozēti, ierakstu skaits bija mazs.

Tabula 6.4. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte baltalksnim

Apaļo kokmateriālu sortimenta veids	R ²	Ierakstu skaits
KM8X	0,312	224
MA4X	-	<200
MA5X	-	<200
TA12X24	0,245	331
TK5X	-	<200
TK6X	-	<200

Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte eglei (tab. 6.5) ir zema, malkai, mietiem ($R^2 = 0,011$), tehnoloģiskajai koksnei un zāģbaļķiem ar tievgaļa diametru no 10 līdz 14 cm. Vidēja precizitāte konstatēta dažādas klases zāģbaļķiem ar tievgaļa diametru no 14 cm ($R^2 = 0,554$). Tā kā dažādiem egles apaļo kokmateriālu sortimentu veidiem ierakstu skaits datu kopā nesasniedza 200, tāpēc tiem prognožu modeļi nav veidoti. Egles apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma ierakstu skaits gandrīz visos izveidotajos prognožu modeļos pārsniedz 2000, tomēr arī pie salīdzinoši liela ierakstu skaita atsevišķi modeļi uzrāda vājus rezultātus. Labākie rezultāti sastopami pie liela diametra zāģbaļķiem.

Tabula 6.5. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte eglei

Apaļo kokmateriālu sortimenta veids	R ²	Ierakstu skaits
MA4X	0,028	2158

Apalo kokmateriālu sortimenta veids	R ²	Ierakstu skaits
MA5X	0,081	2332
MAXS8X	-	<200
MI6X10	0,011	430
MI6X12	-	<200
PM6X	-	<200
TA12X	-	<200
TA12X18	0,325	4660
TK5X	0,146	2533
TK6X	0,154	2385
ZB10X14	0,266	4788
ZB14X18	0,470	4916
ZB18X28	0,554	4886
ZB28X	0,460	4530
ZB50X	-	<200
ZC18X	0,495	4791

Apalo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte melnalksnim (tab. 6.6) ir zema malkai ($R^2 = 0,034$), zāģbaļķiem, tehnoloģiskajai koksnei un kamīnmalkai, bet vidēja taras klučiem ($R^2 = 0,584$). Melnalkšņa taras kluču ierakstu skaits ir vislielākais, kas norāda uz to, ka tas ir primārs apalo kokmateriālu sortiments šai koku sugai, tāpēc prognožu modeļa precizitāte šajā gadījumā ir visaugstākā.

Tabula 6.6. Apalo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte melnalksnim

Apalo kokmateriālu sortimenta veids	R ²	Ierakstu skaits
KM8X	0,357	1076
MA4X	0,034	657
MA5X	0,056	784
TA12X24	0,584	1712
TK5X	0,227	890
TK6X	0,198	655
Z24X	0,194	618

Apalo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte mīkstajiem lapu kokiem (tab. 6.7) ir zema visiem prognozētajiem apalo kokmateriālu sortimentu veidiem - malkai ($R^2 = 0,002$), taras klučiem un tehnoloģiskajai koksnei ($R^2 = 0,017$). Mīksto lapu koku apalo kokmateriālu sortimentu veido tad, ja konkrētās koku sugas nogabalā ir pārstāvētas maz un šo sugu

informācija mežaudzes formulā var neparādīties, tādējādi arī mašīnmācīšanās modelis nevar iemācīties principus, pēc kuriem šie apaļo kokmateriālu sortimenti parādās pie iegūtā apjoma.

Tabula 6.7. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte mīkstajiem lapu kokiem

Apaļo kokmateriālu sortimenta veids	R ²	Ierakstu skaits
MA4X	0,003	526
MA5X	0,002	728
TA12X24	0,004	1097
TK5X	0,002	674
TK6X	0,017	515

Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte priedei (tab. 6.8) ir zema malkai, stabiem ($R^2 = 0,053$), tehnoloģiskajai koksnei, bet vidēja un augsta taras klučiem un dažādu veidu zāģbaļķiem ($R^2 = 0,808$). Zāģbaļķu, mietu, papīrmalkas un atsevišķu citu apaļo kokmateriālu sortimentu modeļi netika izstrādāti datu apjoma nepietiekamības dēļ. Arī šajā apaļo kokmateriālu sortimentu grupā novērojams, ka prioritārajiem lielu dimensiju zāģbaļķiem izstrādātā mašīnmācīšanās prognožu modeļa veiktspēja ir lielāka, salīdzinot ar citām apaļo kokmateriālu sortimentu grupām.

Tabula 6.8. Apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma prognozēšanas modeļu precizitāte priedei

Apaļo kokmateriālu veids	R ²	Ierakstu skaits
BB32X	-	<200
BB32X7X	-	<200
MA4X	0,080	1195
MA5X	0,077	1382
MAXS8X	-	<200
MI6X10	-	<200
PM6X	-	<200
ST14X18	-	<200
ST18X22	0,053	259
TA12X18	0,664	3547
TK5X	0,388	1968
TK6X	0,180	1784
ZA28X	0,666	2895
ZB10X14	0,436	3122
ZB14X18	0,701	3693
ZB18X28	0,808	3754

Apaļo kokmateriālu veids	R ²	Ierakstu skaits
ZB28X	0,633	3501
ZC18X	0,615	3637

6.1.3. Secinājumi

Pētījumā izmantots *randomForests* mašīnmācīšanās algoritms un LVM apaļo kokmateriālu sortimentu dati un mežaudžu nogabalu datubāze. Izveidoto mašīnmācīšanās modeļu prognozēšanas precizitāte pa dažādām sugu un apaļo kokmateriālu sortimentu grupām būtiski atšķiras.

Kamēr tādiem apaļo kokmateriālu sortimentiem kā malka, tehnoloģiskā koksne, stabi un kamīnmalka mašīnmācīšanās modeļu precizitāte ir zema (R² pārsvarā zem 0,2), tikmēr taras klučiem, finierklučiem un dažādu šķiru zāģbaļķiem tā pārsvarā ir pieņemama vai augsta (R² vērtība līdz pat 0,808).

Atšķirības prognožu modeļu veikspējā skaidrojamas ar pieejamo apaļo kokmateriālu veidu apjoma ierakstu skaitu katrai no koku sugu un apaļo kokmateriālu sortimentu grupām. Jo lielāks konkrētā apaļo kokmateriālu sortimenta ierakstu skaits, jo mašīnmācīšanās modelim lielāka iespēja iemācīties likumsakarības apaļo kokmateriālu sortimentu apjoma noteikšanā. Būtiskas atšķirības var radīt arī saimnieciskais lēmums sagatavot kādu sortimentu veidu, ko nevar izskaidrot ar cirsmas taksācijas datiem.

Arī prioritātes apaļo kokmateriālu sortimentu sagatavošanas procesā ietekmē mašīnmācīšanās modeļa prognozēšanas precizitāti. Prioritāro grupu apaļo kokmateriālu sortimenti, tostarp dažādu šķiru zāģbaļķi, finierkluči un taras kluči, ir prognozēti ar salīdzinoši daudz augstāku precizitāti (R² līdz pat 0,808), salīdzinājumā ar pārējo apaļo kokmateriālu sortimentu apjomu.

6.2. Mežizstrādes metožu ietekmes uz SEG emisijām ietekmes novērtēšana modelēšana

6.2.1. SEG emisijas no risēm izcirtumos ar organiskajām augsnēm

2023. gadā četros objektos platībās ar kūdras augsnēm (tab. 6.9) uzsākti gāzu apmaiņas mērījumi, raksturojot risu ietekmi uz SEG emisijām kūdras augsnēs. Mežizstrāde šajos objektos veikta 2022. gada ziemā. Katrā objektā ierīkoti divi gāzu apmaiņas mērīšanas parauglaukumi, tajā skaitā viens risē un otrs platībā, kur tehnika nav pārvietojusies. Katrā parauglaukumā ir divi gredzeni gāzu paraugu ievākšanai (att. 6.4) un trīs punkti augsnes heterotrofās elpošanas mērīšanai. Katrā parauglaukumu pāri uzstādīta viena aka gruntsūdens līmeņa mērīšanai. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskats papildināts ar gāzu apmaiņas sākotnējiem rezultātiem un to analīzi.

Tabula 6.9. Izpētes objekti

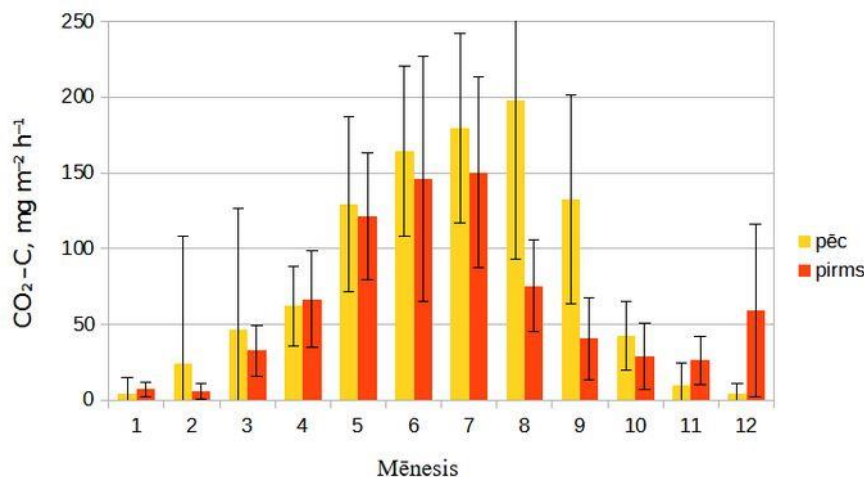
Nr.	Objekta identifikators	Nogabals
1.	LVMCA_R1	MPS Mežoles meža novada 218. kv. 4. nog.
2.	LVMCA_R2	MPS Mežoles meža novada 108. kv. 4. nog.
3.	LVMCA_R3	MPS Mežoles meža novada 218. kv. 4. nog.
4.	LVMCA_R4	MPS Mežoles meža novada 193. kv. 27. nog.

Augsnes kopējās elpošanas emisijas pirms un pēc atjaunošanas cirtes bija vidēji 59±6 un 101±15 CO₂-C mg m⁻² h⁻¹; attiecīgi, CO₂ emisijas pēc mežizstrādes platībā ar kūdras augsni pieauga

aptuveni 1,7 reizes (tab. 6.10). Pieaugums skaidrojams ne tikai ar augsnes bojājumu veicinātu augsnes organisko vielu mineralizāciju, bet arī ar mežizstrādes atlieku sadalīšanās ietekmi. Jāņem vērā, ka emisiju mērījums ietver arī autotrofo elpošanu. Pēc atjaunošanas cirtes zemsedzes veģetācijas biomasa pieaug un tas atspoguļojas arī veiktajos augsnes kopējās elpošanas mērījumos (att. 6.1). Novērojumu apstiprināšanai vai padziļinātākai izvērtēšanai tie jāvērtē kompleksi ar augsnes heterotrofās elpošanas mērījumiem.

Tabula 6.10. Augsnes-atmosfēras SEG apmaiņas un vides parametru mērījumu rezultāti

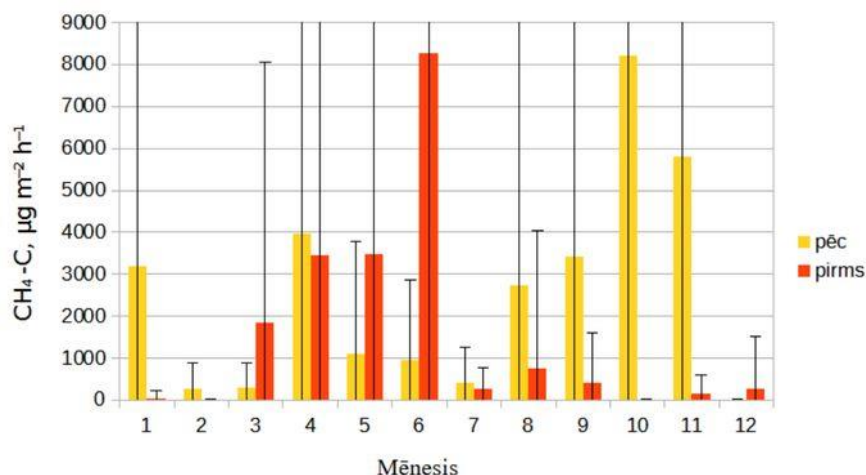
Parametrs	Kontrole pirms	Kontrole pēc	Rise
CO ₂ -C, mg m ⁻² h ⁻¹	59±6	101±15	79±12
CH ₄ -C, μg m ⁻² h ⁻¹	1342±1050	212±113	5310±2456
N ₂ O-N, μg m ⁻² h ⁻¹	3±1	29±12	11±10



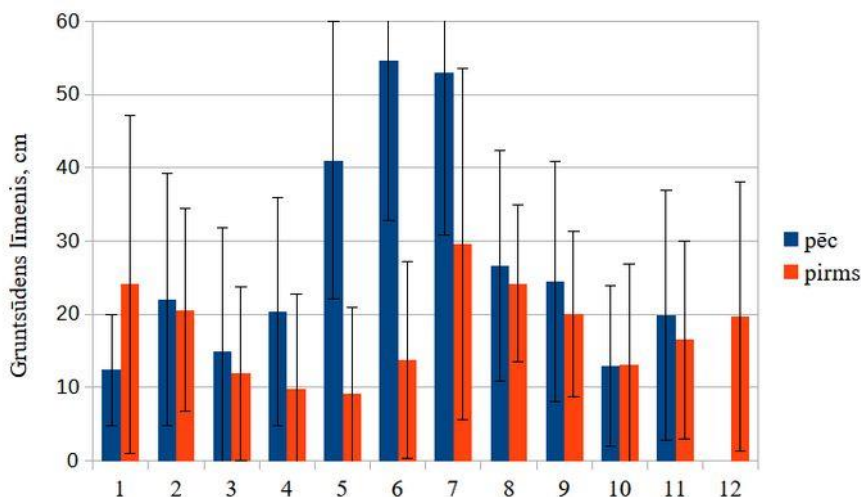
Attēls 6.1. Augsnes-atmosfēras CO₂ apmaiņas mērījumu vidējās vērtības atkarībā no mērījuma mēneša

Metāna emisiju vidējie mērījumi uzrāda netipisku situāciju. Sagaidāms, ka pēc atjaunošanas cirtes transpirācijas ietekmē gruntsūdens līmenis paaugstinās, arī metāna emisijas palielinās. Pētījuma periodā novērots, ka kontroles mērījumos metāna emisijas bija lielākas pirms atjaunošanas cirtes. (att. 6.2) Tajā pašā laikā arī šāds šķietami neloģisks novērojums skaidrojams ar joprojām plašā zinātniskā sabiedrībā nenoskaidrojamiem metānu ietekmējošiem faktoriem. Uz to norāda arī mērījumu vidējās vērtības standartnovirzes indikatori. Jāņem vērā arī tas, ka 2023. gada vasarā nokrišņu apjoms bija būtiski mazāks nekā iepriekšējā gadā; attiecīgi, nenotika prognozētais gruntsūdens līmeņa pieaugums vasaras mēnešos, kad pārmitrās augsnēs ir CH₄ emisiju maksimums. Gruntsūdens līmenis ir labs CH₄ emisiju prognozētājs, robežvērtība, pie kuras veidojas CH₄ emisijas vai piesaiste ir vidējo gruntsūdens līmenis 20-30 cm dziļumā – augstāks gruntsūdens līmenis saistīts ar CH₄ emisiju pieaugumu.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 6.2. Augsnes-atmosfēras CH₄ emisiju mērījumu vidējās vērtības atkarībā no mērījuma mēneša



Attēls 6.3. Gruntsūdens līmeņa ikmēneša izmaiņas

Zīmīgi, ka gruntsūdens līmeņu svārstības izmēģinājumu platībās nekorelē ar novērotajām CH₄ emisijām. Novērotais ļauj izvirzīt tēzes, ka emisiju izmaiņas var potenciāli būt skaidrojamas ne tikai ar galveno emisijas ietekmējošo faktoru, bet arī ar zemsedzes veģetācijas dažādību un izplatību, mikroorganismu adaptāciju vides apstākļiem.

Augsnes N₂O emisijas pēc atjaunošanas cirtes būtiski pieauga. Līdzšinējie pētījumi, kuri veikti platībās bez meža apsaimniekošanas intervences, novērots, ka N₂O emisijas ir stabilas, neatkarīgi no gruntsūdens līmeņa un temperatūras. Lai skaidrotu N₂O emisiju pieauguma likumsakarības, iespējams, jāpievērš padziļināta uzmanība augsnes ūdens kvalitātes izmaiņām, tajā skaitā jāvērtē gruntsūdens un nokrišņu ūdens īpatsvars barības vielu nodrošinājumā.

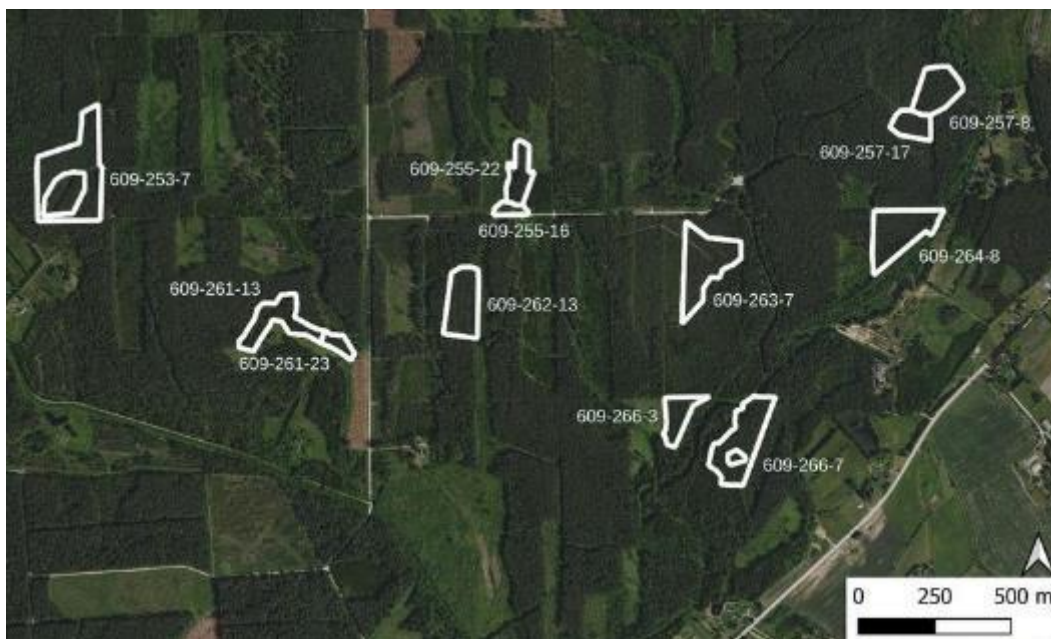
Gāzu apmaiņas mērījumu objekta piemērs, kurā redzami pievešanas ceļā uzstādīti gāzu apmaiņas uzstādīšanas gredzeni, parādīts att. 6.4.



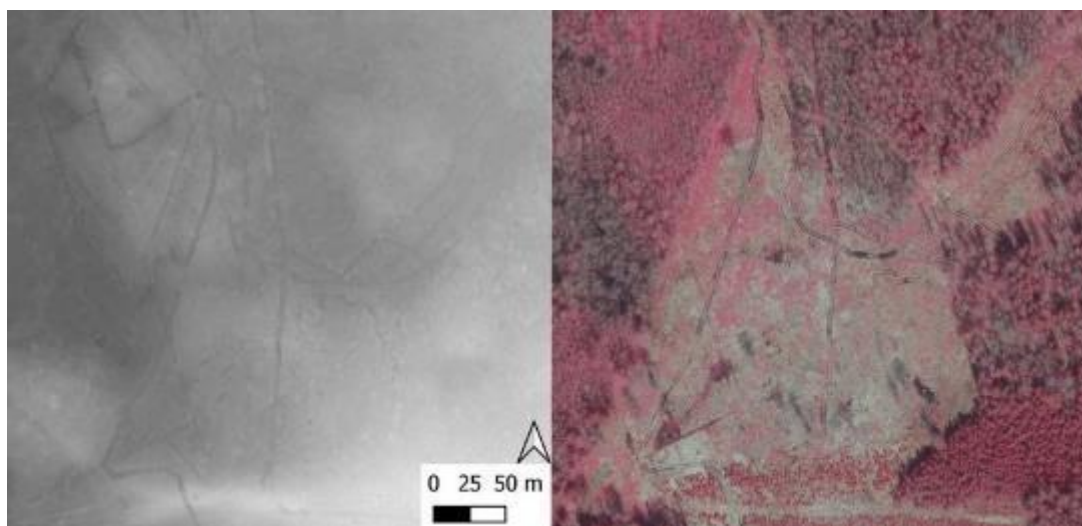
Attēls 6.4. Gredzeni gāzu paraugu ievākšanai risē

6.2.2. Metode risu attālinātai raksturošanai

Viens no pētījuma mērķiem 2023. gadā ir izstrādāt metodi risu izplatības raksturošanai, izmantojot no bezpilota gaisa kuģa iegūtus lāzerskenēšanas datus un lauka mērījumus. Mežizstrādes tehnikas atstātās rīses uzmērīsīm uz lauka, kā arī iegūti lāzerskenēšanas dati 10 meža nogabalos, kuros risu izplatība vērtēta arī pētījumu programmas “Tehnoloģijas meža apsaimniekošanas procesu efektivitātes paaugstināšanai” ietvaros (att. 6.5. un 6.6.). Lauka mērījumi iegūti objektos, kur risu dziļums atsevišķās vietās ir vismaz 20 cm. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, papildus ir iegūti lāzerskenēšanas dati 12 objektos, veikta risu izplatības modelēšana, aprakstīti iegūtie rezultāti un izdarīti sākotnējie secinājumi par metodes pielietošanu praksē.



Attēls 6.5. Pētījumam izvēlētie meža nogabali



Attēls 6.6. Kreisajā pusē – mežizstrādes tehnikas rīses redzamas DEM ar 0,5 m izšķirtspēju, labajā pusē – šī pati teritorija un rīses redzamas infrasarkanajā ortofoto kartē

Lāzerskenēšana veikta izmantojot Zenmuse L1 lāzerskeneri, kurš izvietots uz DJI Matrice 300 bezpilota lidaparāta, iegūstot LiDAR punktu mākonī ar punktu blīvumu vismaz 160 p m⁻². Lāzerskenēšanas datu pirmapstrāde un digitālā reljefa modeļa izveide veikta izmantojot *Global Mapper* un *CloudCompare* programmatūru, iegūstot DEM ar horizontālo izšķirtspēju 10 cm.

Automātiska rīsu identificēšana veikta, šim mērķim pielāgojot metodi, kura iepriekš izmantota meliorācijas grāvju automātiskai dešifrēšanai (Melniks u.c., 2022). Izmantojot šo metodiku, apstrādājot DEM ar horizontālo izšķirtspēju 0,5 un 1 m, lauksaimniecības zemēs iegūts grāvju tīkla kopējais garums ar precizitāti līdz 96%, salīdzinot ar references datiem, bet meža zemēs – 90 līdz 95%, atkarībā no grāvju veida. Minimālais identificējamo grāvju dziļums mežā un lauksaimniecības zemēs ir 0,3 m, kas atbilst sezonālo grāvju dziļumam. Atsevišķos gadījumos var noteikt arī seklāku, līdz 0,2 m dziļu grāvju atrašanās vietas. Šāda, uz ļoti augstas izšķirtspējas digitālā reljefa modeļa analīzi vai LiDAR datiem balstīta pieeja rīsu kartēšanā ir unikāla un aktuālākajos

pētījumos nav aprakstīta. Iepriekšējos pētījuma posmos izstrādātā metodika ir aprobēta, izmantojot zemākas izšķirtspējas reljefa modeļus un veicot meliorācijas grāvju kartēšanu. Šie rezultāti ļauj izdarīt pieņēmumu, ka izmantojot lāzerskenēšanas datus ar lielāku punktu blīvumu (160 p m⁻²) salīdzinot ar iepriekš izmantoto (12 p m⁻²), ir iespējams identificēt arī telpiski mazāka izmēra elementus reljefa modelī, kas atbilst risu izmēram.

Izstrādātais algoritms (7. formula) balstās uz loģiskiem vaicājumiem un ir pielāgojams jebkurai GIS programmai ar rastra kalkulatoru. Metodes pamatā ir risu morfoloģisko īpašību identificēšana digitālā reljefa modelī, meklējot lokālus noteikta dziļuma pazeminājumus joslā ar iepriekš definētu platumu un virzienu.

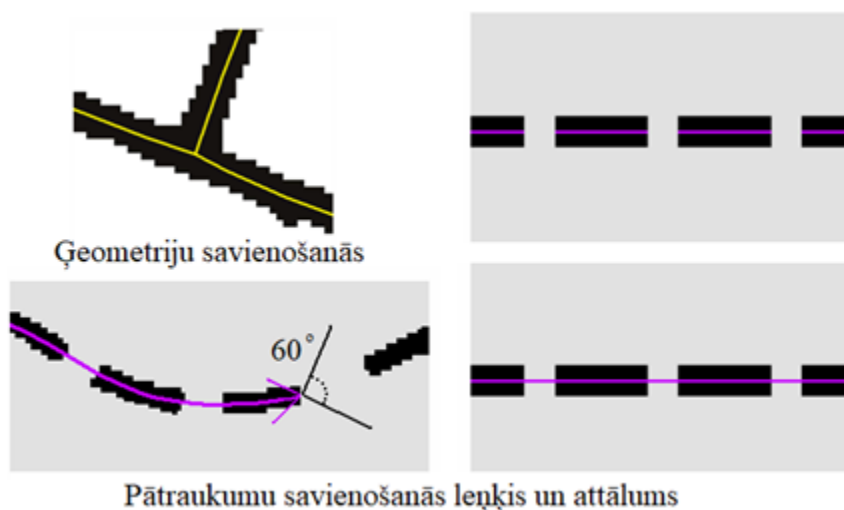
$$\text{if}((DEM + X < DEM [-Y,0] \ \&\& \ +X < DEM [Y,0]) \ || \ (DEM + X < DEM [0,Y] \ \&\& \ DEM + X < DEM [0,-Y]) \ || \ (DEM + X < DEM [Y,Y] \ \&\& \ DEM + X < DEM [-Y,-Y]) \ || \ (DEM + X < DEM [-Y,Y] \ \&\& \ DEM + X < DEM [Y,-Y]), 1, 0) \quad (7)$$

Formulā *DEM* ir vienāds ar digitālā augstuma modeļa rastra attēlu, *X* – identificējamā grāvja minimālo dziļumu metros, *Y* – risē maksimālo platumu rastra šūnās.

Algoritms darbojas, identificējot rastra šūnas, kurām noteiktā attālumā uz abām pusēm atrodas šūnas, kuras ir ar lielāku vērtību nekā iestatītā minimālā risē dziļuma vērtība.

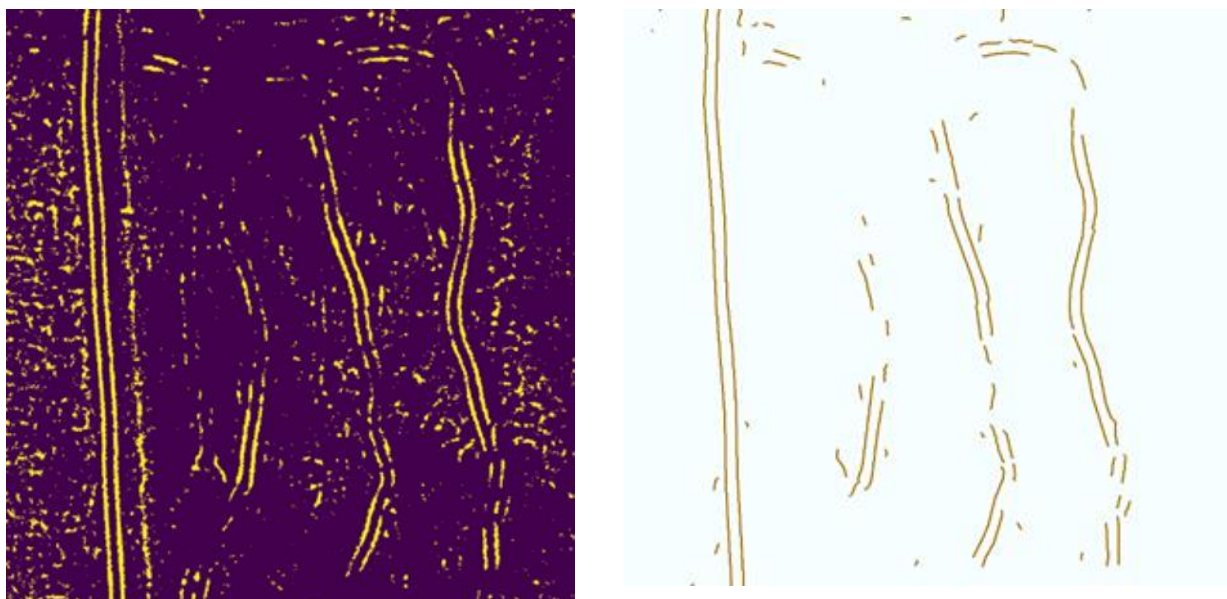
Šajā pētījumā izmantojam minimālo identificējamās risē dziļumu 20 cm un maksimālo platumu – 2 m.

Pēc digitālā reljefa modeļa apstrādes, izmantojot lokālo pazeminājumu identificēšanas algoritmu, iegūst bināru rastra attēlu, kurā vērtība 1 apzīmē iespējamo risē atrašanās vietu, bet 0 – pārējo teritoriju. Tālākā datu apstrāde veikta *ArcMap* vidē, kur rastra attēls vektorizēts, izmantojot paplašinājumu *ArcScan* un tā automātiskās vektorizēšanas rīku (att. 6.7).



Attēls 6.7. Risu vektorizēšanas principu shematisks attēlojums

Šī procesa laikā veikta filtrēšana, atbrīvojoties no 70% objektu (pēc to skaita), kuri uzskatāmi par troksni, kas radies, ar 7. formulas palīdzību identificējot lokālus pazeminājumus reljefā. Pēc šī procesa veikta nākamā filtrēšana, izmantojot 5 m platas buferjoslas ap risēm, tādā veidā identificējot risu elementus, kuri atrodas ne tālāk kā 10 m viens no otra, un tiem ir iespējama savienojamība šajā attālumā. Izveidotās buferjoslas, kuras pārklājas, apvienotas vienā (*Dissolve*), tādā veidā iegūstot kopēju platību, kurā iespējama risu savienošanās. Apvienotajām risu buferjoslām pievienoti risu vektoru atribūti (*Spatial join*), kas norāda uz kopējo risu garumu un skaitu buferjoslā. Izmantojot šo informāciju, veikta nākamā filtrēšana, atbrīvojoties no risēm, kuras ir īsākas par 3 m (att. 6.8).



Attēls 6.8. Kreisajā pusē – binārs risu izplatības rastra attēls; labajā pusē – risu izplatības līnijveida objekti pēc filtrēšanas

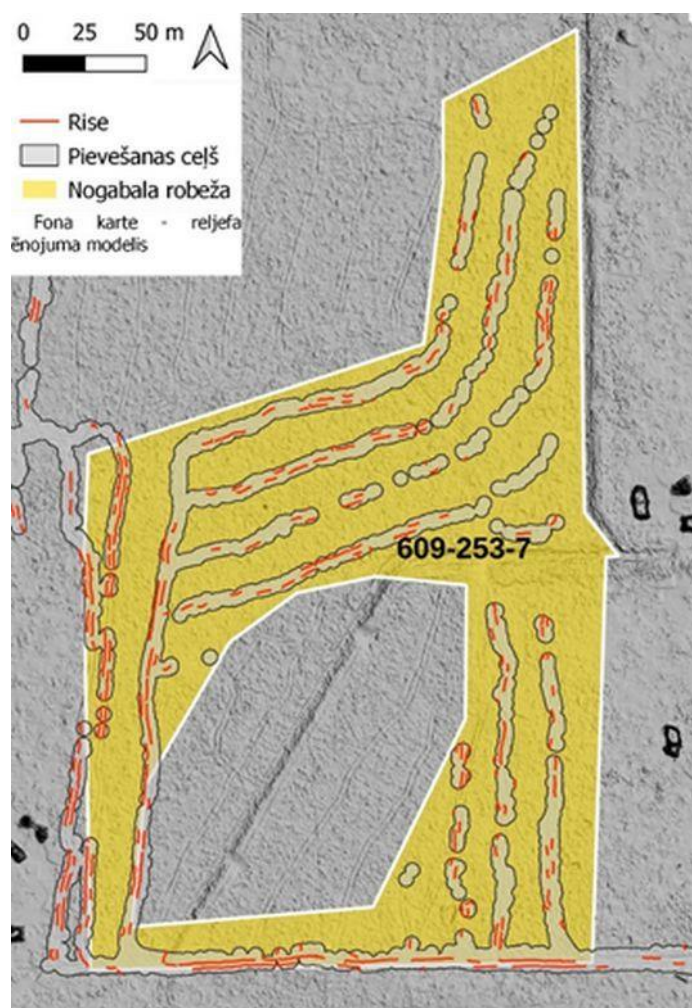
Izmantojot GPS datus no mežizstrādes tehnikas, iegūta telpiskā informācija par tās pārvietošanās ceļiem, kuriem izveidota 5 m buferjosla un ietvaros veikta risu izgriešana, tādā veidā iegūstot informāciju par risu izplatību tikai interesējošajā teritorijā, kurā veikta mežizstrāde un pārvietojusies tehnika. Iegūtie dati analizēti, salīdzinot kopējo iegūto risu garumu cīrsmā ar kopējo uz lauka uzņēmto garumu.

Līdz šim risu automātiska identificēšana, izmantojot LiDAR datus, veikta 12 meža nogabalos. Iegūtie dati norāda, ka, izmantojot aerolāzerskenēšanas datus un pētījumā izstrādāto metodiku, identificēts būtiski lielāks risu kopējais garums, nekā veicot lauka mērījumus (tab. 6.11 un att. 6.9). Jāņem vērā, ka, izmantojot šādu pieeju risu noteikšanā, iegūtie rezultāti atšķiras arī tādēļ, ka ir identificēts un rezultātā ieskaitīts kopējais risu garums arī no divām paralēlām risēm, kā norādīts piemērā att. 6.8. No analizētajām platībām lielākais risu kopējais garums uz hektāra ir meža nogabalā 610-261-14, kur risu garums ir 459 m ha^{-1} (kopā 625 m). Lauka mērījumos šajā nogabalā konstatētas 227 m risu, bet, kā iepriekš minēts, LiDAR mērījumos 1 m garš posms ar divām paralēlām risēm rezultātā dod 2 m risu kopējo garumu. Šāds rezultāts ir piemērots ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai, jo nodrošina konservatīvu pieeju, t.i., mākslīgi nesamazina potenciālo ietekmi uz SEG emisijām.

Tabula 6.11. Risu kopējais garums apsekotajos meža nogabalos

Nogabala Nr.	Lauka mērījums, m	LiDAR mērījums, m	Cīrsmas platība, ha	Rises, m ha^{-1}
609-263-7	339	1005	3,1	326
609-266-3	109	276	1,3	207
609-266-7	214	506	3,0	167
609-262-13	173	482	2,2	217
609-261-13	21	36	2,4	15

Nogabala Nr.	Lauka mērījums, m	LiDAR mērījums, m	Cirsmas platība, ha	Rises, m ha ⁻¹
609-257-8	117	243	2,2	109
609-255-7	175	540	2,6	207
609-255-22	133	336	1,2	275
609-253-7	407	1358	4,2	323
609-264-8	96	437	2,8	158
610-261-14	227	625	1,4	459
610-275-11	488	1269	4,1	311



Attēls 6.9. Risu izplatības piemērs meža nogabalā 609-253-7

Pētījumā iegūtie rezultāti liecina, ka risu automātiska identificēšana, izmantojot lāzerskenēšanas datus, ir iespējama. Izstrādāto metodi jau šobrīd var izmantot mežizstrādes ietekmes uz SEG emisijām darbību datu sagatavošanai un ietekmes mazināšanas darbību efekta (risu garuma samazināšanās) raksturošanai. Lai uzlabotu izstrādātās metodes precizitāti, nepieciešama plašāka lauka mērījumu datu kopa, kā arī telpisks lauka mērījumu attēlojums, lai precīzāk noteiktu teritorijas,

kurās modelis identificē risu, bet uz lauka tās nav, vai otrādi, kas ļautu kalibrēt modeli, tādā veidā nepārvērtējot risu kopējo garumu cīsmā.

Būtisks faktors risu identificēšanai ir mežizstrādes tehnikas pārvietošanās ceļu GPS datu pieejamība, kas ļauj modelim ņemt vērā tikai tās rīses, kuras radušās pēdējās mežizstrādes laikā, filtrējot citus reljefa veidojumus, piemēram, sezonālos grāvjus. Ņemot vērā risu potenciāli būtisko ietekmi uz SEG emisijām, kas konstatēta šajā pētījumā, ir jārēķinās ar detalizētākas informācijas par risu veidošanos kopšanas un galvenajā cirtē iegūšanas nepieciešamību ražošanas apstākļos.

6.3. Metodes izstrādāšana koksnes produktu un padziļinātas koksnes pārstrādes ietekmes uz SEG emisijām analīzei

Pētījuma ietvaros veikta analīze par Latvijā un citās valstīs izmantoto pieeju koksnes produktu (HWP) uzskaitē. Pētījumā konstatēts, ka Latvija jau šobrīd izmanto valstij izdevīgāko ražošanas uzskaites metodi (obligāto pieeju Kioto protokola 3.3 un 3.4 pantos minēto darbību uzskaitē un saskaņā ar IPCC 2019 vadlīnijām). Neuzskaitītās piesaistes koksnes produktos Latvijā nevar novērtēt ar pietiekošu precizitāti, jo nav zināma vēsturiskā apaļo kokmateriālu sadalījuma dinamika (ir pieaudzis plātņu koksne izmantojamo materiālu daudzums un samazinājies celulozes ražošanā izmantojamā koksne, bet kopumā pasaulē 2015. gadā neuzskaitītā koksnes produktu piesaiste atbilda 71 milj. tonnām CO₂ gadā (21% no uzskaitītās piesaistes koksnes produktos). Lielākajai daļai pasaules valstu HWP loma nepārsniedz 1% no kopējām emisijām, bet Latvijā koksnes produkti nodrošina piesaisti, kas atbilst 20% no kopējām emisijām; attiecīgi, šis sektors ir būtisks Latvijas SEG bilancē (Johnston & Radeloff, 2019).

Pētījumā secināts, ka Latvijai nav jāmaina HWP uzskaites metode, jo jau šobrīd Latvijā izmanto valstij labvēlīgāko uzskaites pieeju, taču jāuzlabo uzskaites precizitāte, it īpaši prognozēs, lai objektīvāk novērtētu meža resursu izmaiņu ietekmi uz koksnes produktu ražošanu un ar tām saistīto piesaisti un emisijas. Būtisku ietekmi uz CO₂ piesaisti var radīt reciklētā papīra apjoma pieaugums, neatkarīgi no tā, vai šo papīru tālāk pārstrādā Latvijā vai ārzemēs. Literatūrā nav atrastas atsauces uz to, kādā veidā valstis uzskaita importēto celulozi vai koksnes ķīmiskās pārstrādes izejvielas, piemēram, liocela ražošanas izejvielas, taču, ņemot vērā, ka šo materiālu ražošana ir saistīta ar celulozes ražošanu, visticamāk, ka arī šīs izejvielas uzskaita ražotājvalstī. Arī IPCC metodikā nav atsauces par to, kurā valstī (ražotājvalstī vai importētājvalstī) uzskaitāmi koksnes ķīmiskās pārstrādes starpprodukti; attiecīgi, pastāv dubultuzskaites risks. Nav pieejama arī pussadalīšanās perioda aprēķinu metodika, tāpēc var pieņemt, ka tas atbilst celulozes pussadalīšanās periodam.

Kokmateriālu iznākuma sadalījums vērtēts, balstoties uz uzņēmumu aptaujas rezultātiem, kas veikta pētījuma "Vadlīniju izstrādei par koksnes produktu uzskaiti Eiropas Savienības regulējuma zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektorā (ZIZIMM) un emisiju aprēķinam" ietvaros 2023. gadā. [2024. gadā sagatavosim priekšlikumu šīs pieejas izmantošanai SEG emisiju prognožu sagatavošanai, lai nodrošinātu sasaisti starp zāģējamo koku sugu un dimensijām, sagatavojamajiem koksnes produktiem un saražotajiem koksnes produktiem. SEG inventarizācijas sistēmā arī turpmāk plānots izmantot statistikas ziņojumos publicētos datus.](#)

Vērtējums veikts šādiem kokmateriālu veidiem – 10-13,9; 12-17,9; 14-17,9; 18-23,9; 18-27,9; 24<; 28< (egle un priede atsevišķi); 6-9,9; A 28<; FIA 18<; FIB 18<; Malka; PM 7-49,9; stabi 18<; zemas kvalitātes zāģbalki 18<. Mīti pieskaitīti skuju koku zāģmateriāliem. Koksnes produktu kategorijas, kas izdalītas vērtējumā, ir saplāksnis (6.2), skuju koku zāģmateriāli (5.C), lapu koku zāģmateriāli (5.NC) un celuloze (papīra un kartona izstrādājumi). Pārējie produkti, kas ietverti aprēķinā, ir saražotais kokmateriālu apjoms ar un bez mizas, mizas no saražotā apjoma, celulozes šķeldas, tehnoloģiskās (nomaļu) šķeldas, malka, kurināmās šķeldas, skaidas (granulu izejvielas). Aprēķinu gaita parādīta 5. pielikumā. [Aprēķins](#) ietver pirmējo un sekundāro produktu ražošanu un

patēriņu Latvijā un ārpus tās kokmateriālu veidu griezumā. Aprēķins paredzēts iekļaušanai SEG prognožu ziņojumos koksnes produktu iznākuma modelēšanai.

Pētījumā konstatēts, ka ikgadējie koksnes produktu, it īpaši sekundāro produktu iznākuma rādītāji var atšķirties gadu griezumā, atkarībā no dažādu izejvielu pieprasījuma tirgū. Sevišķi krāsas izmaiņas vērojamas 2022. gadā, kad meža biokurināmā cena pieauga straujāk nekā citu koksnes izejvielu cenas un palielinājās kurināmo šķeldu un granulu izejvielu ražošanas īpatsvars, tāpēc SEG prognožu aprēķinos prognozēs ir jāņem vērā potenciālais kurināmās koksnes pieprasījums kā ierobežojošais kritērijs sekundāro izejvielu pieejamībai citiem sektoriem.

6.4. Biokurināmā ietekmes uz SEG emisijām un aizstāšanas efekta modelēšanas metožu pilnveidošana

Pētījuma trešajā etapā esam papildinājuši meža biokurināmā aizstāšanas efekta novērtēšanas metodiku un apkopojusi aprēķiniem nepieciešamos darbību datus. Novērtējumā esam ietvēruši potenciālo meža biokurināmā resursu novērtējumu, faktiski saražotā biokurināmā apjoma analīzi un korekcijas atbilstoši patēriņa un ražošanas datiem, piemēram, samazināts malkas patēriņa novērtējums, jo šis resursu veids nav pieejams tik lielā apjomā, kādu to uzrāda patēriņa statistika, kā arī sagatavojām pieņēmumus SEG emisiju raksturošanai fosilā kurināmā un meža biokurināmā ražošanas un piegāžu procesā. Aizstāšanas efekta raksturošanai izmantotām konservatīvu pieeju, pieņemot, ka meža biokurināmais aizstāj dabasgāzi, tajā skaitā eksportējot meža biokurināmo. Aprēķinos izmantotām metodiku, kas aprobēta 2021. gadā, vērtējot dažādu meža biokurināmā veidu aizstāšanas efektu (Līcīte u.c., 2021). Metode meža biokurināmā aizstāšanas efekta novērtēšanai ir iekļauta klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu aprēķinu metodikā, kas pievienota 1. pielikumā meža biomasai un 2. pielikumā – īsircimta atvasājiem.

Meža biokurināmā resursi pētījumā vērtēti kā potenciālie un tehniski pieejamie un faktiski saražotie resursi. Meža biokurināmā resursu novērtējumā ietverta malka, jaunaudzū kopšanas cirtēs iegūtā sīkkoku biomasas, mizas, kokapstrādes atliekas, mežizstrādes atliekas, celmi, atmežošanas un apauguma novākšanas cirtēs iegūtā koksne, kā arī reciklētā koksne, pieņemot, ka koksnes produktus, izņemot papīru un kartonu, pēc to kalpošanas laika noslēguma izmanto kā kurināmo. Vērtējumā ietverts arī importētais kurināmais un apaļie kokmateriāli, kuru apstrāde notiek Latvijā. Šie koksnes biokurināmā avoti izmantoti Pētījumā iespēju robežās nodalīta dažādu meža biokurināmā avotu ieguldījums SEG emisiju samazināšanā, nodalot ietekmi, kas veidojas Latvijā un ārzemēs.

Potenciālie resursi ietver visu nozāģēto koku biomasu, izņemot koksnes produktus, kas ienāk koksnes biokurināmā uzskaitē pēc kalpošanas laika beigām. **Tehniski** pieejamie resursi ir praktiski, ar šodienas tehnoloģijām, neradot būtisku negatīvu kaitējumu meža ekosistēmai, iegūstamais koksnes biokurināmā apjoms, neskaitot zudumus ražošanas un piegāžu procesā. Tehniski pieejamā apjoma novērtēšanai izmantoti Latvijā un ārzemēs veiktu pētījumu rezultāti un ekspertu pieņēmumi. Saražotā koksnes biokurināmā analīzē izmantoti statistikas pārskati, tajā skaitā Meža resursu monitoringa dati, un ekspertu pieņēmumi, tajā skaitā par mežizstrādes atlieku izmantošanu biokurināmā ieguvei un koksnes produktu reciklēšanas rezultātā radītais biokurināmais. Attiecībā uz koksnes produktiem ir izdarīts izņēmums un koksnes biokurināmā ietver visus koksnes produktus, kas saražoti no 1900. gada, atbilstoši SEG inventarizācijas ziņojumā izmantotajai metodikai.

Kokskaidu granulu ražošanas procesā radītās SEG emisijas vērtētas atsevišķi, izmantojot Centrāleiropas Interreg programmas projekta BalBic ietvaros izstrādātos SEG emisiju aprēķinu modeļus (Gruduls u.c., 2013). Koksnes biokurināmā izejvielu ražošanas un piegāžu radīto emisiju novērtēšanai izmantoti 2022. gadā Latvijā veikta pētījuma rezultāti (Lazdins u.c., 2023).

7. MELIORĀCIJAS SISTĒMU APSAIMNIEKOŠANAS PLĀNOŠANAS SISTĒMA

7.1. Empīrisko datu ieguve un metodikas izstrādāšana meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām no augsnes un CO₂ piesaisti modelēšanai minerālaugsnēs un organiskās augsnēs

7.1.1. Dziļvagu ierīkošanas ietekme uz SEG emisijām mežos ar pārmitrām organiskām augsnēm

Divos meža nogabalos, kur iepriekš veikta gāzu apmaiņas mērīšana LIFE OrgBalt projekta ietvaros, veikta mežizstrāde un atsākti gāzu apmaiņas mērījumi, lai novērtētu SEG emisiju izmaiņas pēc dziļvagu ierīkošanas. Pētījumā izmantots LIFE OrgBalt aprobētais izpētes objektu dizains, izvietojot mērījumu objektus dažādos attālumos no dziļvagas. Izpētes objektos veicam augsnes heterotrofās elpošanas, kā arī kopējās elpošanas un augsnes N₂O un CH₄ emisiju mērījumus. Vienlaicīgi ar gāzu apmaiņas mērījumiem, nosakām vides parametrus (augšnes un gaisa temperatūra un gruntsūdens līmenis), kas ietekmē SEG emisijas no augsnes. Izpētes objektu raksturojums dots tab. 7.1. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā iekļauti 2023. gada mērījumu rezultāti. Pētījumā salīdzinātas SEG emisijas pirms un pēc mežizstrādes platībās, kur ierīkotas dziļvagas, kā arī kontroles platībās. Kontroles platība ir pieaugusi priedes audze niedrājā Smiltenes apkārtnē, kurā gāzu apmaiņas mērījumi uzsākti 31.05.2022 un mežizstrāde veikta 08.02.2023.

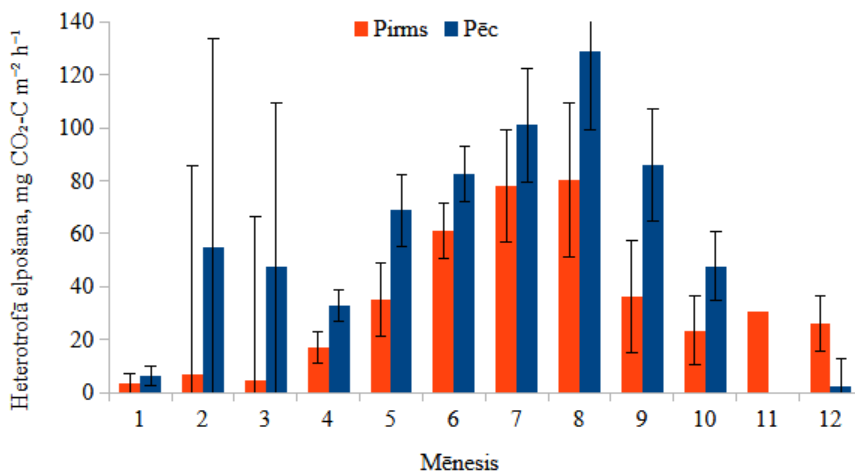
Tabula 7.1. Izpētes objekti SEG emisiju monitoringam pēc dziļvagu ierīkošanas

Objekts	Koordinātes	Mērījumi uzsākti	Piezīmes
031-108-4 (LVC312)	57.311643, 25.936089	2021. gada janvārī	Atjaunošanas cirte 24.05.2022, augsnes sagatavošana 2022. gada augustā; 2023. gada aprīlī stādīta uz pacilām egle, bet mitrākajā daļā melnalksnis. Objektā vērtējam arī risu ietekmi uz SEG emisijām (LVMCA_R2 & LVMCA_R3, abi platībās, kur stādīta egle). Platībā izveidotas divas dziļvagas, kas iet pa nogabala garākajām malām un novada ūdeni uz ieplaku nogabala malā.
012-218-4 (LVC309)	57.27915, 25.85371	2021. gada janvārī	Atjaunošanas cirte 22.03.2022; augsnes sagatavošana 2022. gada jūnijā, vienlaikus ierīkojot dziļvagas un atjaunojot esošos grāvjus. Objektā vērtējam arī risu ietekmi uz SEG emisijām (LVMCA_R1). Platībā izveidota viena dziļvaga, kas novada ūdeni uz nogabala zemāko daļu.

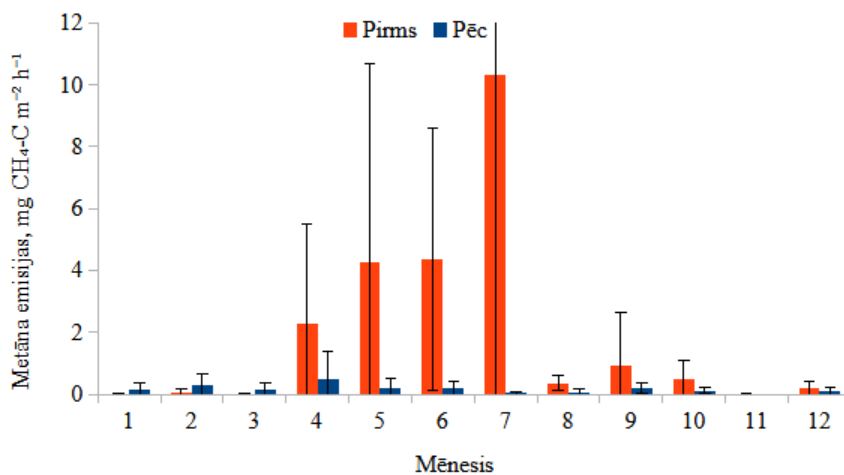
Augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju kopsavilkums platībās, kur ierīkotas dziļvagas, dots att. 7.1, 7.2 un 7.3. CO₂ emisijas pieaug pēc mežizstrādes, it īpaši pirmajos mēnešos, tomēr rezultātu nenoteiktība (vidējā aritmētiskā standartklūda) ir liela un statistiski būtiska atšķirība parādās tikai atsevišķos mēnešos. CH₄ emisijas pēc mežizstrādes un dziļvagu ierīkošanas krasi samazinājās, kas var norādīt uz to, ka pētījuma hipotēze ir apstiprinājusies – dziļvagu ierīkošana, gatavojot augsni ar ekskavatoru, vairākkārtīgi samazina CH₄ emisijas, faktiski emisijas kļūst

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

nenozīmīgas. CH₄ emisiju samazinājums ir vidēji 11 reizes. Iespējams, ka šo atšķirību var izskaidrot ar laika apstākļiem 2023. gada vasarā, kad bija īpaši maz nokrišņu vasaras mēnešos. Lai novērtētu, vai ietekme ir ilglaicīga, mērījumi ir jāturpina. N₂O emisijas pēc mežizstrādes pieaug par vidēji 88%. Tas var būt skaidrojams ar svaigu organisko vielu (mežizstrādes atliekas, saknes) mineralizāciju. Arī šajā gadījumā būtiski turpināt novērojumus, lai konstatētu, cik ilgi N₂O emisijas no augsnes saglabājas palielinātas. Kopējais emisiju pieaugums pēc mežizstrādes ir 18% (1,42 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ pirms un 1,74 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ pēc mežizstrādes).

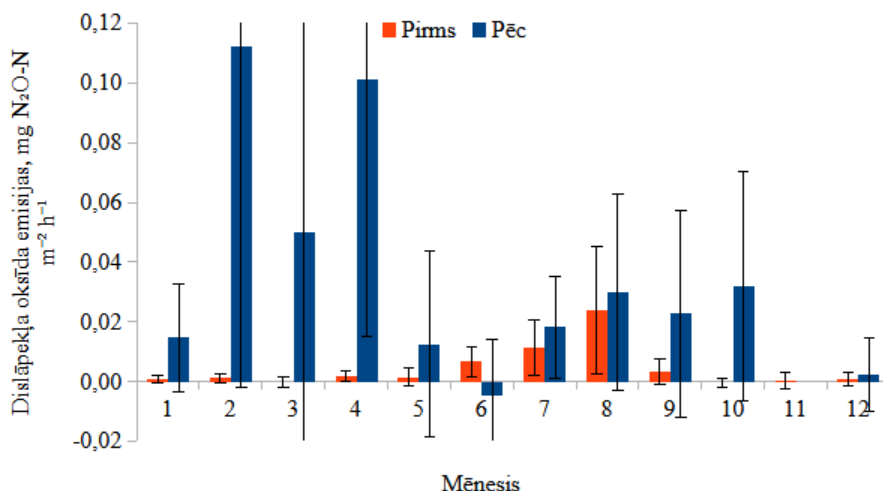


Attēls 7.1. Augsnes heterotrofās elpošanas radīto oglekļa zudumu no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes un dziļvagu ierīkošanas



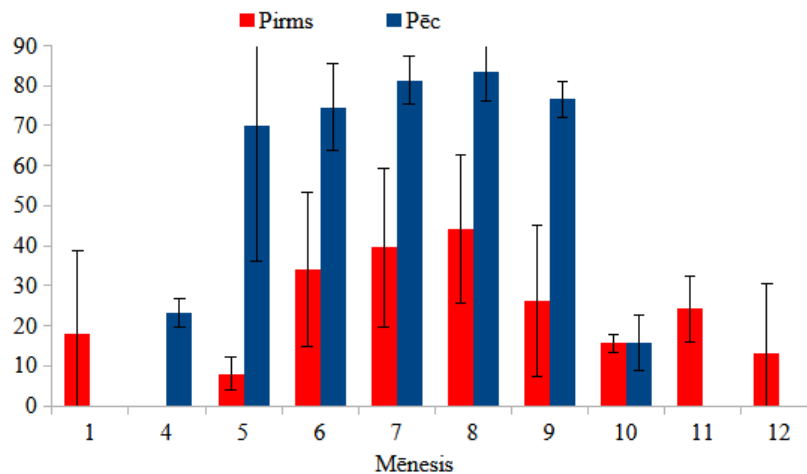
Attēls 7.2. CH₄ emisiju no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes un dziļvagu ierīkošanas

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

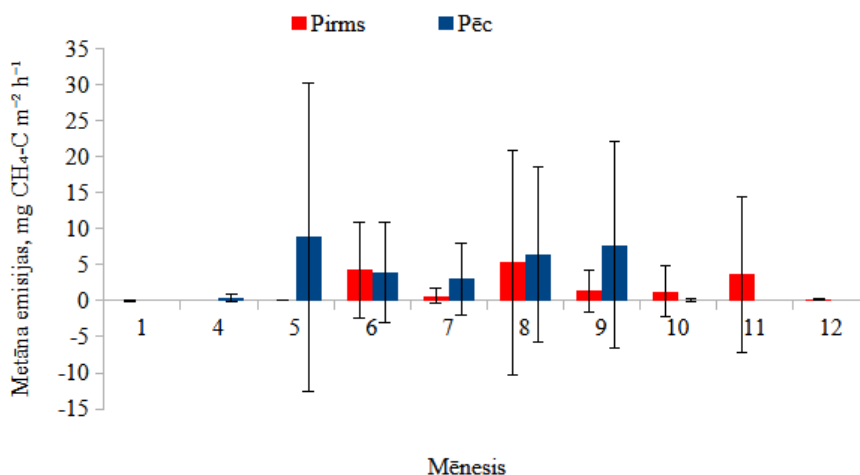


Attēls 7.3. N₂O emisijas no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes un dziļvagu ierīkošanas

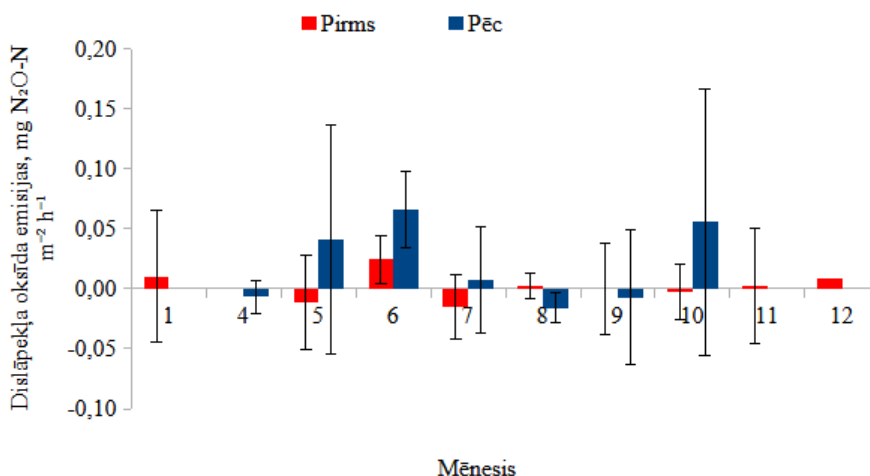
Augsnes heterotrofās elpošanas, CH₄ un N₂O emisiju mērījumu sākotnējie rezultāti kontroles platībā doti att. 7.4, 7.5 un 7.6. Tāpat kā platībās ar dziļvagām, augsnes heterotrofās elpošanas un N₂O emisijas no augsnes pieaug, taču arī CH₄ emisijas pieaug. Mērījumi jāturpina, lai iegūtu vismaz divus pilnus mērījumu ciklus pēc mežizstrādes un identificētu faktorus, kas ietekmē SEG emisijas platībās, kur ierīkotas dziļvagas mitruma režīma uzlabošanai un kontroles platībās, tomēr jau šobrīd var secināt, ka dziļvagu ierīkošana būtiski ietekmē CH₄ emisijas.



Attēls 7.4. Augsnes heterotrofās elpošanas radīto oglekļa zudumu no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes kontroles platībās



Attēls 7.5. CH₄ emisiju no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes kontroles platībās



Attēls 7.6. N₂O emisijas no augsnes salīdzinājums pirms un pēc mežizstrādes kontroles platībās

7.1.2. SEG emisiju salīdzinājums pārmitrās un meliorētās minerālaugsnēs

Pētījumā uzsākti novērojumi par SEG emisijām no augsnes āreņos un slapjainos, lai raksturotu meliorācijas ietekmi uz augsnes oglekļa apriti pārmitrās minerālaugsnēs. Izpētes objektu skaits pētījumā palielināts līdz pieci, lai iegūtu plašāku, ar organiskās augsnēs veiktiem pētījumiem salīdzināmu datu kopu. Mērījumi veikti no 2022. gada maija, nosakot N₂O un CH₄ emisijas no augsnes un ar augsnes heterotrofo elpošanu saistītos oglekļa zudumus (tab. 7.2).

Tabula 7.2. Izpētes objekti SEG emisiju monitoringam pieaugušās bērza un priedes audzēs āreņos un slapjainos

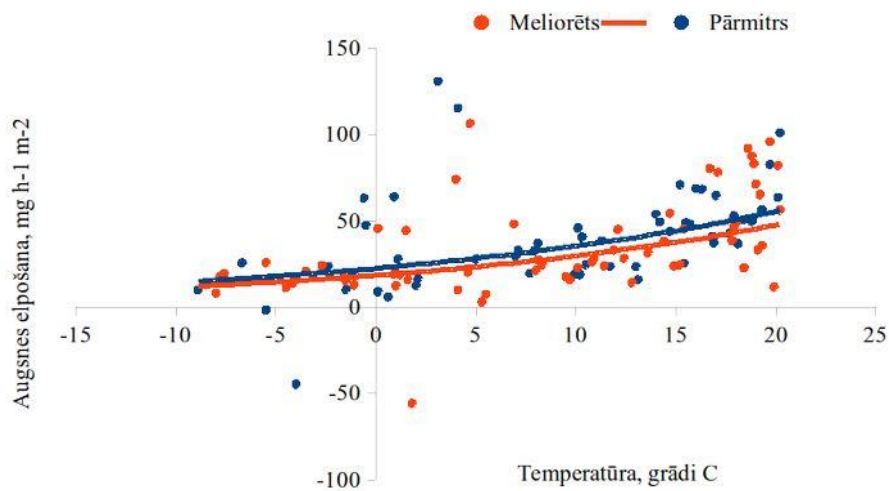
Objekts	Nogabals	Valdošā koku suga	Meža tips
LZP-BM-MRD	Kalsnava 141-1	Bērzs	As, Ap
LZP-BM-MPD	Kalsnava 247-8	Bērzs	Av, Am
LZP-BM-MPW	Kalsnava 51-5	Bērzs	Mrs, Dms
LVM-PM-MPW	Smiltene 67-21	Priede	Mrs, Dms
LVM-PJ-MPD	Kalsnava 247-8	Priede	Av, Am

Novērojumus turpināsim līdz 2024. gada I ceturkšņa beigām, lai iegūtu 24 mēnešus ilgu novērojumu sēriju, tajā skaitā iegūtu lielāku datu kopu par CH₄ un N₂O emisijām pārmitrās augsnēs pavasara mēnešos. Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem SEG emisijas no augsnes lapkoku audzēs ir lielākas nekā SEG emisijas no augsnes skujkoku audzēs, taču nav konstatēta atšķirība starp āreņiem un slapjainiem (tab. 7.3.); attiecīgi, saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem nav pamata uzskatīt, ka mitruma režīma uzlabošana slapjainos palielina SEG emisijas no augsnes. Pētījumā nav konstatētas arī būtiski lielākas metāna emisijas potenciāli pārmitrajās platībās.

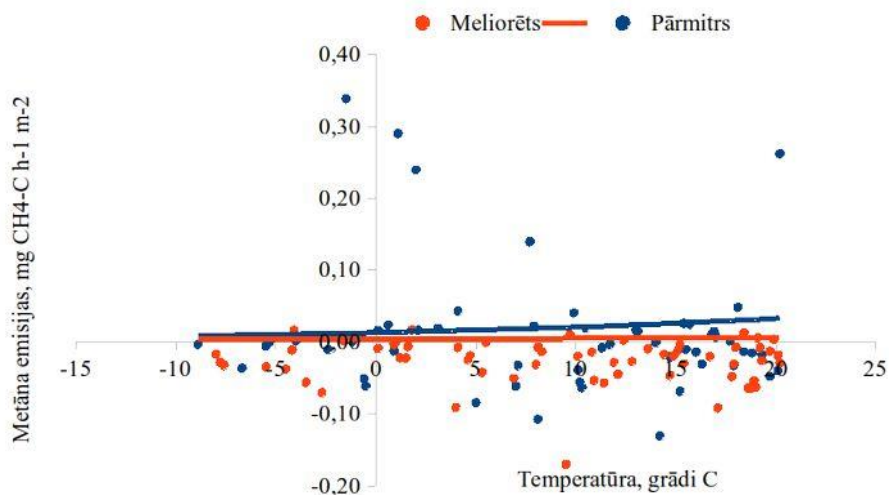
Tabula 7.3. 2022. un 2023. gada emisiju mērījumu rezultātu kopsavilkums

Objekts	Augsnes heterotrofā elpošana. CO ₂ -C, mg m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ -C emisijas, mg m ⁻² h ⁻¹	N ₂ O-N emisijas, mg m ⁻² h ⁻¹
LZP-BM-MRD	34,971 ± 2,81	-0,015 ± 0,007	0,008 ± 0,004
LZP-BM-MPD	33,503 ± 5,837	0,017 ± 0,007	0,002 ± 0,005
LZP-BM-MPW	46,268 ± 4,282	-0,01 ± 0,005	0,009 ± 0,007
LVM-PM-MPW	58,517 ± 6,683	-0,042 ± 0,011	0,01 ± 0,005
LVM-PJ-MPD	37,914 ± 3,024	-0,038 ± 0,008	0,014 ± 0,003

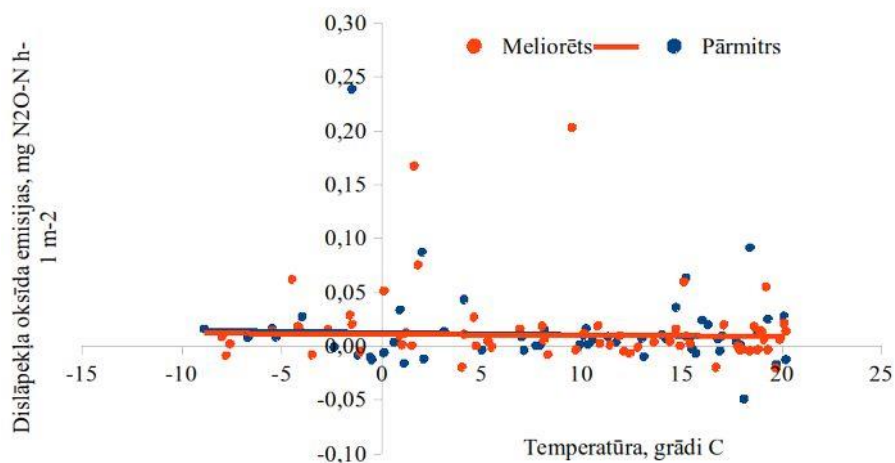
Att. 7.7, 7.8 un 7.9 salīdzināta gaisa temperatūras un SEG emisiju sakarība slapjainos un āreņos. CO₂ emisijas būtiski neatšķiras šajos meža tipos, arī N₂O un CH₄ emisijas ir nenozīmīgas, neatkarīgi no temperatūras, taču CH₄ emisijām raksturīgi periodiski ekstrēmi pārmitrās platībās un abām gāzēm (CH₄ un N₂O) raksturīgi ekstrēmi gan meliorētās, gan pārmitrās platībās. Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem, meža meliorācijai platībās ar minerālaugsnēm nav būtiskas ietekmes uz SEG emisijām, taču meliorācija var samazināt CH₄ emisijas no augsnes, novēršot periodisku CH₄ emisiju kāpumu. Sākotnējie rezultāti neparāda periodiska CH₄ un N₂O emisiju pieauguma iemeslus, taču tas var būt saistīts ar periodiskām gruntsūdens līmeņa svārstībām. Mērījumu turpināšana 2024. gada sākumā palielinās datu kopu periodā, kad novērots visvairāk ekstrēmu emisiju kāpumu.



Attēls 7.7. Augsnes heterotrofās elpošanas radīto oglekļa zudumu no augsnes salīdzinājums slapjajos un āreņos



Attēls 7.8. Metāna (CH₄) emisiju salīdzinājums āreņos un slapjajos



Attēls 7.9. Dislāpekļa oksīda (N₂O) emisiju salīdzinājums āreņos un slapjajos

Iegūtos pētījuma rezultātus varēsīm izmantot augsnes oglekļa aprites modelēšanas instrumentu validēšanai, raksturojot SEG emisijas no augsnes āreņos un slapjainos. Sākotnējie emisiju rādītāji (kopējās emisijas 11-19 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā) ir mazākas par citos pētījumos organiskās augsnēs iegūtiem emisiju rādītājiem (Butlers u.c., 2022, 2023), tāpēc, iespējams, nākotnē būs lielāka uzmanība jāpievērš emisiju raksturošanai šajās augsnēs, lai novērstu to, ka emisijas no pārmitrām vai meliorētām minerālaugsnēm nav nepilnīgi novērtētas. Saskaņā ar Starpvalstu klimata pārmaiņu padomes 2019. gada vadlīnijām SEG emisiju uzskaitēi (Buendia u.c., 2019), jāizstrādā emisiju faktori arī meliorācijas grāvjiem minerālaugsnēs, tajā skaitā jāizveido modelēšanas instrumenti ūdens līmeņa un ūdens klātās virsmas prognozēšanai grāvjos diennakts vai nedēļas griezumā.

7.2. Lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu uzturēšanai un modernizēšanai

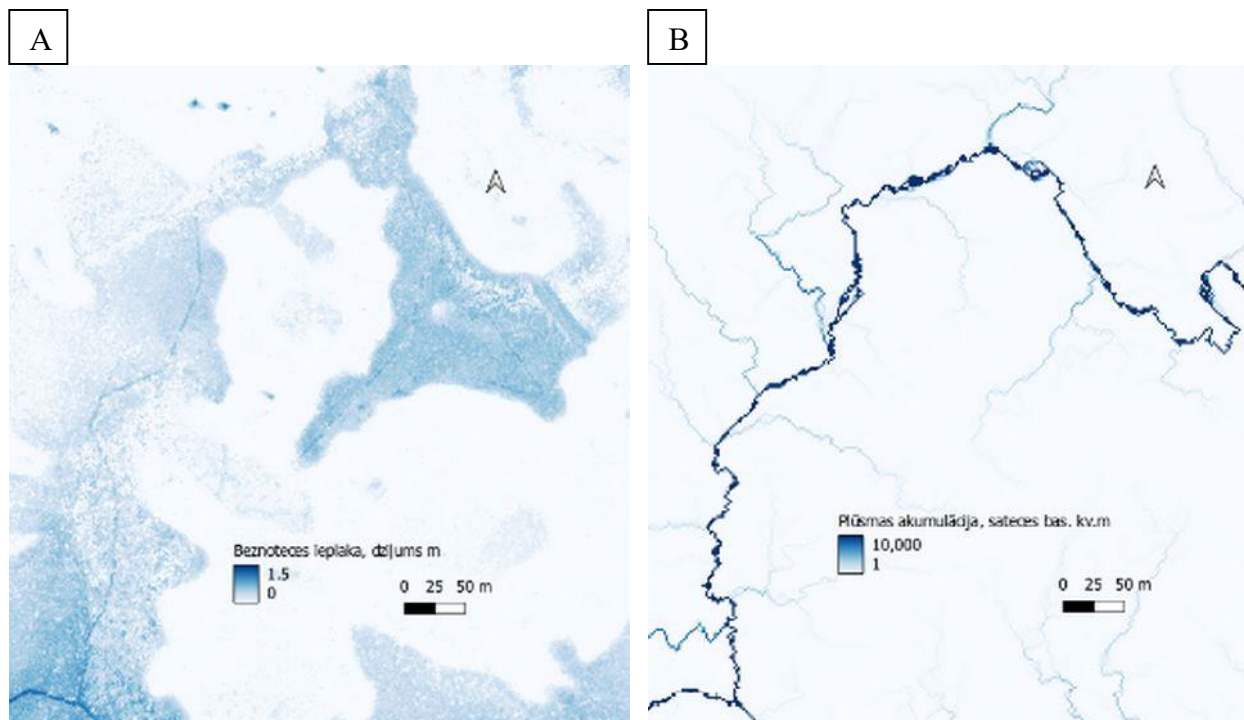
Darba mērķis ir lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu uzturēšanai un modernizēšanai klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstenošanas ietvaros. Tas sevī ietver metodikas izstrādi un darbību datu sagatavošanu meliorācijas sistēmu atjaunošanas un paplašināšanas plānošanas risinājumam SEG emisiju mazināšanai un CO₂ piesaistes palielināšanai. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā papildināta metodika grāvju atjaunošanas modelēšanai un meliorācijas sistēmu atjaunošanas novērtēšanai.

Digitālā reljefa modeļa (DEM) un digitālā virsmas modeļa (DSM) izveidei nepieciešamie LiDAR, autoceļu un caurteku dati iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA) un LVM datubāzēm. Meliorācijas grāvju telpiskie dati iegūti, izmantojot iepriekšējos pētījuma posmos un publikācijā (Melniks u.c., 2022) aprakstīto metodiku to automātiskai dešifrēšanai no LiDAR datiem iegūta DEM, kā arī no LVM datubāzes. Pārmitro vietu noteikšanai izmantosim Latvijā aprobētu metodi, izmantojot lāzerskenēšanas datus (Ivanovs & Lupikis, 2018). Šīs metodes precizitāte, pamatojoties uz datiem, kas iegūti uz glacigēnajiem, glacifluviālajiem un eolajiem cilmiežiem, pārsniedz 94%, savukārt uz limnisko nogulumu cilmieža un kūdras augsnēm tā ir tuvu 80%. Teritorijas mitruma režīma raksturošanai izmantosim arī LIFE OrgBalt projekta ietvaros izstrādātās gruntsūdens dziļuma kartes, kā arī vērtēsīm beznoteces ieplaku izplatības izmaiņas.

7.2.1. Metodika

Digitālā reljefa modeļa **dati** apstrādāti, izmantojot QGIS programmā integrēto *Whitebox* rīku *Burn Streams at Roads*. Ar šī rīka palīdzību veicama reljefa modeļa koriģēšana, tajā “izgriežot” caurtekas grāvju un ceļu krustojšanās vietās, padarot iespējamu ūdens plūsmas modelēšanu.

Virszemes ūdens plūsmas modelēšanai izmantots DEM ar izgrieztām grāvju caurtekām, izmantojot GRASS GIS rīku *r.terraflow*, ar algoritmu *Flow accumulation*. Šo modeli veidosim 2 m horizontālajā izšķirtspējā, lai tajā saglabātos grāvju tīkls, bet tiktu novērsta mikroreljefa ietekme (att. 7.10).

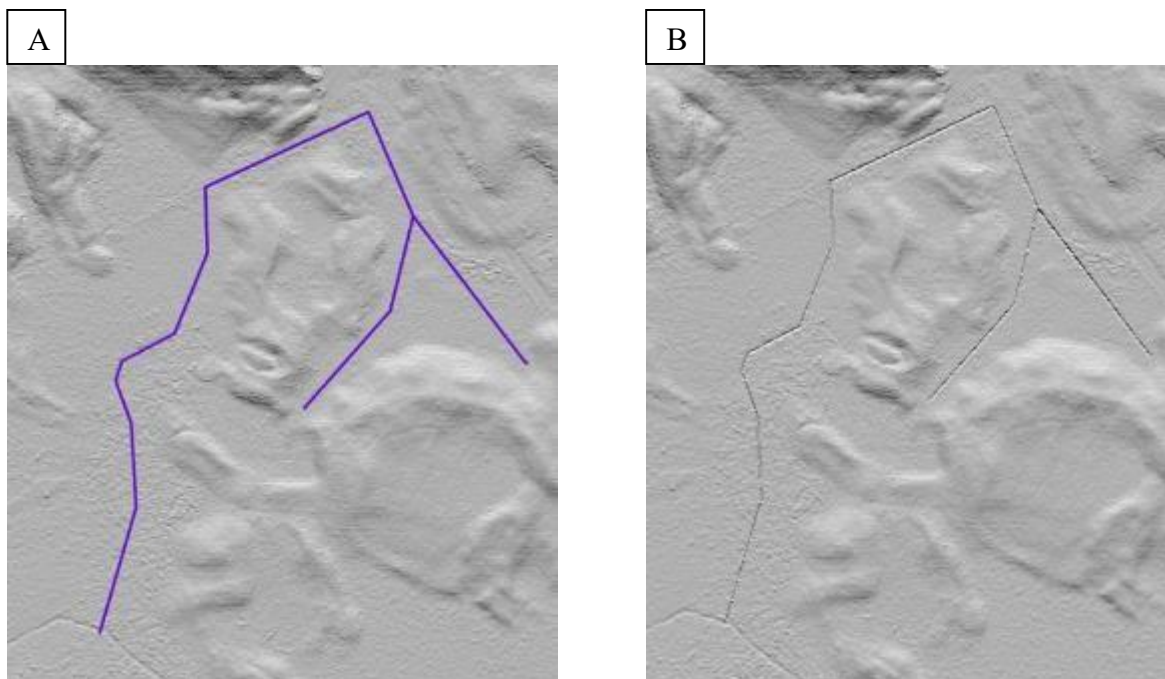


Attēls 7.10. A – aizsērējusi grāvju sistēma un sekojoša pārmitro apstākļu izplatība; B – virszemes plūsmas akumulācija aizsērējušo grāvju tuvumā

Pētījumā izmantoti četri scenāriji, kuri iespējami, veicot grāvja atjaunošanas un mitruma režīma uzlabošanas modelēšanu:

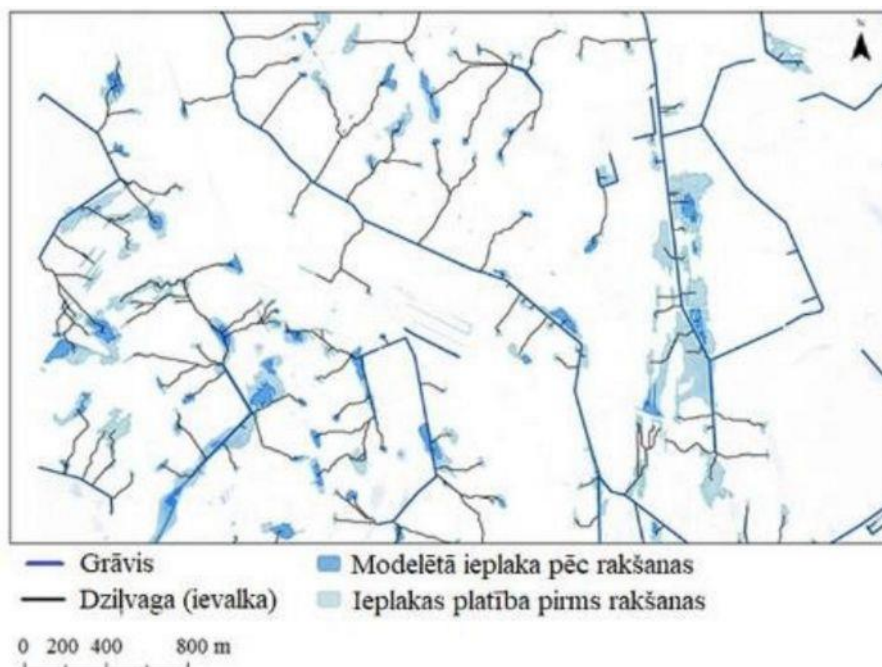
1. grāvis ir aizsērējis daļēji, tā dziļums ir 30 cm un vairāk, un to ir iespējams identificēt izmantojot iepriekš aprakstīto metodiku grāvju identificēšanai un raksturošanai;
2. grāvis ir aizsērējis pilnībā, to nav iespējams automatiski identificēt, bet dati par to ir pieejami LVM vai LĢIA datos;
3. grāvis ir aizsērējis pilnībā, un par to nav pieejami dati;
4. sekla sezonālo grāvju tīkla (dziļvagu) izvietojuma modelēšana virszemes ūdens novadīšanai.

Ja meliorācijas grāvis ir identificēts, izmantojot reljefa modeļa analīzi, vai tas ir atrodams LVM datubāzē, modelēšana veicama izmantojot šos datus. Savukārt, gadījumos, kad grāvji ir pilnībā aizsērējuši un nav identificējami, un par tiem nav pieejami dati LVM datubāzē vai LĢIA datos, kā arī modelējot sezonālo dziļvagu optimālākās atrašanās vietas, veicama virszemes plūsmas modelēšana. Izejas dati ir vektoru slānis, kurš norāda uz galvenās virszemes plūsmas atrašanās vietu, kura pēc reljefa datiem visprecīzāk atbilst vietai, kur būtu lietderīgi veikt grāvja rakšanu vai atjaunošanu. Šie divi datu slāņi apstrādājami ar GRASS GIS rīku *r.carve*, ar kura palīdzību līnijas, kura apzīmē grāvi, atrašanās vietā DEM izveidojas lietotāja definēta dziļuma un platuma padziļinājums, kas atbilst grāvim (att. 7.11).



Attēls 7.11. A – ar zilu apzīmēts aizsērējis grāvis, kura vidējais dziļums ir zem 30 cm; B – veikta grāvja rakšanas modelēšana digitālajā reljefa modelī 1,5 m dziļumā un 2 m platumā

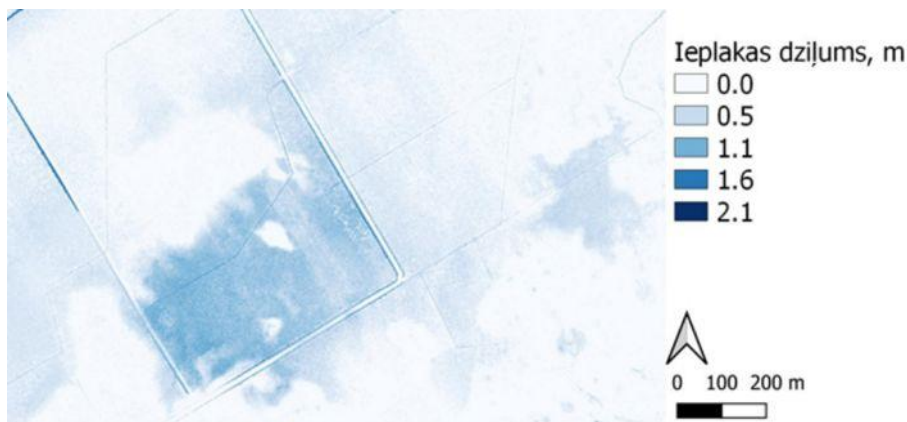
Lai novērtētu grāvja atjaunošanas modelēšanas efektu, veiksīm atkārtotu augsnes mitruma, gruntsūdens dziļuma un beznoteces ieplaku analīzi (att. 7.12).



Attēls 7.12. Modelētā sagaidāmā beznoteces ieplaku platība pirms un pēc dziļvagu rakšanas paraugteritorijā

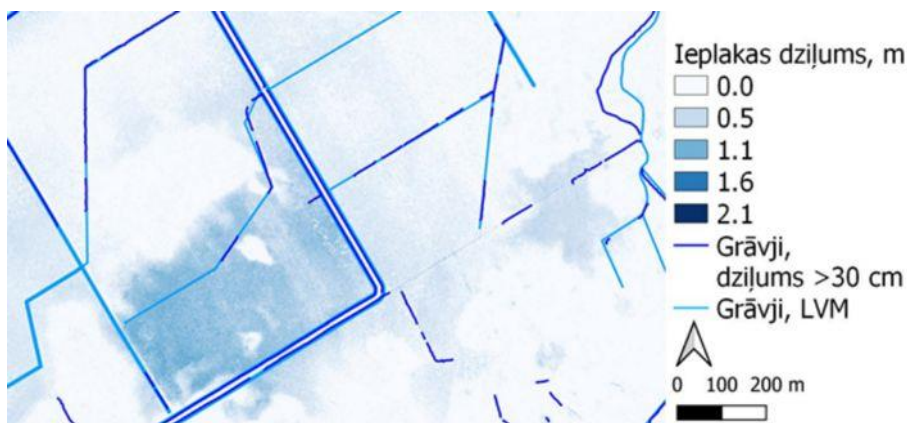
Lai identificētu teritorijas, kurās veidojas pārmitri augsnes apstākļi un ir traucēta ūdens notecē, veikta ieplaku aizpildīšana reljefa [modelī](#), izmantojot algoritmu *Fill Sinks* (Ivanovs u.c.,

2017). Ieplaku aizpildīšana veikta DEM ar 1 m horizontālo izšķirtspēju, kas iepriekš koriģēts ceļu un caurteku atrašanās vietās. Datu slānis ar informāciju par ieplaku izplatību un to dziļumu iegūts, izmantojot rastra kalkulatoru, no aizpildītā DEM atņemot neizpildīto (att. 7.13).



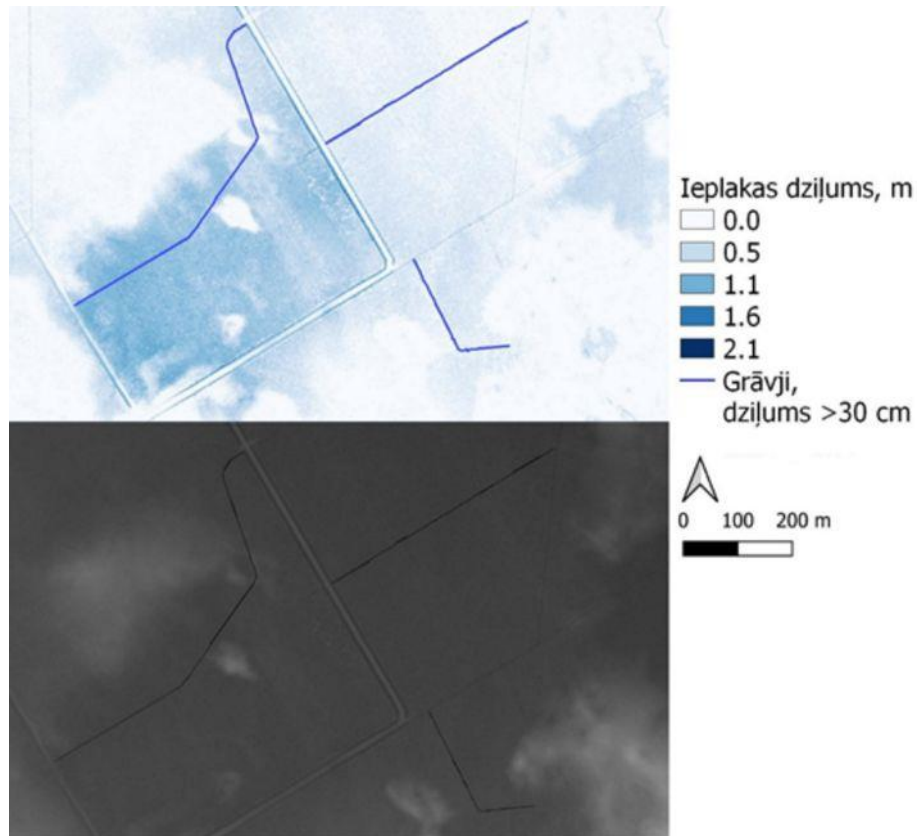
Attēls 7.13. Beznoteces ieplaku izplatība teritorijā

Meliorācijas grāvju vektoru dati, turpmākai modelēšanai iegūti, izmantojot iepriekš aprakstīto metodiku DEM analīzei, kā arī, izmantojot LVM nogabalu datubāzi (att. 7.14).



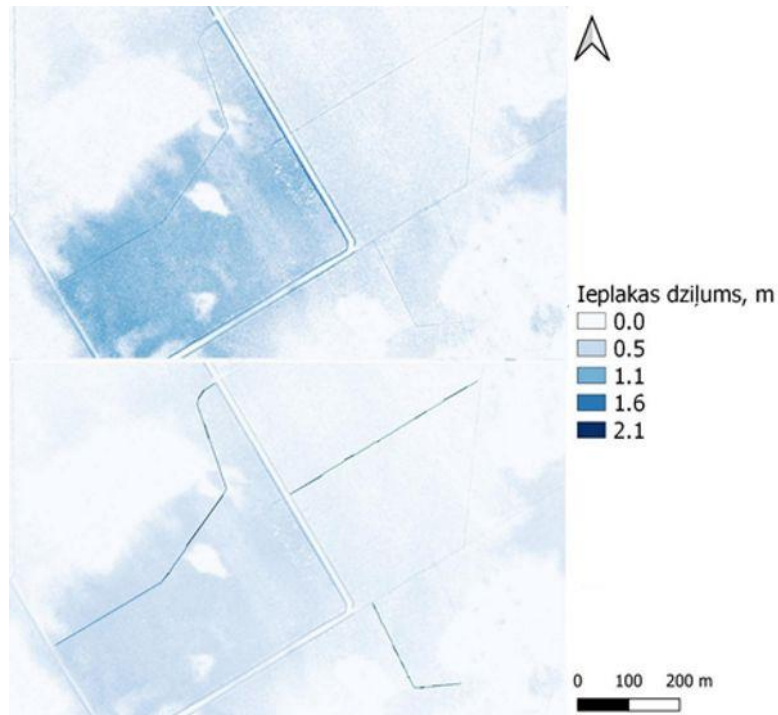
Attēls 7.14. Meliorācijas grāvji dažādos datu avotos

Izmantojot ieplaku izplatības karti un meliorācijas grāvju atrašanās vietas, var identificēt teritorijas, kurās ir traucēta ūdens notece, kā arī meliorācijas grāvju stāvokli, kā arī veikt meliorācijas grāvju atjaunošanas modelēšanu un tās ietekmi uz hidroloģisko režīmu teritorijā (att. 7.15.).



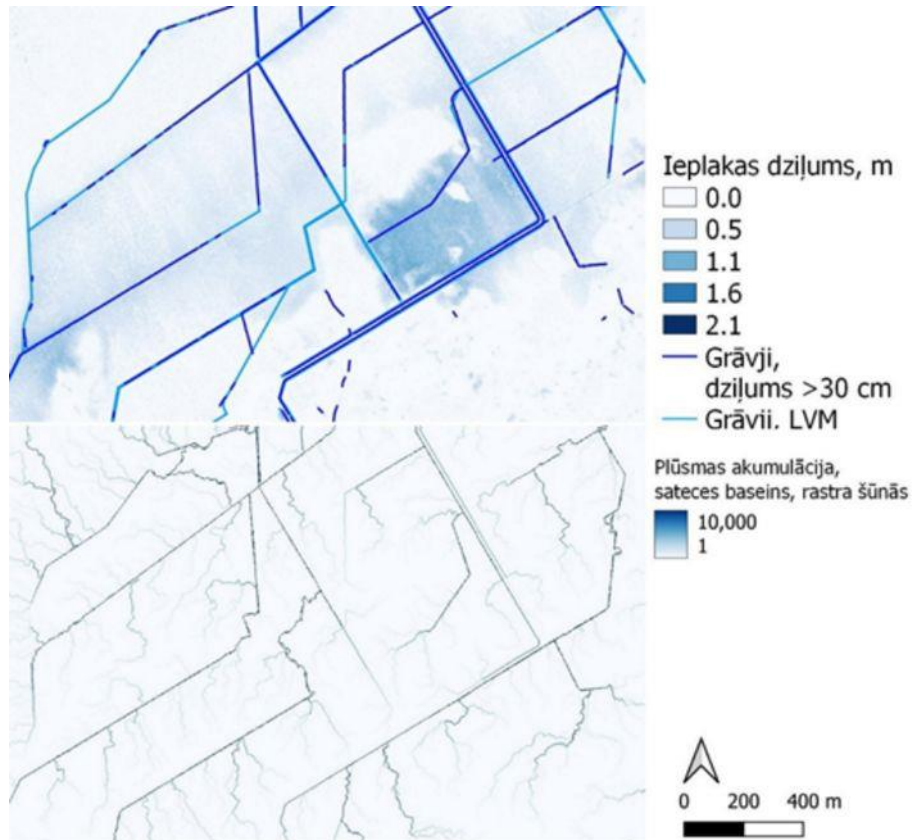
Attēls 7.15. Grāvju atjaunošanas modelēšanas piemērs, augšējā daļā – atlasīti trīs grāvji, kuri atrodas pārmitros apstākļos, apakšējā daļā – veikta atjaunošanas modelēšana 2 m platumā un 1,5 m dziļumā

Izmantojot DEM modifikāciju, kurā veikta grāvju atjaunošanas modelēšana, veikta atkārtota ieplaku analīze, tādā veidā pārbaudot metodes efektivitāti un novērtējot darbības potenciālo ietekmi uz mitruma apstākļiem teritorijā (att. 7.16).



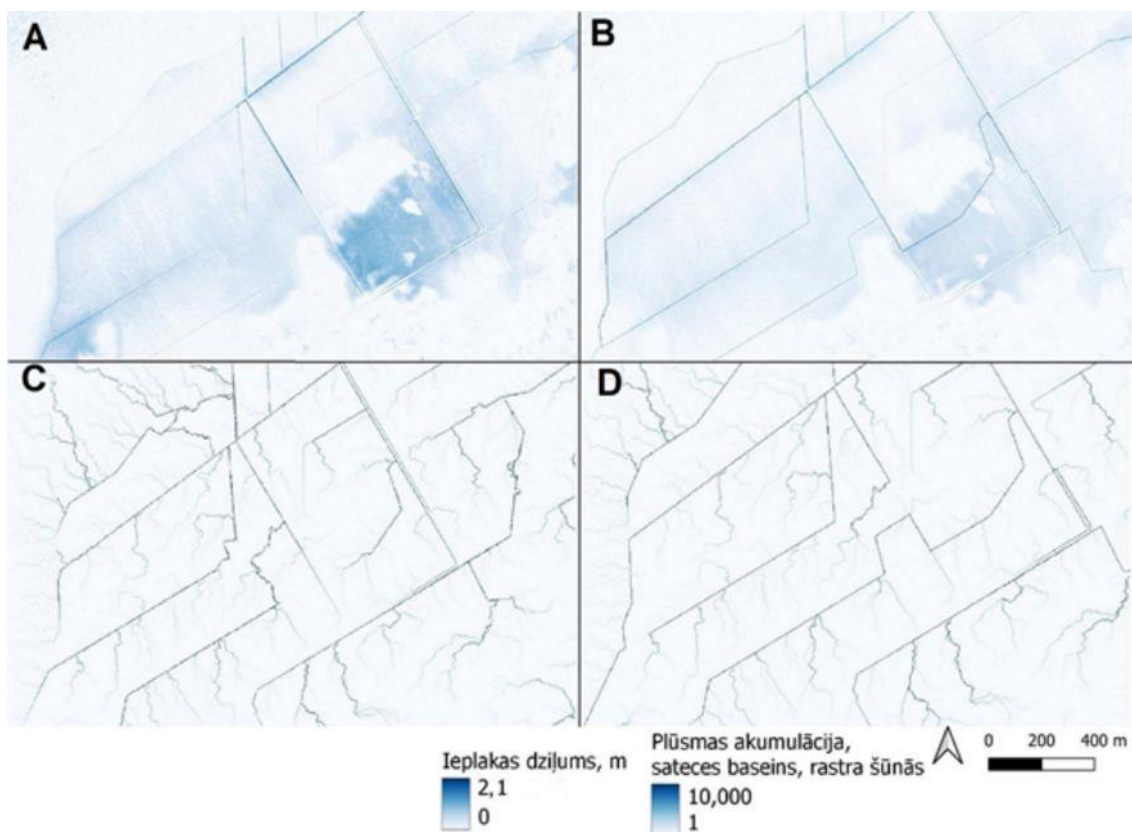
Attēls 7.16. Augšējā daļā – ieplaku izplatība pirms grāvju atjaunošanas, lejā – pēc atjaunošanas

Gadījumos, kad virszemes notece ir traucēta, bet meliorācijas grāvji nav identificējami pēc to morfoloģiskajām īpašībām reljefa modelī, tomēr datubāzē ir pieejama informācija par grāvju esamību, papildus veicama virszemes plūsmas modelēšana, lai noskaidrotu, vai grāvja atjaunošanā šajā gadījumā būtu efektīva (att. 7.17.).



Attēls 7.17. Augšpusē – ieplaku izplatība un meliorācijas grāvji dažādos datu avotos, lejā – plūsmas akumulācijas modelis

Izmantojot informāciju no plūsmas akumulācijas modeļa un datus par meliorācijas grāvjiem LVM datubāzē, veikta grāvju atjaunošanas modelēšana vietās, kur reljefa modelī grāvju dziļums ir mazāks par 30 cm, bet dati par tiem pieejami LVM datubāzē. Līdzīgi kā iepriekš, modelēšana veikta izmantojot 2 m grāvja platumu un 1,5 m dziļumu (att. 7.18), kā arī veikta plūsmas akumulācijas un ieplaku izplatības modeļu salīdzinājums reljefa modeļiem pirms un pēc grāvju atjaunošanas modelēšanas.



Attēls 7.18. A – ieplaku izplatība pirms modelēšanas, B – pēc; C – plūsmas akumulācija pirms modelēšanas, D – pēc modelēšanas

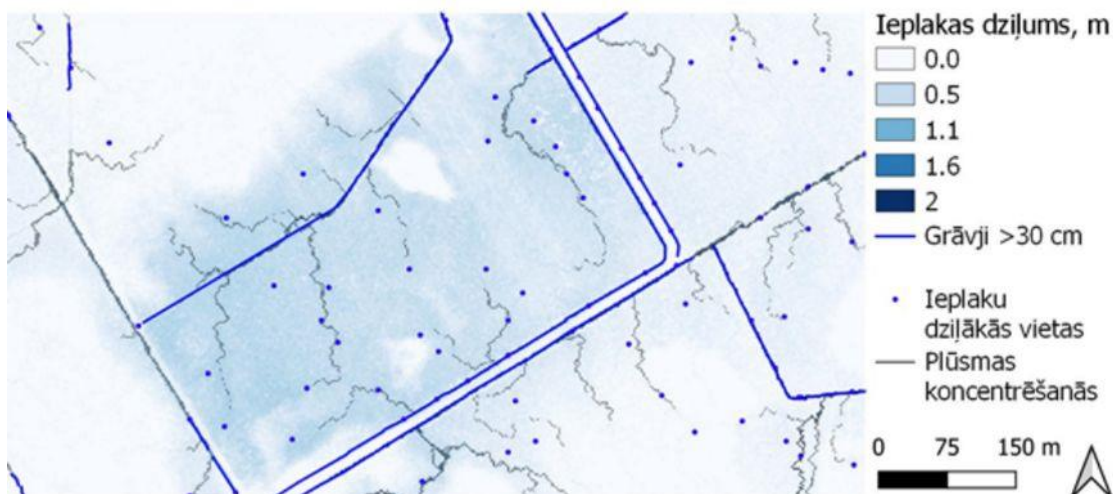
Izmantojot ieplaku izplatības modeli, identificējamas arī platības, kur veidojas lokālas beznoteces ieplakas, kurās ir iespējama sezonāla virszemes ūdeņu uzkrāšanās, un iespējama sezonālo grāvju jeb dziļvagu (līdz 40 cm dziļumam) ierīkošana to novadīšanai uz tuvāko grāvi vai ieplaku. Šim uzdevumam nepieciešami arī dati par esošajiem meliorācijas grāvjiem, kuri modelēšanas laikā savienosies ar dziļvagām.

Vispirms nepieciešams identificēt beznoteces ieplakas dziļākās vietas, kuras nākamajos datu apstrādes soļos tiek savienotas ar esošajiem grāvjiem. Šis process veikts vairākos soļos. Sākotnēji izmantots *r.neighbors* rīks, ar kura palīdzību iegūts rastra slānis, kurā izmantots maksimālo vērtību filtrs 15 šūnu rādiusā. Tā kā dziļākās vietas pēc algoritma pielietošanas rastra slānī ir reprezentētas ar 15 x 15 šūnu kvadrātu, šī īpašība izmantota, lai lokalizētu centrālo šūnu. Izmantojot *r.mapcalc.simple* rīku, pielietota 8. formula. Rezultātā iegūts rastra slānis, kurā ir tikai tās šūnas, kuras atbilst ieplaku dziļākajām vietām. Pārējās šūnas aizstātas ar NULL vērtību.

$$\text{if}((A[-7,0]==A[7,0])\&\&(A[0,-7]==A[0,7]),1,\text{null}()) \quad (8)$$

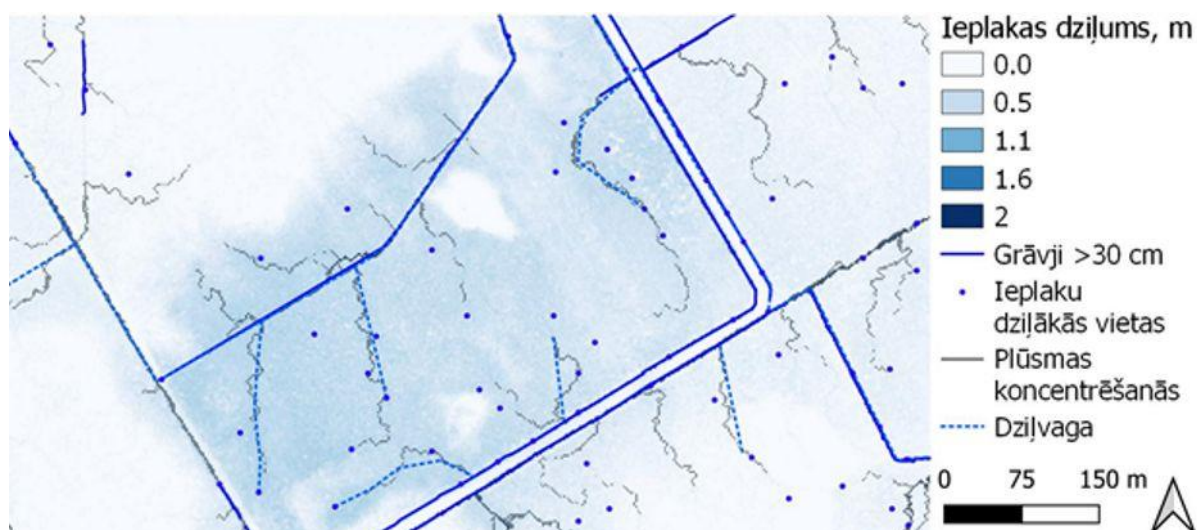
kur A = beznoteces ieplaku rastra slānis.

Izmantojot *r.to.vect* rīku, dziļākās ieplaku vietas pārveidotas punktveida datos. Atainotie punkti reprezentē tās vietas, kuras vēlams savienot ar grāvju tīklu, tādējādi nodrošinot ūdens noteci, tomēr vispirms veicama šo punktu atšķirošana, filtrējot tos, kuri atrodas mazās ieplakās (< 0,2 ha) vai arī atrodas pārāk tālu no grāvja un plūsmas koncentrēšanās vietas (att. 7.19).



Attēls 7.19. Beznoteces ieplaku lokāli dziļākās vietas un plūsmas koncentrēšanās vietas

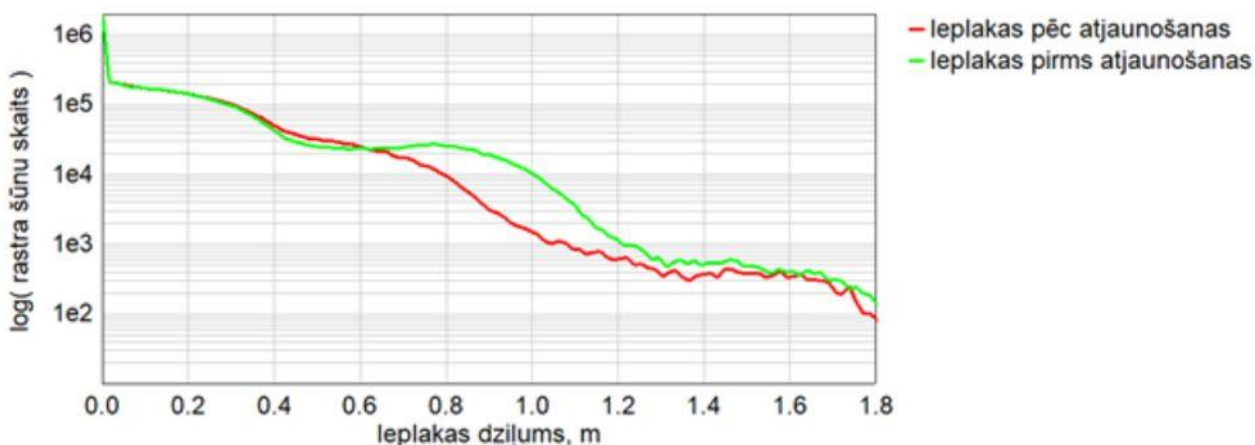
Izmantojot datus par plūsmu koncentrēšanās vietām un tuvumā esošo ieplaku dziļākajām vietām, veikta to savienošana ar esošajiem meliorācijas grāvjiem. Ieplaku dziļākās vietas ar plūsmu koncentrēšanās vietām savienotas, izmantojot *v.net* rīku, un veikta plūsmas līnijas ģeneralizēšana, vienkāršojot to līdz līnijai ar mazāku izliekumu skaitu, saglabājot sākuma un beigu punktus (att. 7.20). Izmantojot iegūtās līnijas, veikta dziļvagu rakšanas modelēšana, līdzīgi kā iepriekš aprakstītajos paņēmienos, šajā gadījumā pielietojot 1 m grāvja platumu un 40 cm dziļumu.



Attēls 7.20. Modelēšanā izmantoto dziļvagu izvietojums

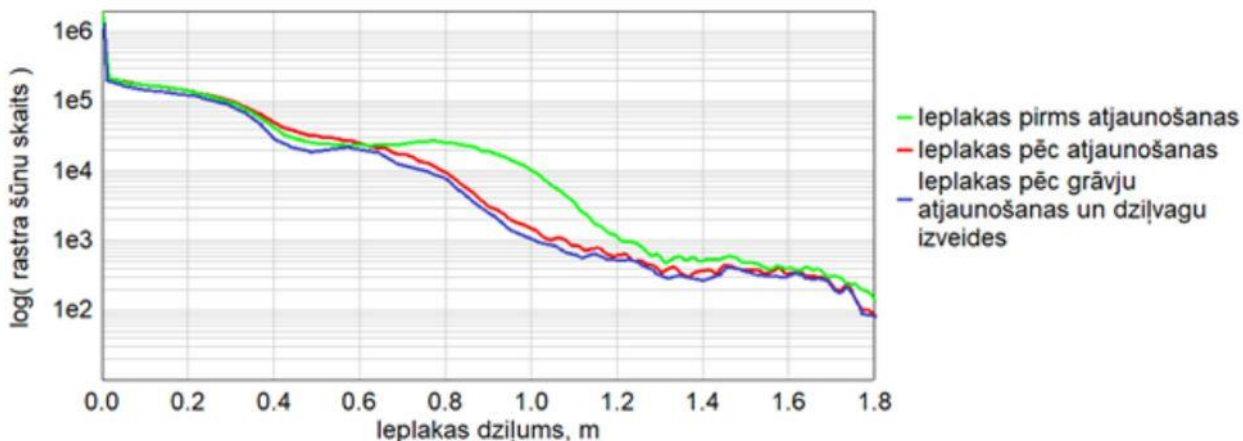
7.2.2. Rezultāti

Rastra attēlu histogramma (att. 7.21), norāda uz ieplaku izplatības pēc to dziļuma izmaiņām pirms un pēc modelēšanas. Konkrētajā piemērā grāvju atjaunošanai būtiskākais samazinājums ir vērojams ieplakām, kuru dziļums ir 0,65-1,4 m.



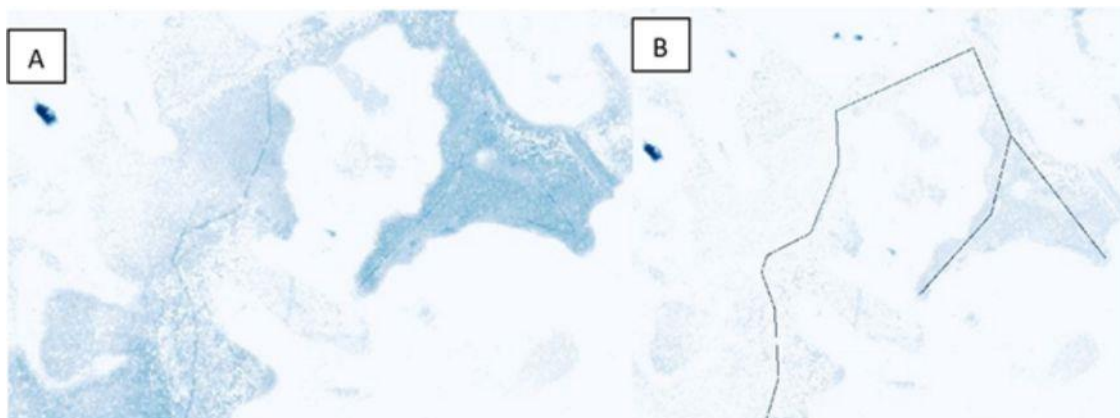
Attēls 7.21. Ieplaku dziļuma sadalījums pēc rastra šūnu skaita pirms un pēc grāvju atjaunošanas modelēšanas

Meliorācijas grāvju atjaunošanai pievienojot dziļvagu ierīkošanu virszemes ūdens novadīšanai, panākts vēl būtiskāks beznoteces ieplaku platības samazinājums (att. 7.22). Šajā piemērā samazinājums vērojams 0,35-1,2 m dziļu ieplaku platībām, bet katrā teritorijā risinājuma efektivitāte sagaidāma citāda.

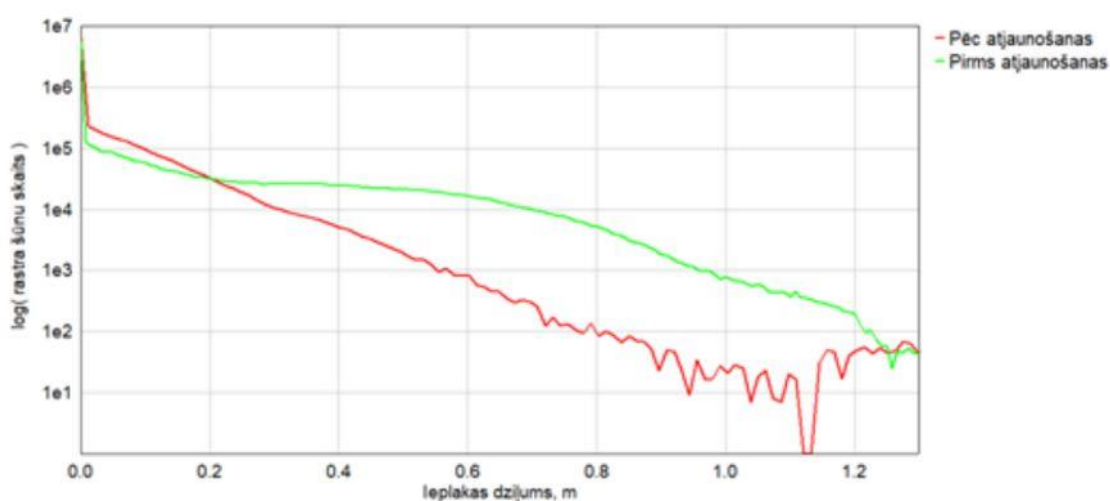


Attēls 7.22. Ieplaku dziļuma sadalījums pirms un pēc grāvju atjaunošanas un dziļvagu izveides modelēšanas

Veicot modelēšanu citā objektā, Mežoles MPS teritorijā, panākts ļoti būtisks ieplaku samazinājums, pēc viena grāvja atjaunošanas un divu dziļvagu izveides, samazinot 0,2-1,25 m dziļu ieplaku izplatību (att. 7.23 un 7.24).



Attēls 7.23. A – ieplaku izplatība pirms modelēšanas, B – pēc modelēšanas



Attēls 7.24. Ieplaku dziļuma sadalījums pirms un pēc modelēšanas

7.2.3. Secinājumi

Pētījumā secināts, ka, izmantojot brīvpieejas datus un ĢIS rīkus, var sekmīgi veikt grāvju atjaunošanas modelēšanu, identificēt piemērotākās vietas dziļvagu ierīkošanai, kā arī novērtēt šo pasākumu efektivitāti, tajā skaitā ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanu. Pētījumā izstrādāto metodiku izmantota meliorācijas grāvju atjaunošanas un dziļvagu ierīkošanas plānošanai. Iegūtie rezultāti var būt atkarīgi no digitālā reljefa modeļa kvalitātes konkrētajā teritorijā, kā arī modelēšanai izvēlētajiem grāvja parametriem. Nepieciešams izpētīt šīs metodikas pielietojuma efektu sasaistē ar gruntsūdens dziļuma modeļiem, iegūstot pilnvērtīgāku priekšstatu par sagaidāmo rezultātu pēc grāvju atjaunošanas.

7.3. Izstrādāt modelēšanas instrumentus Hg, SEG emisiju un biogēno elementu izneses aprēķiniem

Pētījuma mērķis ir raksturot evapotranspirācijas, reljefa un citu darbību datu pielietojuma iespējas ūdens noteces prognozēšanai un netiešo SEG emisiju un ķīmisko elementu izneses novērtēšanai. Salīdzinot ar 2023. gada starpziņojumu, etapa pārskatā papildināta metodika un rezultātu sadaļa.

7.3.1. Metodika

Noteces aprēķini veikti sateces baseina robežās, ar empīrisku noteces modeli, izmantojot meteoroloģisko informāciju, kā arī datus par zemes segumu un veģetāciju. To veicām, no kopējā nokrišņu daudzuma atņemot evapotranspirāciju (9. formula).

$$Q = P - ET - \Delta S \quad (9)$$

Kur

Q – notece;

P – nokrišņi;

ET – evapotranspirācija;

ΔS – izmaiņas pazemes ūdens uzkrājumā.

Evapotranspirācija aprēķināta, izmantojot *EtoCalc* evapotranspirācijas kalkulatoru, kura aprēķinu pamatā tiek izmantota 10. formula (Allen, 1998). Aprēķiniem nepieciešamie ievades dati ņemti no LVGMC mājaslapas. Programma izmantota, jo visi tai nepieciešamie dati iegūstami no meteostacijās regulāri veiktajiem mērījumiem, kurus var ielādēt Microsoft Excel formātā, sakārtot un pārveidot programmai nepieciešamajā formātā. Programmai nepieciešamie parametri ir dienas maksimālā, vidējā un minimālā gaisa temperatūra, maksimālais, vidējais un minimālais mitruma saturs gaisā, kā arī vidējais vēja ātrums²⁵.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (10)$$

kur

ET_o – references evapotranspirācija, mm dienā;

R_n – kopējā radiācija, $MJm^{-2}dienā$;

G – augsnes siltuma svārstību blīvums, $MJm^{-2}dienā$;

T – vidējā dienas gaisa temperatūra 2 m augstumā, $^{\circ}C$;

u₂ – vēja ātrums 2 m augstumā, ms^{-1} ;

e_s – piesātinātais tvaika spiediens, kPa;

e_a – patiesais tvaika spiediens, kPa;

e_s – e_a – piesātinātā tvaika spiediena deficīts, kPa;

Δ – tvaika spiedienā līknes izliekums, $kPa^{\circ}C^{-1}$;

γ – psihometriskā konstante, $kPa^{\circ}C^{-1}$.

Izejas dati ir references evapotranspirācija, kuras vērtībai nepieciešams izmantot koeficientus, atkarībā no sastopamā zemes seguma un veģetācijas veida. FAO noklusējuma *K_c* doti dažādām lauksaimniecības kultūrām, kā arī lapu kokiem un skuju kokiem. *K_c* vērtību ietekmē veģetācijas īpatnības, iztvaikošana no augsnes un veģetācijas periods. Koeficientus sīkāk iedala *K_{c ini}*, *K_{c mid}* un *K_{c end}*, kas atbilst noteiktam laika posmam veģetācijas periodā vai ārpus tā. Periodam starp *K_{c ini}* un *K_{c mid}* koeficienta vērtība interpolēta no pirmās veģetācijas perioda dienas līdz pirmajai aktīvā veģetācijas perioda dienai, tai katru dienu pakāpeniski pieaugot. Visam aktīvajam veģetācijas periodam tiek piemērota *K_{c mid}* vērtība. Periodam starp *K_{c mid}* un *K_{c end}* koeficienta vērtība interpolēta no pēdējās aktīvā veģetācijas perioda dienas līdz pēdējai veģetācijas perioda dienai. No *K_{c end}* perioda koeficienta vērtība katrai dienai pakāpeniski samazinās, līdz tā sasniedz *K_{c ini}* vērtību, kas sākas ar pirmo dienu, kurā diennakts vidējā gaisa temperatūra ir negatīva. Attiecīgi visā pārējā posmā tā

²⁵ https://klimats.meteo.lv/laika_apstaklu_raksturojums/2022/pavasaris/

saglabājas konstanta. Izmantotās koeficienta vērtības katram apsaimniekošanas veidam ir atšķirīgas (tab. 7.4.) un to nosaka tur augošā veģetācija.

Tabula 7.4. Izmantotās K_c vērtības evapotranspirācijas aprēķinu veikšanā dažādos apsaimniekošanas veidos

Zemes seguma veids	K_c ini	K_c mid	K_c end
priedes audze	1,00	1,00	1,00
bērza audze	0,50	1,20	0,95
kūdras lauks	0,55	0,55	0,55
augšne bez veģetācijas	0,55	0,55	0,55
krūmu veģetācija	0,30	1,05	0,50
zālājs	0,40	0,95	0,90
aramzeme	0,30	1,15	0,30

Par veģetācijas perioda sākumu tiek pieņemta diena, no kuras vismaz piecu dienu garumā vidējā diennakts gaisa temperatūra pārsniedz $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, savukārt beigu periodu – diena, no kuras vismaz piecu dienu garumā vidējā diennakts gaisa temperatūra ir zemāka par $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Par aktīvā veģetācijas sākuma posmu tiek pieņemta diena, no kuras vismaz piecu dienu garumā vidējā diennakts gaisa temperatūra pārsniedz $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, savukārt beigu periodu – diena, no kuras vismaz piecu dienu garumā vidējā diennakts gaisa temperatūra ir zemāka par $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ²⁶.

Dažādu zemes seguma veidu ietekmes novērtējumam veikts noteces un vielu izneses salīdzinājums. Salīdzināta mēneša vidējās noteces un izneses vērtības, kā arī gada kopējā notece dažādos apsaimniekošanas veidos.

Ņemot vērā, ka nokrišņu dati ņemti no tuvākajām meteoroloģiskajām stacijām (attālums ir atšķirīgs, vidēji 5-30 km), situācija katrā objektā var atšķirties (tab. 7.5.).

Tabula 7.5. Informācija par pētītajiem objektiem

Nr.	Novads	Atrašanās vieta	Apsaimniekošana	sateces baseina platība, ha	Attālums no tuvākās meteostacijas, km
1.	Dienvidkurzemes	Andrupēni	aramzeme	47,7	5,7
2.	Dienvidkurzemes	Pleces purvs	bērza audze	21,7	27,0
3.	Dobeles	ZS Lazdiņi	aramzeme	55,0	30,0
4.	Mārupes	Kašķu purvs	zālājs	52,2	32,2
5.	Olaines	Cenas tīrelis	pamesta atradne ar sīkkrūmu veģetāciju	95,9	16,3
6.	Olaines	Cenas tīrelis	pamesta atradne bez veģetācijas	41,0	16,4

²⁶ https://klimats.meteo.lv/laika_apstaklu_raksturojums/2022/pavasaris/

Nr.	Novads	Atrašanās vieta	Apsaimniekošana	sateces baseina platība, ha	Attālums no tuvākās meteostacijas, km
7.	Ķekavas	Medema purvs	pamesta atradne bez veģetācijas	131,4	12,2
8.	Bauskas	Lambārtes purvs	kūdras lauks	137,0	14,8
9.	Smiltenes	Smiltenes MPS	priedes audze	9,6	15,8
10.	Smiltenes	Smiltenes MPS	bērza audze	192,5	22,6
11.	Gulbenes	Cepla purvs	pamesta atradne ar sīkkrūmu veģetāciju	81,1	17,3
12.	Gulbenes	Cepla purvs	priedes audze	81,1	17,7
13.	Gulbenes	Ušuru purvs	kūdras lauks	239,9	11,8

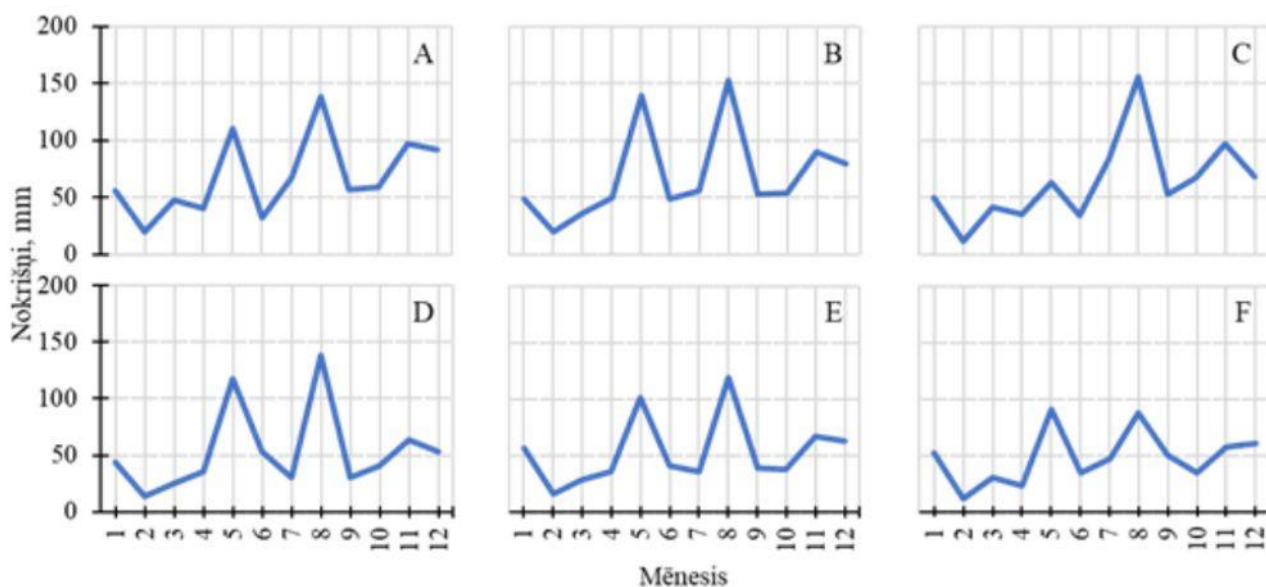
Aprēķinātie evapotranspirācijas un noteces dati analizēti arī kontekstā ar LIFE OrgBalt projektā izstrādātajiem augsnes mitruma un gruntsūdens dziļuma modeļiem, kuru pašlaik ir statistiski un neprognozē iespējamās augsnes mitruma un gruntsūdens dziļuma izmaiņas teritorijā.

Ūdens bilances izmaiņu divi galvenie virzītāji ir nokrišņu daudzums un iztvaikošana (Condon u.c., 2020; Doble & Crosbie, 2017; Simic u.c., 2014), tāpēc pētījumā izmantotā pieeja ļauj vērtēt arī gruntsūdens līmeņa mainību laikā. Šajā uzdevumā kā references dati izmantoti LIFE OrgBalt projektā ierīkotās gruntsūdens akas, kuras aprīkotas ar ūdens līmeņa lasītājiem.

7.3.2. Rezultāti

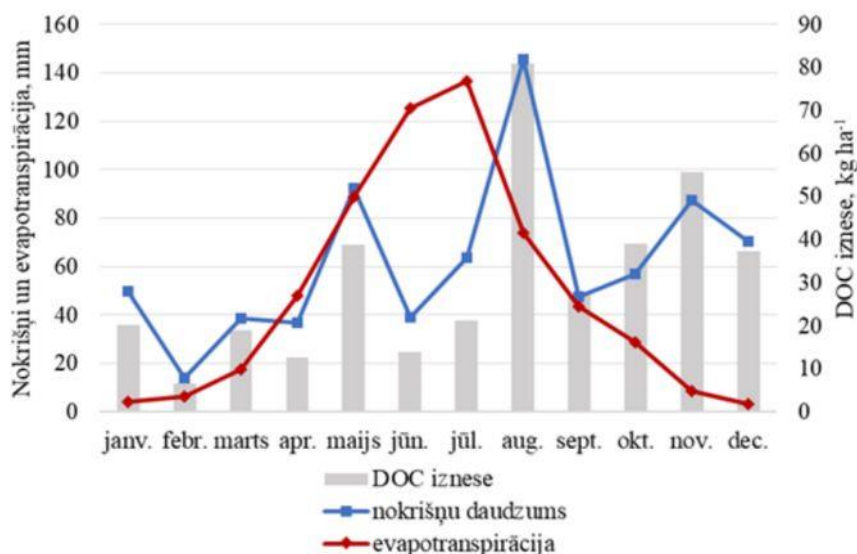
Katrā objektā novērotais nokrišņu daudzums 2022. gadā ir bijis atšķirīgs. To noteicis pētāmo objektu izvietojums, kas atrodas visā Latvijas teritorijā. Lielākās atšķirības vidējā nokrišņu daudzumā pētījuma objektos novērotas priedes audzēm un pamestām atradnēm bez veģetācijas, kur gadā; attiecīgi, izkritis 826 un 582 mm nokrišņu. Atšķirība pa mēnešiem šajā gadījumā pārsniedz pat 50 mm (augusts, att. 7.25).

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



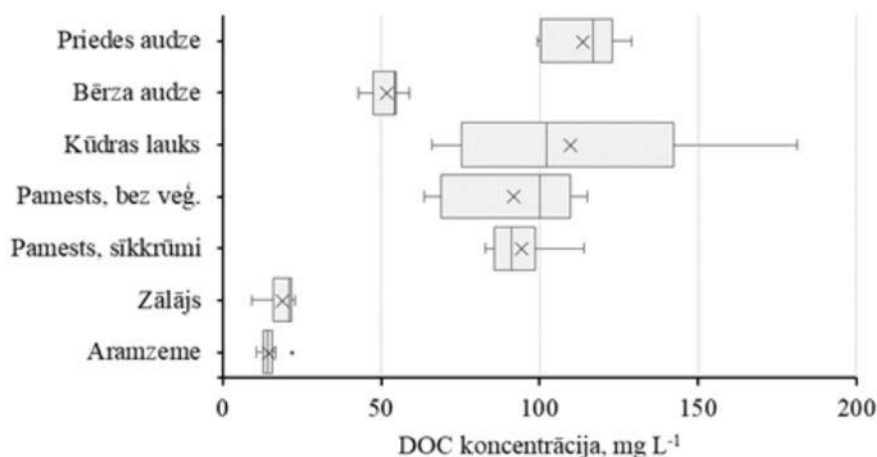
Attēls 7.25. Vidējais nokrišņu daudzums gada griezumā dažādos apsaimniekošanas veidos: A – bērza audze; B – priedes audze; C – LIZ; D – kūdras lauks; E – pamesta atradne ar sīkkrūmu veģetāciju; F – pamesta atradne bez veģetācijas

Mēneša vidējā vielu iznese ir cieši saistīta ar nokrišņu daudzumu – pie vislielākā nokrišņu daudzuma novērojamas arī vislielākās izneses un otrādi. Salīdzinoši zemākas izneses, šajā gadījumā DOC, attiecībā pret nokrišņu daudzumu ir novērojamas janvārī un decembrī, kad temperatūras vairumā dienu ir negatīvas un notece, kas tieši ietekmē iznesi, neveidojas, kā arī maijā, jūnijā un jūlijā, kad nokrišņu daudzums nav pietiekoši liels, lai atsvērtu evapotranspirācijas intensitāti. Vidējā evapotranspirācija, kas iegūta ar *EtoCalc* kalkulatoru, kas balstās uz *Penman-Monteith* vienādojumu, gada laikā uzrāda izteiktu sezonālītāti (att. 7.26). To nosaka, galvenokārt, izmaiņas gaisa temperatūrā un no saules saņemtajā radiācijas daudzumā, kas ir būtiskākie evapotranspirācijas sezonālītāti ietekmējošie faktori (Allen, 1998).



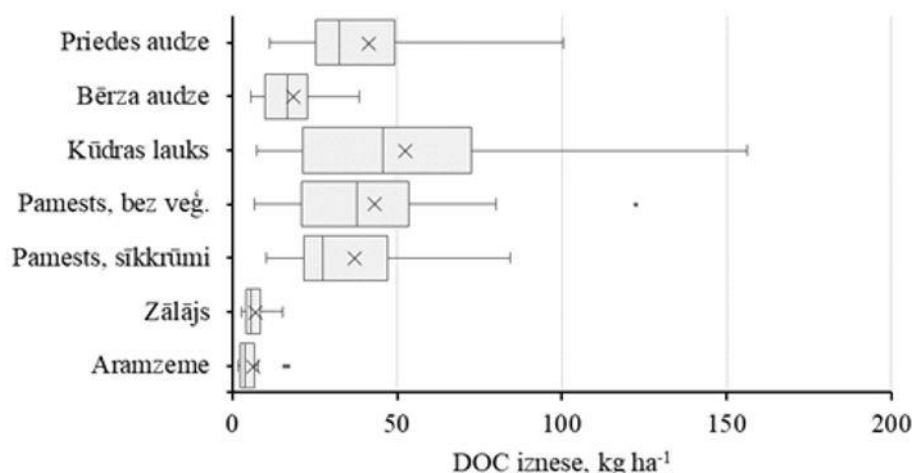
Attēls 7.26. Mēneša vidējais nokrišņu daudzums, evapotranspirācija un DOC iznese objektos

Vidējā DOC koncentrācija ūdenī, atkarībā no zemes izmantošanas veida, būtiski atšķiras. Kopumā visos pētītajos zemes izmantošanas veidos vidējā DOC koncentrācija ir 74,9 mg l⁻¹. Lielākā DOC koncentrācija novērojama priedes audzēs (113,7 mg l⁻¹), kūdras laukos (109,7 mg l⁻¹), pamestās atradnēs ar sīkrūmu veģetāciju (94,9 mg l⁻¹) un bez veģetācijas (91,8 mg l⁻¹). Bērzu audzēs DOC koncentrācija ūdenī ir ievērojami mazāka nekā priedes audzēs (51,9 mg l⁻¹). Viszemākā tā ir lauksaimniecībā izmantojamās zemēs, tajā skaitā aramzemēs 14,5 mg l⁻¹ un zālājā 18,6 mg l⁻¹. Ņemot vērā konstatēto DOC koncentrācijas ūdenī sakarību ar gruntsūdens ķīmiskajām īpašībām, mazāka DOC koncentrācija LIZ saistīta ar augsnes kaļķošanu (att. 7.27.). Citos pētījumos arī novērota likumsakarība, ka apmežotās platībās DOC koncentrācija ir ievērojami augstāka nekā LIZ, kas varētu būt skaidrojams ar kūdras sadalīšanās ātrumu (Chomyčia u.c., 2008).



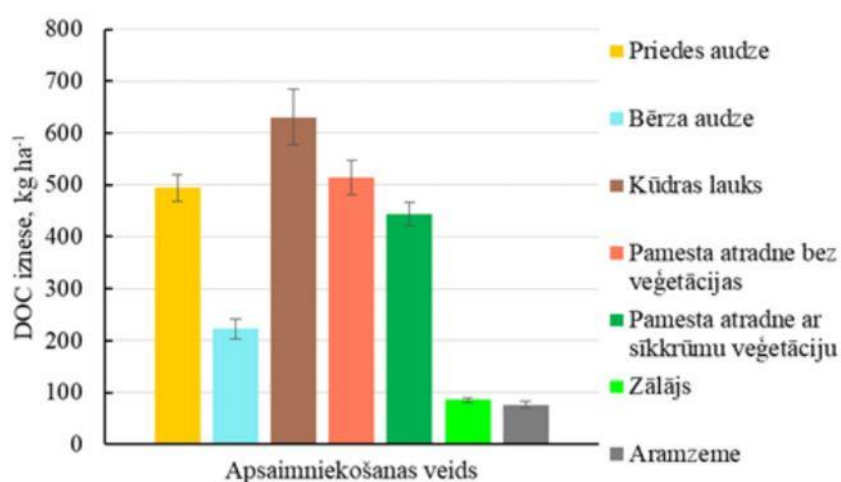
Attēls 7.27. Mēneša vidējā DOC koncentrācija atkarībā no apsaimniekošanas veida: Taisnstūri ietilpst pirmās līdz trešās kvartiles diapazonā. Nogriežņi ietilpst nultās līdz ceturtais kvartiles diapazonā. Ar punktiem attēloti ekstrēmi. Taisnstūrus sadala mediāna. Ar “x” attēlota vidējā aritmētiskā vērtība

Mēneša vidējā DOC iznesē, salīdzinot dažādus zemes izmantošanas veidus, novērojamas tādas pat likumsakarības kā mēneša vidējās DOC koncentrācijas izmaiņās. Visos zemes izmantošanas veidos mēneša vidējā DOC iznese ir 31,1 kg ha⁻¹. Lielākā DOC iznese novērojama kūdras laukos (52,5 kg ha⁻¹), pamestās atradnēs bez veģetācijas (42,9 kg ha⁻¹), priedes audzēs (41,2 kg ha⁻¹) un pamestās atradnēs ar sīkrūmu veģetāciju (37,0 kg ha⁻¹). Bērzu audzēs DOC iznese ir ievērojami mazāka nekā priedes audzēs (18,6 kg ha⁻¹); savukārt, vismazākās tās ir aramzemēs (6,4 kg ha⁻¹) un zālājā (7,1 kg ha⁻¹, att. 7.28.). Atšķirība, kas iezīmējas, salīdzinot ar vidējo DOC koncentrāciju dažādos zemes izmantošanas veidos, ir kūdras ieguves vietām un pamestām atradnēm bez veģetācijas, kurās mēneša vidējā DOC iznese ir vislielākā, lai gan vislielākā DOC koncentrācija ūdenī ir priedes audzēs (att. 7.28.). Tas ir saistīts ar lielāku noteci šajās platībās, kas, neskatoties uz mazāku DOC koncentrāciju ūdenī, mēneša vidējo iznesi padara lielāku. Šo atšķirību nosaka mazāka evapotranspirācija platībās bez veģetācijas seguma, kas rezultējas lielākā notecē un DOC iznesē, līdz ar to jau šobrīd var pateikt, ka, piemēram, kūdras lauku rekultivācijā pirmais uzdevums ir atjaunot veģetācijas segumu, lai samazinātu SEG emisijas no šīm platībām. Latvijā nesen veikti pētījumi pierāda, ka veģetācijas atjaunošana kūdras laukos var samazināt ar vēja eroziju saistītās emisijas par aptuveni 10 tonnām CO₂ ha⁻¹, novēršot vēja eroziju.



Attēls 7.28. Mēneša vidējā DOC iznese atkarībā no apsaimniekošanas veida: Taisnstūri ietilpst pirmās līdz trešās kvartiles diapazonā. Nogriežņi ietilpst nultās līdz ceturtās kvartiles diapazonā. Ar punktiem attēloti ekstrēmi. Taisnstūrus sadala mediāna. Ar “x” attēlota vidējā aritmētiskā vērtība

Salīdzinot gada kopējo DOC iznesi, atkarībā no zemes izmantošanas veida, vislielākā tā ir platībās, kurās nav novērojama veģetācija – kūdras lauks ($630,2 \pm 53,8 \text{ kg C ha}^{-1}$) un pamesta atradne bez veģetācijas ($515,1 \pm 33,0 \text{ kg C ha}^{-1}$). Salīdzinoši liela DOC iznese novērojama arī priedes audzēs ($494,5 \pm 25,2 \text{ kg C ha}^{-1}$) un pamestās atradnēs ar sīkrūmu veģetāciju ($443,6 \pm 22,8 \text{ kg C ha}^{-1}$). Bērza audzēs ar kūdras augsnēm DOC iznese ir salīdzinoši neliela ($222,8 \pm 19,2 \text{ kg C ha}^{-1}$), taču vismazākā tā ir zālājos ($85,5 \pm 4,4 \text{ kg C ha}^{-1}$) un aramzemē ($76,4 \pm 6,0 \text{ kg C ha}^{-1}$, att. 7.29). Salīdzinot ar IPCC vadlīnijās dotajiem DOC emisiju faktoriem, kas mērenajā klimata joslā atbilst $190\text{--}460 \text{ kg C ha}^{-1}$ (Hiraishi u.c., 2013), kūdras laukos, pamestās kūdras atradnēs bez veģetācijas un priedes audzēs DOC izneses ir lielākas, turpretī zālājos un aramzemēs – mazākas. Pamestās atradnēs ar sīkrūmu veģetāciju un bērza audzēs tās ietilpst vadlīnijās doto emisiju faktoru robežās.



Attēls 7.29. Gada kopējā DOC iznese (\pm standartklūda) atkarībā no apsaimniekošanas veida

7.3.3. Secinājumi

Zemes apsaimniekošanas veids cieši korelē ar DOC koncentrāciju grāvju ūdenī, un šim rādītājam ir vislielākā ietekme uz atšķirībām gada kopējā DOC iznesē, atkarībā no zemes izmantošanas veida. DOC iznesi mēnešu griezumā, galvenokārt, ietekmējis vidējais nokrišņu daudzums, turpretī, mēneša vidējai DOC koncentrācijai nav vērojama sakarība ar nokrišņu daudzumu.

Priedes audzēs vērojama lielāka DOC koncentrācija ūdenī un iznese ar noteces ūdeņiem nekā platībās bērza audzēs. Šo atšķirību raksturo gruntsūdens ķīmiskās īpašības – bērza audzēs noteces ūdeņos ir lielāks barības vielu saturs un mazāka DOC koncentrācija nekā barības vielām nabadzīgākajās platībās, kur izaugusi priede, savukārt aramzemēs un zālajos DOC koncentrācija ūdenī; attiecīgi, arī iznese, ir vismazākā. Bērza audzēs konstatētā DOC iznese ir mazāka nekā kūdras laukos un pamestās kūdras atradnēs, bet priedes audzēs DOC iznese būtiski neatšķiras no kūdras laukiem. Pieejamie dati nav pietiekoši, lai novērtētu, vai šo atšķirību nosaka sugu izvēle meža atjaunošanā vai augšanas apstākļi. Lai gan aramzemēs un zālajos iegūtie dati norāda uz to, ka barības vielu saturs ūdenī var būt viens no parametriem, ko var izmantot DOC satura ūdenī prognozēšanai. Pētījumā izmantotajam datum, kas iegūti augstā purva kūdras augsnes, izņemot aramzemes un zālājus, tāpēc pagaidām nevaram novērtēt DOC iznesi meliorētās pārejas un zemā purva kūdras augsnes.

Pētījumā konstatēts, ka netiešās emisijas, izskalojoties organiskajām vielām no augsnes, kūdras laukos un priedes audzēs ir lielākas nekā CO₂ emisijas no augsnes, tāpēc DOC Latvijā, visticamāk, ir viens no emisiju pamatavotiem (tā emisijas pārsniedz 5% no kopējām emisijām valstī), tāpēc šim emisiju avotam ir jāizstrādā nacionāla metode, tajā skaitā jāiegūst dati DOC izneses raksturošanai pārmitrās augsnes, lai objektīvi novērtētu meliorācijas sistēmu ierīkošanas faktisko efektu.

Nepieciešams turpināt pētījumu, lai pilnveidotu algoritmu, kas skaidro nokrišņu un evapotranspirācijas ietekmi uz gruntsūdens līmeņa izmaiņām gada griezumā, kā arī šo izmaiņu ietekmi uz gruntsūdens ķīmisko sastāvu un netiešajām emisijām no augsnes, kā arī jāizstrādā modelēšanas instrumenti, lai šīs likumsakarības pārnestu uz SEG inventarizācijas ziņojumu un klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumiem. Būtisks darba virziens ir monitoringa parauglaukumu ierīkošana, lai iegūtu empīriskus datus par DOC saturu augsnē un ūdenī un ūdens līmeņa izmaiņām. Šādi monitoringa parauglaukumi ierīkojami platībās ar kūdras augsnēm un minerālaugsnēm.

Gruntsūdens līmeņa izmaiņu, evapotranspirācijas un grāvju piepildījuma izpēte nepieciešama arī CH₄ emisiju no grāvjiem un SEG emisiju no kūdras augsnēm prognozēšanai.

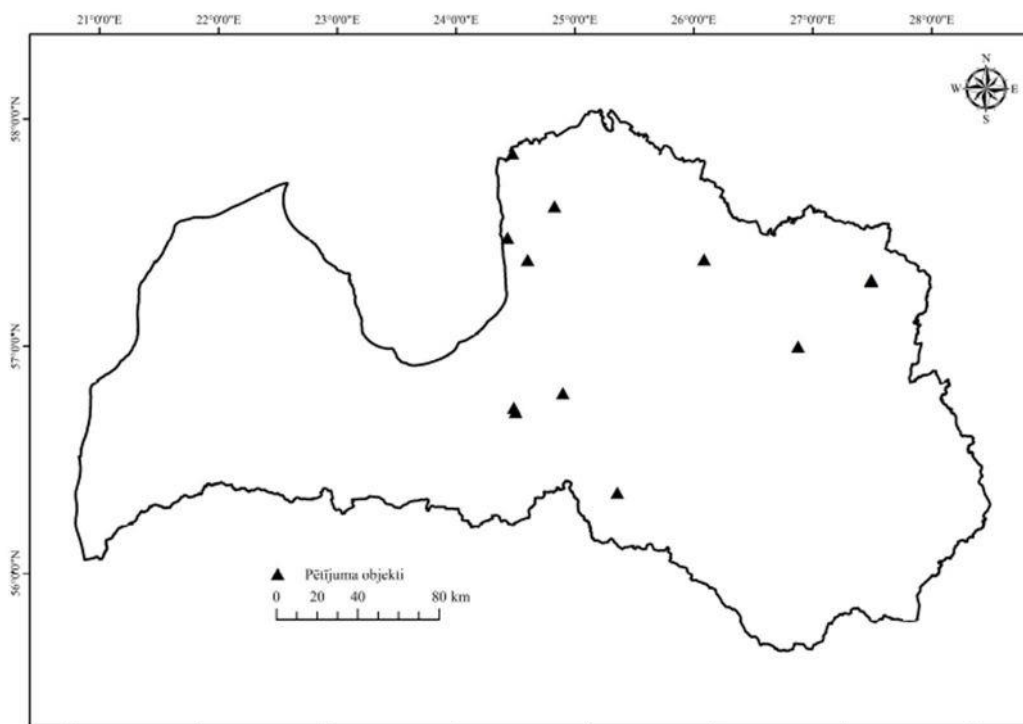
8. OGLEKĻA BILANCE VECĀS MEŽAUDZĒS

8.1. Empīrisko datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos

8.1.1. Aktualizēta metodika un rezultāti

Pētāmais objekts ir vecas melnalkšņu (*Alnus glutinosa*) mežaudzes šaurlapu kūdreņi (Ks - *Myrtillosa turf.mel.*) Latvijā (att. 8.1 un tab. 8.1). Saskaņā ar plānoto darbu izpildes plānu atlasītas 22 mežaudzes vecumā no 111 līdz 146 gadi, no tām uzmērītas 11 audzes šaurlapu kūdreņi. Atlikušās 11 mežaudzes dumbrājā plānots uzmērīt nākamajā etapā. Saskaņā ar iepriekšējos etapos aprakstīto metodiku ierīkoti parauglaukumi un veikta kokaudzes un atmirušās koksnes uzmērīšana oglekļa (C) uzkrājuma raksturošanai dzīvo koku biomasā, atmirušajā koksnē un augsnē.

Dati salīdzinājumam par jaunākām melnalkšņu audzēm Ks meža tipā (vecums variē no 20 līdz 120 gadiem, vidējais vecums 53 ± 3 gadi) atlasīti no MRM datu bāzes, tādējādi nodrošinot objektīvi salīdzināmus datus attiecīgajā meža tipā.



Attēls 8.1. Pētāmo objektu atrašanās vieta Latvijā

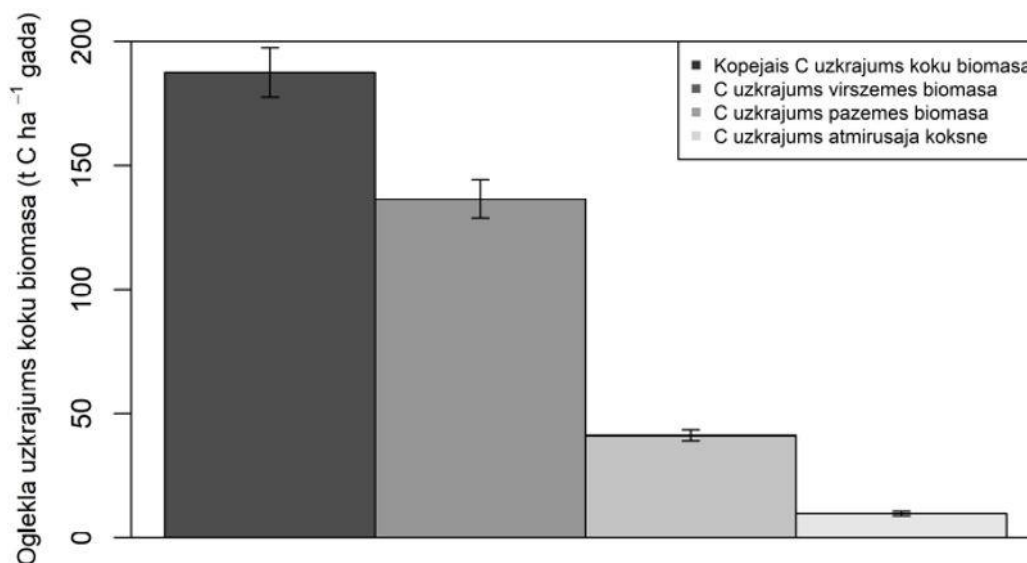
Tabula 8.1. Pētāmo objektu raksturojums

NPK	Koka suga	Atrašanās vieta (kv.apg-kv-nog)	Meža tips	Vecums	C uzkrājums dzīvajā biomasā, t C ha ⁻¹
1	Melnalksnis	104-155-23	Ks	124	129,1

NPK	Koka suga	Atrašanās vieta (kv.apg-kv-nog)	Meža tips	Vecums	C uzkrājums dzīvajā biomasā, t C ha ⁻¹
2	Melnalksnis	111-141-1	Ks	135	133,3
3	Melnalksnis	401-96-12	Ks	127	154,6
4	Melnalksnis	405-273-3	Ks	122	230,0
5	Melnalksnis	405-402-7	Ks	122	189,0
6	Melnalksnis	406-144-11	Ks	132	254,5
7	Melnalksnis	501-474-1	Ks	130	155,9
8	Melnalksnis	507-320-7	Ks	131	132,2
9	Melnalksnis	604-74-7	Ks	133	243,0
10	Melnalksnis	604-92-40	Ks	133	219,6
11	Melnalksnis	804-157-16	Ks	143	240,2

Pētījumā ietvertajās melnalkšņu audzēs novērotas statistiski būtiskas ($p > 0,001$) atšķirības C uzkrājumā starp visām analizētajām frakcijām: virszemes, pazemes, atmirušās koksnes un kopējā biomasā (2.att.). Vidējais C uzkrājums (dzīvo koku biomasā + atmirusī koksne) melnalkšņu audzēs šaurlapu kūdrēnī ir $187,5 \pm 9,9$ t C ha⁻¹ ($\pm 95\%$ ticamības intervāls). Vidējais C uzkrājums virszemes biomasā ir $136,6 \pm 7,7$ t C ha⁻¹, bet pazemes biomasā $41,3 \pm 2,2$ t C ha⁻¹. C uzkrājums atmirušajā koksni sastāda $9,7 \pm 0,9$ t C ha⁻¹. Konstatēts, ka, pieaugot mežaudzes vecumam, palielinās oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā.

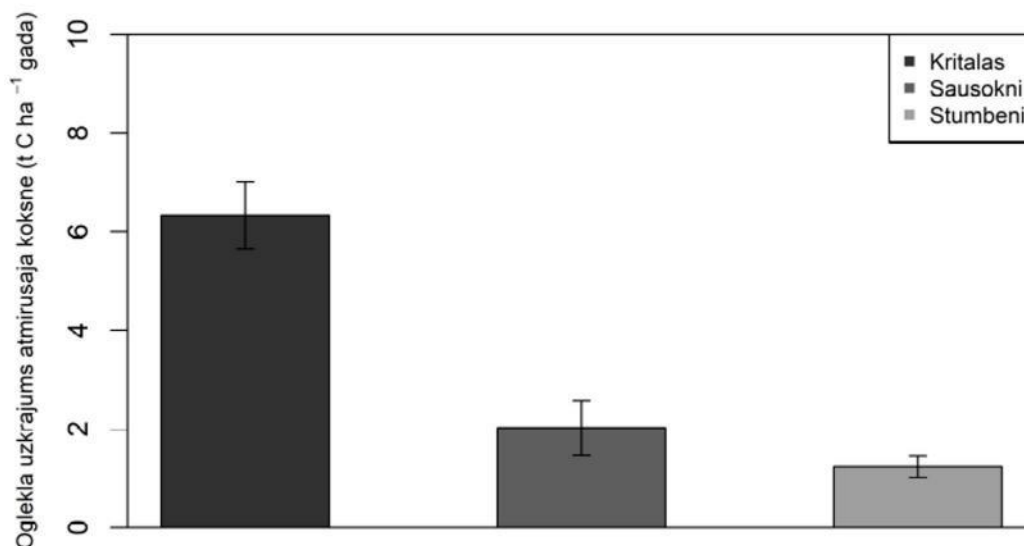
Koku virszemes biomasā (stumbrs, zari) uzkrātais C apjoms veido 73%, pazemes biomasā (balstsaknes, uzsūcošās saknes un celms) ir 22%, bet atmirušajā koksni veido 5%, no vidējā uzkrātā C apjoma.



Attēls 8.2. Vidējais oglekļa (C) uzkrājums šaurlapu kūdrēnī dažādās koka frakcijās un atmirušajā koksni ($\pm 95\%$ ticamības intervāls)

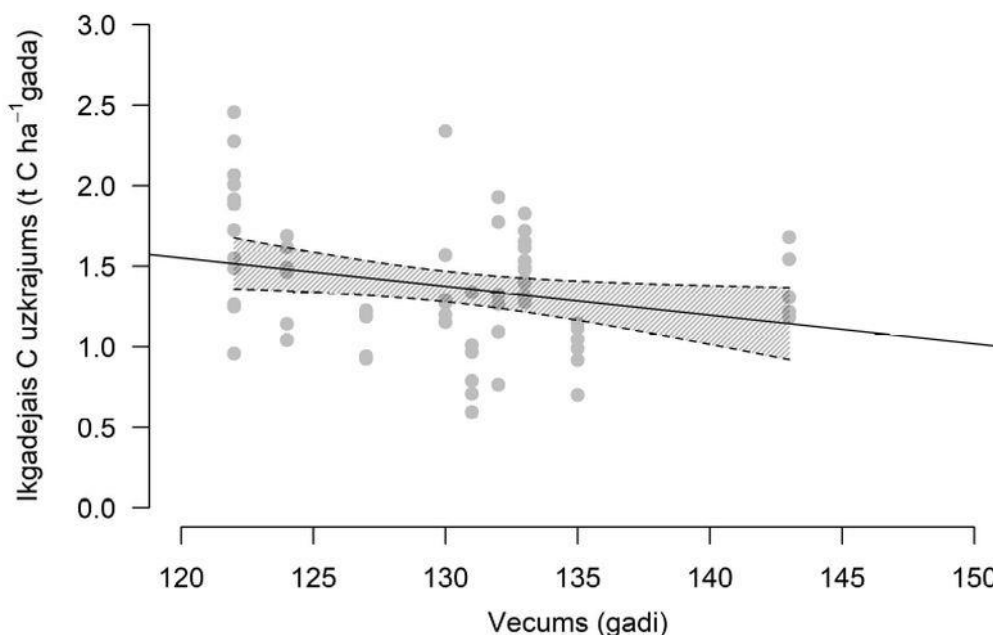
Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Atmirušās koksnes lielākā grupa ir kritalas, kas veido $6,3 \pm 0,7 \text{ t C ha}^{-1}$, otru lielāko C uzkrājumu veido sausokņi ($2,1 \pm 0,6 \text{ t C ha}^{-1}$), bet trešo lielāko sastāda stumbeņi ($1,3 \pm 0,2 \text{ t C ha}^{-1}$) (att. 8.3). Kritalās uzkrātais C apjoms veido 65%, sausokņos 22%, bet stumbeņos 13% no kopējā C uzkrājuma atmirušajā koksnē. Oglekļa uzkrājuma atšķirības ir statistiski būtiskas ($p < 0,001$) starp visām atmirušās koksnes frakcijām.



Attēls 8.3. Vidējais C uzkrājums dažādās atmirušās koksnes frakcijās ($\pm 95\%$ ticamības intervāls)

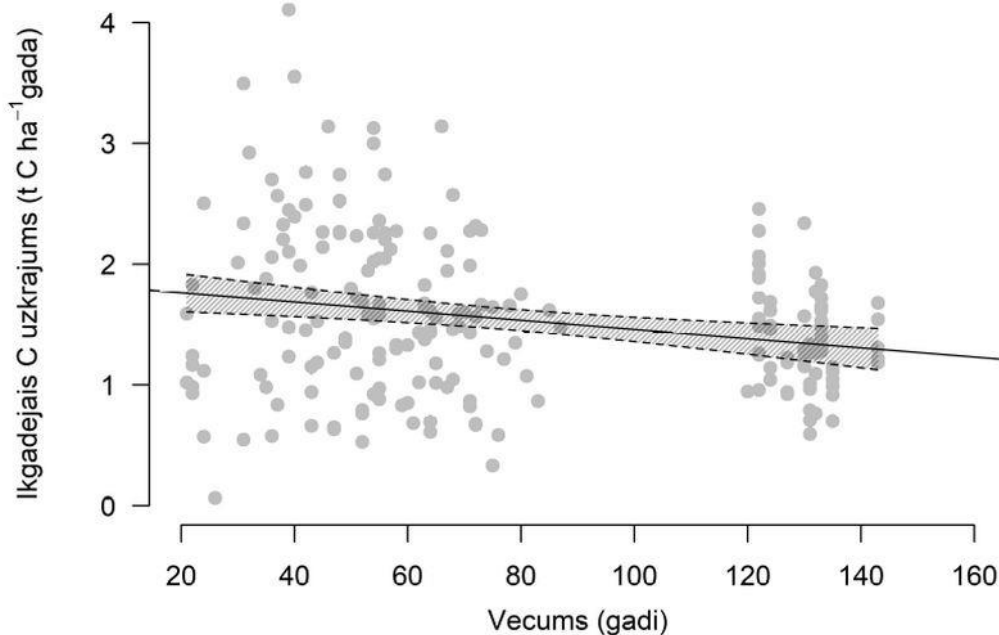
Lai raksturotu C uzkrājuma dinamiku un izmaiņas laikā, aprēķināts ikgadējais C uzkrājums dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksnē. Pieaugot mežaudzes vecumam, novērojams, ka ikgadējais C uzkrājums samazinās (att. 8.4). Vidējais ikgadējais C uzkrājums vecās melnalkšņu audzēs šaurlapu kūdrenī sastāda $1,4 \pm 0,08 \text{ t C ha}^{-1}$ gadā.



Attēls 8.4. Ikgadējais C uzkrājums biomasā un atmirušajā koksne atkarībā no audzes vecuma (pelēkais iekrāsojums apzīmē $\pm 95\%$ ticamības intervālu)

Lai iegūtu ieskatu par oglekļa uzkrājuma atšķirībām vecās melnalkšņu audzēs, salīdzināšanai izmantoti MRM dati par jaunākām audzēm organiskajās augsnēs. Atlasīto MRM audžu vidējais vecums ir 53 ± 3 gadi. Kopējais C uzkrājums vecās audzēs ir būtiski ($p < 0,001$) lielāks nekā jaunākās audzēs ($84,9 \pm 6,7$ t C ha⁻¹). Rezultāti liecina par būtiski ($p < 0,001$) mazāku atmirušās koksnes C daudzumu jaunākās mežaudzēs ($5,3 \pm 1,1$ t C ha⁻¹) salīdzinājumā ar vecām. Oglekļa uzkrājums dažādās koka frakcijās proporcionāli neatšķiras no vecām audzēm. Jaunākās audzēs virszemes biomasā (stumbrs zari) uzkrātais C apjoms veido 74%, pazemes biomasā sastāda 20%, bet atmirusī koksne veido 6%, no vidējā uzkrātā C apjoma.

Pētījumā konstatēts, ka ikgadējais C uzkrājums samazinās, pieaugot audzes vecumam (att. 8.5.), turklāt vecuma ietekme ir statistiski būtiska ($p < 0,05$). Salīdzinot ikgadējo C uzkrājumu vecās audzēs ar jaunākām audzēm, novērotas būtiskas ($p < 0,05$) atšķirības. Jaunākās audzēs ikgadējais C uzkrājums ir būtiski lielāks ($1,6 \pm 0,1$ t C ha⁻¹ gadā).



Attēls 8.5. Ikgadējais C uzkrājums biomasā un atmirušajā koksnē atkarībā no audzes vecuma (pelēkais iekrāsojums apzīmē ± 95% ticamības intervālu)

Kopā līdz šim ievākti visi paredzētie paraugi (26) no veco bērzu audzēm ar organiskām augsnēm (tab. 8.2.), kā arī šī gada darbu plāna izpilde norit pēc grafika un norisinās paraugu ievākšana veco melnalkšņu audzēs ar organiskām augsnēm, no kuriem daļa jau ir nogādāti LVMI Silava Meža vides laboratorijā, tālākai apstrādei saskaņā ar meža augšņu monitoringā izmantojamo metodiku (att. 8.6.).

Tabula 8.2. Sākotnējie rezultāti no iepriekšējā etapā ievāktiem augsnes paraugiem vecās bērzu audzēs

NPK	Koka suga	Atrašanās vieta (kv.apg_kv_nog)	Meža tips	Vecums	C uzkrājums augsnē, t C ha ⁻¹
1	Bērzs	102_11_8	Ks	123	533,0
2	Bērzs	102_138_12	Kp	138	460,0
3	Bērzs	102_386_3	Nd	133	457,7
4	Bērzs	104_118_8	Ks	118	412,5
5	Bērzs	105_156_33	Kp	133	517,1
6	Bērzs	105_169_6	Kp	133	485,6
7	Bērzs	106_62_9	Nd	142	260,7
8	Bērzs	107_367_1	Ks	121	488,9
9	Bērzs	107_455_12	Ks	121	366,1
10	Bērzs	111_284_1	Kp	132	339,8
11	Bērzs	207_26_12	Nd	128	445,5
12	Bērzs	303_41_8	Kp	117	304,4

NPK	Koka suga	Atrašanās vieta (kv.apg_kv_nog)	Meža tips	Vecums	C uzkrājums augsnē, t C ha ⁻¹
13	Bērzs	408_505_13	Nd	124	219,7
14	Bērzs	409_125_19	Ks	124	373,5
15	Bērzs	409_432_5	Ks	119	275,7
16	Bērzs	409_661_3	Nd	124	356,1
17	Bērzs	411_301_5	Nd	164	474,5
18	Bērzs	411_365_20	Nd	164	511,4
19	Bērzs	503_473_7	Nd	120	476,5
20	Bērzs	511_1_9	Nd	122	374,7
21	Bērzs	701_197_42	Nd	120	469,5
22	Bērzs	701_471_7	Ks	140	367,1
23	Bērzs	709_152_8	Nd	120	424,1
24	Bērzs	712_109_9	Ks	138	355,4
25	Bērzs	713_322_3	Nd	130	518,6
26	Bērzs	714_269_2	Nd	148	536,4



Attēls 8.6. Augsnes paraugu ievākšanas process

8.1.2. Sākotnējie secinājumi un rekomendācijas

Kopējais oglekļa uzkrājums vecās mežaudzēs palielinās, pieaugot audžu vecumam, taču palielinās arī dabisko traucējumu risks, kas var būtiski ietekmēt C uzkrājumu. No klimata pārmaiņu

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

mazināšanas mērķu skatpunkta vecas mežaudzes nav efektīvākais oglekļa piesaistes avots, jo jaunākas audzes ir noturīgākas pret dabiskajiem traucējumiem un spēj efektīvāk piesaistīt oglekli dzīvo koku biomasā.

Ikgadējais C uzkrājums jaunākās melnalkšņu audzēs ar organiskām augsnēm vidēji ir $1,6 \text{ t C ha}^{-1}$ gadā, un ir par 16% lielāks nekā vecās melnalkšņu audzēs ($1,4 \text{ t C ha}^{-1}$ gadā). No klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu skatpunkta platību izslēgšana no saimnieciskās darbības un vecu mežu platības palielināšanās pieļaujama platībās ar zemu ikgadējo C piesaistes spēju.

Nepieciešama pētījuma turpināšana, lai izvērtētu, vai ir izteiktas atšķirības C uzkrājumā vecās melnalkšņu audzēs ar meliorētām (Ks) un nemeliorētām (Dumbrājā – Db) organiskām augsnēm.

9. PRIEKŠLIKUMI 2024. GADA PĒTNIECISKAJIEM UZDEVUMIEM

9.1. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana

9.1.1. Metodikas izstrādāšana koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai Latvijas teritorijā un oglekļa uzkrājuma dinamikas modelēšanai, izmantojot attālās izpētes datus un mašīnmācības metodes

Darba nolūks: mežaudžu augstuma, oglekļa daudzuma un sugu sastāva dinamikas modelēšana Latvijas teritorijai.

Kamerālie darbi:

- dominējošo koku sugu izplatības kartes izveidošana valsts teritorijai, izmantojot 2023. gadā izstrādāto un aprobēto metodiku;
- biomasas un oglekļa uzkrājuma aprēķins sugu griezumā, izmantojot 2022. gadā un 2023. gadā izmantoto un aprobēto metodiku;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- koku sugu izplatības, biomasas un oglekļa uzkrājuma kartogrāfiskais materiāls; zinātniska publikācija par pētījuma rezultātiem.

9.1.2. Metodikas koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai integrēšana SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā

Darba nolūks: zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas raksturošanas metodikas pilnveidošana un zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas kartogrāfiskā materiāla sagatavošana valsts teritorijai.

Kamerālie darbi:

- darbību datu kopu sagatavošana 2023. gadā izstrādātā mašīnmācības modeļa apmācīšanai;
- zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas metodikas aprobācija, kartogrāfiskā materiāla sagatavošana zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas raksturošanai valsts teritorijai;
- nenoteiktības novērtēšana, izmantojot MRM datus;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- metodika zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas raksturošanai;
- zemes izmantošanas un zemes izmantošanas maiņas kartogrāfiskais materiāls;
- priekšlikumi metodikas iekļaušanai SEG inventarizācijas uzlabojumu plānā;
- pārskata dokumentācija.

9.2. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana

9.2.1. Izstrādāt metodi un novērtēt trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu dzīvajā

biomasā LVM apsaimniekotajos mežos

Darba nolūks: trupes izplatības un sastopamības raksturošana egles un priedes audzēs. Ievāko koksnes paraugu analīzes laboratorijā. Stumbra trupes ietekmes uz dzīvu koku biomasu analīze.

Lauka darbi:

- trupes izplatības un sastopamības datu un trupes paraugu ievākšana egles un priedes audzēs, izmantojot lapu koku audzēs aprobēto metodiku (60 paraugkoki);

Kamerālie darbi:

- trupes ietekmētā laukuma noteikšana, analizējot koku šķērsriezuma ripas;
- koksnes blīvuma un C un N satura analīzes koksnes paraugos;
- trupes ietekmes uz dzīvo koku biomasu analīze;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- mērījumu un analīžu rezultātu kopsavilkums;
- trupes ietekmes uz priedes un egles biomasu sākotnējie rezultāti;
- pārskata dokumentācija.

9.2.2. Izstrādāt oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes trupes ietekmē pie dažādiem meža apsaimniekošanas scenārijiem

Darba nolūks: SEG inventarizācijas un prognožu modelēšanas instrumentu sagatavošana trupes ietekmes uz oglekļa apriti vienādojumu ieviešanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijā.

Kamerālie darbi:

- Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā un prognožu ziņojumos izmantojamo biomasas vienādojumu pilnveidošana, iekļaujot tajos oglekļa zudumu trupes ietekmē novērtējumu;
- priekšlikumu sagatavošana izstrādāto vienādojumu iekļaušanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā un prognožu aprēķinos;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- pilnveidota metodika koku biomasas aprēķiniem Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā un prognožu ziņojumos;
- pārskata dokumentācija.

9.2.3. Novērtēt trupes ierobežošanas pasākumu ietekmi uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti meža zemēs

Darba nolūks: prognozējamās ietekmes uz SEG emisijām sākotnējais novērtējums pētījumā identificētajiem trupes ierobežošanas pasākumiem.

Kamerālie darbi:

- vienādojumu pilnveidošana trupes ietekmes uz kokmateriālu ar ilgu kalpošanas termiņu iznākumu un ietekmi uz SEG emisijām novērtēšanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumos;
- vienādojumu pilnveidošana koku sugu nomaīņas trupes bojātās audzēs ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumos;
- jaunākās zinātniskās literatūras analīze par darbībām, kas vērstas uz trupes ierobežošanu un to ietekmes prognozēšanu;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- vienādojumi mežizstrādes vecuma un sugu sastāva ietekmes uz SEG emisijām prognozēšanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumos;
- jaunākās literatūras apskats par darbībām, kas vērstas uz trapes ierobežošanu un to ietekmes prognozēšanu;
- pārskata dokumentācija.

9.3. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā

9.3.1. Esošo modeļteritoriju un pētījumu apzināšana un ietekmes uz oglekļa uzkrājumu un SEG emisijām apzināšana

Darba nolūks: lauksaimniecības zemju apmežojumos, selekcijas efekta un kopšanas ciršu parauglaukumos iegūto datu integrēšana AGM un Yasso modeļos ietekmes uz oglekļa aprīti modelēšanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumos.

Kamerālie darbi:

- metodikas pilnveidošana jaunaudzū kopšanas ciršu īstermiņa ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai un rekomendāciju sagatavošana šī pasākuma īstenošanai nacionālo klimata instrumentu ietvaros maksimāla klimata pārmaiņu mazināšanas efekta nodrošināšanai;
- metodikas pilnveidošana lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekmes uz SEG emisijām prognozēšanai, tajā skaitā augsnes oglekļa krātuvē;
- metodikas pilnveidošana mērķtiecīgas meža atjaunošanas ar selekcionētu stādmateriālu ietekmes uz SEG emisijām prognozēšanai;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- vienādojumi jaunaudzū kopšanas ciršu, lauksaimniecības zemju apmežošanas un mērķtiecīgas meža atjaunošanas ietekmes uz SEG emisijām prognozēšanai;
- pārskata dokumentācija.

9.3.2. Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai

Darba nolūks: jaunu gāzu apmaiņas uzskaites objektu ierīkošana pakāpenisko ciršu ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai un mežizstrādes īstermiņa ietekmes uz SEG emisijām no augsnes slapjainos un purvainos un platībās ar kūdras augsnēm, kur veikta augsnes sagatavošana ar ekskavatoru.

Lauka darbi:

- izmēģinājumu objektu ierīkošana priedes un egles audzēs, kur mežizstrāde veikta ar pakāpeniskās cirtes paņēmienu (2 audzes) un 2 kontroles platībās;
- gāzu apmaiņas datu un vides parametru iegūšana platībās, kur veikta pakāpeniskā cirte, un kontroles platībās;
- gāzu apmaiņas datu un vides parametru iegūšana iepriekš ierīkotajos izpētes objektos, kur augsnes sagatavošana veikta ar ekskavatoru;
- gāzu apmaiņas datu un vides parametru iegūšana izcirtumos slapjainos un purvainos.

Kamerālie darbi:

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumu sākotnējā analīze;

- zinātniskās publikācijas sagatavošana par mežizstrādes īstermiņa ietekmi uz SEG emisijām no augsnes slapjainos un purvainos un priekšlikumu sagatavošana darbību datu ieguvei mežizstrādes radīto SEG emisiju raksturošanai;
- vienādojumu sagatavošana augsnes sagatavošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai, balstoties uz pētījumā iegūtajiem datiem un priekšlikumu sagatavošana darbību datu ieguvei un prognožu precizitātes uzlabošanai;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumu kopsavilkums;
- zinātniskas publikācijas manuskripts par mežizstrādes īstermiņa ietekmi uz SEG emisijām no organiskām un pārmitrām augsnēm;
- priekšlikumi darbību datu ieguvei mežizstrādes un augsnes sagatavošanas ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai;
- vienādojumi augsnes sagatavošanas īstermiņa ietekmes uz SEG emisijām no organiskām augsnēm raksturošanai;
- pārskata dokumentācija.

9.3.3. Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību kataloga mežsaimniecībai izstrādāšana

Nolūks: klimata izmaiņu darbību kataloga papildināšana ar darbībām un to ietekmes pamatojumu.

Kamerālie darbi:

- pētījumā iegūto atziņu ietveršana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību ietekmes aprēķinos;
- literatūras analīze un klimata pārmaiņu mazināšanas darbību ietekmes novērtējuma pilnveidošana atbilstoši Latvijā validētiem pētījumu rezultātiem;
- izmaksu un ieņēmumu prognožu pilnveidošana atbilstoši Centrālā statistikas biroja un citiem publiski pieejamiem datiem;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- aktualizēts klimata pārmaiņu mazināšanas darbību katalogs (pieejams elektroniski LVMI Silava mājaslapā);
- pārskata dokumentācija.

9.4. Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti izpēte

9.4.1. Eksperimentālo stādījumu ierīkošana un esošo apmežojumu apzināšana meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti demonstrēšanai minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs

Darba nolūks: empīrisku datu ieguve meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti demonstrēšanai platībās ar organiskajām augsnēm.

Lauka darbi:

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumi apmežotā platībā kūdras slāņa biezuma ietekmes raksturošanai;

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumi pārslapinātās un apmežotās pļavās (2 objekti) ietekmes uz emisijām no augsnes prognozēšanai;
- izpētes objekta ierīkošana meža ieaudzēšanas (koku sugas un stādīšanas biežums) ietekmes uz dažādām oglekļa krātuvēm raksturošanai (1 objekts).

Kamerālie darbi:

- publikācijas sagatavošana par apmežotu pļavu pārslapināšanas īstermiņa ietekmi uz SEG emisijām no augsnes;
- gāzu apmaiņas mērījumu rezultātu apkopošana un sākotnējo rezultātu analīze;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- zinātniskas publikācijas sagatavošana par apmežotu pļavu pārslapināšanas īstermiņa ietekmi uz SEG emisijām no augsnes;
- gāzu apmaiņas mērījumu rezultātu apkopojums un sākotnējā analīze;
- pārskata dokumentācija.

9.4.2. Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskam augsnēm un minerālaugsnēm

Darba nolūks: ilgtermiņa izpētes objektu ierīkošana un empīrisko datu ieguve kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti demonstrēšanai.

Lauka darbi:

- pētījuma ietvaros ierīkoto kokaugu stādījumu izaugšanās un augšanas gaitas novērtējums;
- izpētes objekta ierīkošana kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai minerālaugsnēs sadarbībā ar Mežu pētīšanas staciju (1 objekts).

Kamerālie darbi:

- 2021.-2023. gados iegūto gāzu apmaiņas mērījumu rezultātu apkopošana un rezultātu analīze;
- kokaugu stādījumu izaugšanās un augšanas gaitas sākotnējais novērtējums;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- gāzu apmaiņas un kokaugu stādījumu ierīkošanas rezultātu apkopojums un sākotnējā analīze;

pārskata dokumentācija.

9.4.3. Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām

Darba nolūks: sabiedrības informēšana par meža ieaudzēšanas un citu pārmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmi uz SEG emisijām.

Lauka darbi:

- video materiālu sagatavošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību raksturošanai.

Kamerālie darbi:

- informatīvu materiālu sagatavošana sabiedrības informēšanai.

Nodevumi:

- populārzinātnisks raksts, LVMI Silava Youtube vietnē publicēts video par klimata pārmaiņu mazināšanas darbībām mežsaimniecībā, LVMI Silava Youtube vietnē publicēts raidieraksts par kokaugu stādījumiem nemeža zemēs.

9.4.4. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu

mazināšanai

Darba nolūks: kokmateriālu iznākuma sadalījuma prognozēšanas algoritmu pilnveidošana koksnes produktu iznākuma prognožu pilnveidošanai Latvijas nacionālajā SEG inventarizācijas ziņojumā.

Kamerālie darbi:

- 2023. gadā izstrādātās metodes pilnveidošana precizitātes uzlabošanai un aprobēšana nacionālajā SEG prognožu sistēmā;
- priekšlikumu sagatavošana izstrādātās metodes iekļaušanai nacionālajā SEG prognožu sistēmā;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- priekšlikumi izstrādātās metodes iekļaušanai nacionālajā SEG prognožu sistēmā un darbību datu uzlabošanai;
- pārskata dokumentācija.

9.4.5. Mežizstrādes metožu ietekmes uz SEG emisijām ietekmes novērtēšana modelēšana

Darba nolūks: mežizstrādes ietekmes uz SEG emisijām mazināšanas pasākumu identificēšana un ietekmes novērtēšana metožu izstrādāšana.

Lauka darbi:

- gāzu apmaiņas mērījumi iepriekš ierīkotajos izpētes objektos platībās ar kūdras augsnēm, lai raksturotu risu ietekmi uz SEG emisijām;
- risu dziļuma un izplatības kontrolmērījumi uz lauka.

Kamerālie darbi:

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumu rezultātu analīze un sākotnējais vērtējums;
- risu uzskaites un raksturošanas metodes pilnveidošana un validācija, izmantojot lauka mērījumus;
- priekšlikumu sagatavošana risu ietekmes uz SEG emisijām darbību datu ieguvei ražošanas apstākļos;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumu rezultātu kopsavilkums un sākotnējā analīze;
- zinātniskas publikācijas par risu ietekmi uz SEG emisijām no organiskām augsnēm;
- priekšlikumi darbību datu ieguvei risu ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai;
- pārskata dokumentācija.

9.5. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma

9.5.1. Empīrisku datu ieguve un metodikas izstrādāšana meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām no augsnes un CO₂ piesaisti modelēšanai minerālaugsnēs un organiskās augsnēs

Darba nolūks: metodikas un darbību datu pilnveidošana meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām no augsnes un CO₂ piesaisti prognozēšanai pārmitrās minerālaugsnēs un organiskās augsnēs.

Lauka darbi:

- ietekmes uz SEG emisijām no augsnes novērojumi purvaiņos, kur pēc galvenās cirtes veikta augsnes sagatavošana ar ekskavatoru un ierīkotas dziļvagas ūdens novadīšanai (2 objekti).

Kamerālie darbi:

- sākotnējā purvaiņos iegūto gāzu apmaiņas mērījumu rezultātu analīze;
- zinātniskas publikācijas manuskripta sagatavošana par meliorācijas ietekmi uz SEG emisijām no augsnes āreņos un slapjajiem;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- gāzu apmaiņas un vides parametru mērījumu rezultātu kopsavilkums un sākotnējā analīze;
- zinātniskas publikācijas par risu ietekmi uz SEG emisijām no pārmitrām un meliorētām minerālaugsnēm;
- pārskata dokumentācija.

9.5.2. Lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu uzturēšanai un modernizēšanai

Darba nolūks: eksperimentālu objektu atlase izstrādāto meliorācijas sistēmu optimizācijas risinājumu aprobēšanai MPS apsaimniekotajos mežos.

Lauka darbi:

- izpētes objektu atlase un raksturošana.

Kamerālie darbi:

- iepriekšējā etapā izstrādātās metodes aprobēšana izpētes objektos;
- priekšlikumu sagatavošana mitruma režīma uzlabošanai;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- izpētes objektu saraksts un raksturojums;
- pārskata dokumentācija.

9.5.3. Izstrādāt modelēšanas instrumentus Hg, SEG emisiju un biogēno elementu izneses aprēķiniem

Darba nolūks: 2023. gadā izstrādātā DOC emisiju modelēšanas rīka kalibrēšana un validācija, izmantojot LIFE OrgBalt un citos pētījumos iegūtus gruntsūdens līmeņa un DOC satura ūdenī datus.

Kamerālie darbi:

- evapotranspirācijas un citu darbību datu pielietošanas iespēju izpēte ūdens noteces un netiešo SEG emisiju novērtēšanai;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- zinātniskas publikācijas manuskripts par netiešajām SEG emisijām no organiskām augsnēm;
- priekšlikumi nacionālajā SEG inventarizācijas sistēmā pielietojamās metodes netiešo SEG emisiju aprēķiniem pilnveidošanai;
- pārskata dokumentācija.

9.6. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs

9.6.1. Empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un

SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos

Darba nolūks: iegūt empīriskos datus un izstrādāt vienādojumus oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos.

Lauka darbi:

- parauglaukumu ierīkošana un uzmērīšana purvaiņos un kūdreņos saskaņā ar pētījuma 1. etapā aprakstīto un aprobētu metodiku;
- augsnes un zemsegas paraugu ievākšana un laboratorijas analīzes oglekļa aprites raksturošanai.

Kamerālie darbi:

- parauglaukumu uzmērījumu datu apkopošana un analīze un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites raksturošanai lapu koku audzēs;
- augsnes analīzes (blīvums, slāpekļis, ogleklis);
- zinātniskas publikācijas par oglekļa bilanci sagatavošana;
- pārskata dokumentācijas sagatavošana.

Nodevumi:

- vienādojumi oglekļa aprites raksturošanai lapu koku audzēs;
- zinātniskas publikācijas par oglekļa bilanci manuskripts;
- pārskata dokumentācija.

LITERATŪRA

- 1) Allen, R. G. (Red.). (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 2) AS "Latvijas valsts meži". (2010). *Sortimentu iznākums galvenajā un krājas kopšanas cirtē (Output of different assortments in thinning and regenerative felling)*.
- 3) AS Latvijas valsts meži. (2022). *Apažo kokmateriālu kvalitātes apraksts*.
https://www.lvm.lv/images/lvm/koksnes_produkti/aktualitates_un_piedavajumi/2021/2021_10_04_istermina_vsn/3_pielikums_apalo_kokmaterialu_kvalitates_apraksts.pdf
- 4) Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- 5) Buendia, C., Tanabe, E., Kranje, K., Baasansuren, A., Fukuda, J., Ngarize, M., Osako, S., Shermanau, Y., & Federici, S. (Red.). (2019). Agriculture, Forestry and Other Land Use. No 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Sēj. 4). Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- 6) Butlers, A., Lazdiņš, A., Kalēja, S., & Bārdule, A. (2022). Carbon Budget of Undrained and Drained Nutrient-Rich Organic Forest Soil. *Forests*, 13(11), 1790. <https://doi.org/10.3390/f13111790>
- 7) Butlers, A., Lazdiņš, A., Kalēja, S., Purviņa, D., Spalva, G., Saule, G., & Bārdule, A. (2023). CH₄ and N₂O Emissions of Undrained and Drained Nutrient-Rich Organic Forest Soil. *Forests*, 14(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/f14071390>
- 8) Chomycia, J. C., Hernes, P. J., Harter, T., & Bergamaschi, B. A. (2008). Land Management Impacts on Dairy-Derived Dissolved Organic Carbon in Ground Water. *Journal of Environmental Quality*, 37(2), 333–343. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0183>
- 9) Condon, L. E., Atchley, A. L., & Maxwell, R. M. (2020). Evapotranspiration depletes groundwater under warming over the contiguous United States. *Nature Communications*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14688-0>
- 10) Doble, R. C., & Crosbie, R. S. (2017). Review: Current and emerging methods for catchment-scale modelling of recharge and evapotranspiration from shallow groundwater. *Hydrogeology Journal*, 25(1), 3–23. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1470-3>
- 11) Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Kiyoto, T. (Red.). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. No 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Sēj. 4, lpp. 678). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- 12) Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanade, K. (Red.). (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories Volume 2 Energy*. The Institute for Global Environmental Strategies.
- 13) Hauck, M., Csapek, G., & Dulamsuren, C. (2023). The significance of large old trees and tree cavities for forest carbon estimates. *Forest Ecology and Management*, 546, 121319. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121319>
- 14) Heineman, K. D., Russo, S. E., Baillie, I. C., Mamit, J. D., Chai, P. P.-K., Chai, L., Hindley, E. W., Lau, B.-T., Tan, S., & Ashton, P. S. (2015). Evaluation of stem rot in 339 Bornean tree species: Implications of size, taxonomy, and soil-related variation for aboveground biomass estimates. *Biogeosciences*, 12(19), 5735–5751. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5735-2015>
- 15) Heräjärvi, H. (2007). Variation of basic density and brinell hardness within mature Finnish *Betula pendula* and *B. Pubescens* stems. *Wood and Fiber Science*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Variation-of-basic-density-and-brinell-hardness-and->

- Her% C3% A4j% C3% A4rvi/9306b2d2affba27fee0f121df3d42ca7d7855475
- 16) Heräjärvi, H., & Junkkonen, R. (2006). Wood density and growth rate of European and hybrid aspen in Southern Finland. *Baltic Forestry*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Wood-density-and-growth-rate-of-European-and-hybrid-Her% C3% A4j% C3% A4rvi-Junkkonen/0589ffd581abf60c178498a05141c7e56d506d04>
 - 17) Hynynen, J., Niemisto, P., Vihera-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S., & Velling, P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, 83(1), 103–119. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp035>
 - 18) Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Fukuda, M., Troxler, T., & Jamsranjav, B. (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (lpp. 354). IPCC. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf
 - 19) Ivanovs, J., & Lupikis, A. (2018). Identification of wet areas in forest using remote sensing data. *Agronomy Research*, 16(5), 2049–2055. Scopus. <https://doi.org/10.15159/AR.18.192>
 - 20) Ivanovs, J., Sietina, I., & Spalva, G. (2017). Identification of wet areas in forest by using LiDAR based DEM. *RURAL DEVELOPMENT*, 611–615. <https://doi.org/10.15544/RD.2017.094>
 - 21) Jyske, T., Mäkinen, H., & Saranpää, P. (2008). Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica*, 42(3). <https://doi.org/10.14214/sf.248>
 - 22) Johansson, T., Hjältén, J., de Jong, J., & von Stedingk, H. (2013). Environmental considerations from legislation and certification in managed forest stands: A review of their importance for biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 303, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.012>
 - 23) Kärki, T., Maltamo, M., & Eerikäinen, K. (2000). Diameter distribution, stem volume and stem quality models for grey alder (*Alnus incana*) in eastern Finland. *New Forests*, 20(1), 65–86. <https://doi.org/10.1023/A:1006793616781>
 - 24) Krēsliņa, V., Lazdiņa, D., & Brumelis, G. (2020). *Ecosystem Services in Short Rotation Coppice Forestry on Former Arable Land* [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127661/v1>
 - 25) Kuhn, M. (2008). Building Predictive Models in R Using the **caret** Package. *Journal of Statistical Software*, 28(5). <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>
 - 26) Laganière, J., Angers, D. A., & Paré, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(1), 439–453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x>
 - 27) Lazdiņa, D., Neimane, S., & Celma, S. (2019). Afforestation demo site. No A. Priede & A. Gancone (Red.), *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas* (lpp. 208–220). Baltijas Krasti.
 - 28) Lazdiņš, A., & Lupiķis, A. (2019). LIFE REstore project contribution to the greenhouse gas emission accounts in Latvia. No A. Priede & A. Gancone (Red.), *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas* (lpp. 21–52). Baltijas Krasti.
 - 29) Liaw, A., & Wiener, M. (2022). *RandomForest package—RDocumentation*. <https://www.rdocumentation.org/packages/randomForest/versions/4.7-1.1>
 - 30) Liepins, K., & Rieksts-Riekstins, J. (2013). Stemwood Density of Juvenile Silver Birch Trees (*Betula pendula* Roth) from Plantations on Former Farmlands. *Baltic forestry*, 19, 179–186.
 - 31) Liepiņš, J., Lazdiņš, A., Kalēja, S., & Liepiņš, K. (2022). Species composition affects the accuracy of stand-level biomass models in hemiboreal forests. *Land*, 11(1108), 1–14. <https://doi.org/10.3390/land11071108>
 - 32) Liepiņš, J., & Liepiņš, K. (2015). Evaluation of bark volume of four tree species in Latvia. *Annual 21st International Scientific Conference: "Research for Rural Development"*, 2, 22–28.
 - 33) Lundgren, L. N., Pan, H., Theander, O., Eriksson, H., Johansson, U., & Svenningsson, M. (1995).

- Development of a new chemical method for distinguishing between *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(7), 1097–1102.
<https://doi.org/10.1139/x95-121>
- 34) Lupiķis, A. (2019). Results of GHG emission measurements in differently managed peatlands in Latvia – the basis for new national GHG emission factors. *Sustainable and responsible management and re-use of degraded peatlands in Latvia*, 24–26.
- 35) LVMI Silava. (2023a). *Latvijas zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektora klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu sasniegšanai īstenojamo darbību siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanai un oglekļa dioksīda (CO₂) piesaistes veicināšanai meža apsaimniekošanā sociāli ekonomiskais vērtējums* (23-00-S0INZ03-000002; lpp. 103).
- 36) LVMI Silava. (2023b). *Zemes izmantošanas un zemes izmantošanas veida ietekmes uz SEG emisijām un oglekļa uzkrājumu raksturojums* (T02; CO₂ piesaistes un SEG emisiju mazināšanas pasākumi meža apsaimniekošanā un ietekmes novērtēšanas sistēma, lpp. 36).
- 37) Marra, R. E., Brazee, N. J., & Fraver, S. (2018). Estimating carbon loss due to internal decay in living trees using tomography: Implications for forest carbon budgets. *Environmental Research Letters*, 13(10), 105004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae2bf>
- 38) Melniks, R., Ivanovs, J., Lazdins, A., & Makovskis, K. (2022). Mapping drainage ditches in agricultural landscapes using LiDAR data [PDF]. *Agronomy Research*, 20(2), 318–325.
<https://doi.org/10.15159/AR.22.012>
- 39) Orozco-Aguilar, L., Johnstone, D., Livesley, S. J., & Brack, C. (2018). The overlooked carbon loss due to decayed wood in urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 142–153.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.008>
- 40) Petaja, G., Bārdule, A., Zalmanis, J., Lazdiņa, D., Daugaviete, M., Skranda, I., Zvaigzne, Z. A., & Purviņa, D. (2023). Changes in Organic Carbon Stock in Soil and Whole Tree Biomass in Afforested Areas in Latvia. *Plants*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/plants12122264>
- 41) Petersen, S. O., Hoffmann, C. C., Schäfer, C.-M., Blicher-Mathiesen, G., Elsgaard, L., Kristensen, K., Larsen, S. E., Torp, S. B., & Greve, M. H. (2012). Annual emissions of CH₄; and N₂O, and ecosystem respiration, from eight organic soils in Western Denmark managed by agriculture. *Biogeosciences*, 9(1), 403–422. <https://doi.org/10.5194/bg-9-403-2012>
- 42) R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- 43) Reynolds, B. (2007). Implications of changing from grazed or semi-natural vegetation to forestry for carbon stores and fluxes in upland organo-mineral soils in the UK. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), 61–76. <https://doi.org/10.5194/hess-11-61-2007>
- 44) Rose-Marie, R. (2012). The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 36(0), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.012>
- 45) Rüter, S. (2011). *Projection of Net-Emissions from Harvested Wood Products in European Countries* (Work Report No. 2011/x of the Institute of Wood Technology and Wood Biology; lpp. 62). Johann Heinrich von Thünen-Institute (vTI).
- 46) Shigo, A. L., & Hillis, W. E. (1973). Heartwood, Discolored Wood, and Microorganisms in Living Trees. *Annual Review of Phytopathology*, 11(1), 197–222.
<https://doi.org/10.1146/annurev.py.11.090173.001213>
- 47) Simic, A., Fernandes, R. A., & Wang, S. (2014). *Assessing the Impact of Leaf Area Index on Evapotranspiration and Groundwater Recharge across a Shallow Water Region for Diverse Land Cover and Soil Properties*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:134514887>
- 48) Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B.,

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009). *Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum* (Versija 5, lpp. 2047488 bytes) [dataset]. Dryad.
<https://doi.org/10.5061/DRYAD.234>

- 49) Zupanc, A. (2017, decembrī 19). Improving Cloud Detection with Machine Learning. *Sentinel Hub Blog*. <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13>

Pielikums 1: SEG emisiju aprēķinu metodika

PAMATPIEŅĒMUMI

Metodika veidota par pamatu izmantojot izpētes projektā “CO₂ piesaistes un SEG emisiju mazināšanas pasākumi meža apsaimniekošanā un ietekmes novērtēšanas sistēma” izstrādāto metodi SEG emisiju aprēķiniem, īstenojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumus (LVMI Silava, 2023b). Aprēķins veidots kā scenāriju salīdzinājums, raksturojot oglekļa apriti un SEG emisijas no augsnes vienas audzes līmenī. Aprēķins veikts uz 1 ha. Būtiskākā atšķirība no iepriekš izstrādātā modeļa ir atbilstoši jaunāko pētījumu rezultātiem aktualizēti SEG emisiju faktori un pārstrādāti oglekļa ieneses vienādojumi, kas ļauj objektīvāk novērtēt apmežošanas ietekmi uz oglekļa ienese ar zemsedzes augu biomasu.

Ekstrapolējot aprēķinu rezultātus uz īpašuma līmeni, jāņem vērā dabisko traucējumu risks (piemēram, ieaudzēto mežaudžu bojāeja), samazinot piesaistes prognozi. Verra oglekļa vienību sertifikācijas platformā pieņemts, ka šis risks atbilst 10% no sagaidāmās piesaistes.

Koksnes produktu iznākuma prognozei izmanto pieņēmumus tab. 1, tajā skaitā zāģmateriālu [1] un plātņu koksnes [2] iznākums no zāģbaļķiem, kokapstrādes atlieku daudzums [3], kas pēc apstrādes transformējas par koksnes biokurināmo, kā saražoto apaļo kokmateriālu relatīvais īpatsvars, kā arī papīra ražošanas blakusprodukti, kas transformējas par koksnes biokurināmo [5], kā relatīvais saražotās papīrmalkas īpatsvars, un zudumi mežizstrādes atlieku sagatavošanā, kā relatīvais cirsmā palikušās vainaga biomasas īpatsvars [6]. Rādītāji [1], [2], [3], [4] un [6] atbilst vidējiem rādītājiem mežizstrādē, atbilstoši SEG inventarizācijas aprēķinu rezultātiem, salīdzinot uz vietas pārstrādāto vietējās izcelsmes kokmateriālu un saražoto koksnes produktu daudzumu iepriekšējos 5 gados. Pilnveidojot SEG prognožu sistēmu, statistiskos visām sugām vienādos rādītājus aizstāsim ar sugām specifiskiem koeficientiem, kas iegūti pētījuma ietvaros, kā arī kompleksākiem modelēšanas uzdevumiem izmantosim aprēķiniem vienādojumus, kas sasaista zāģējamo koku dimensijas un sugu, kokmateriālu veidu un koksnes produktu sadalījumu. Mizas īpatsvars novērtēts atbilstoši Liepiņš & Liepiņš (2015). Publikācijā dots mizas īpatsvars eglei, priedei, bērzam un apsei, atkarībā no koka caurmēra. Mēs iekļāvām aprēķinā vidējos rādītājus, pieņemot, ka tām sugām, kam mizas īpatsvara dati nav vērtēti šajā rakstā, tas atbilst bērza rādītājiem. Mizas īpatsvaram aprēķinā ir tikai informatīva nozīme, jo viss, kas nenonāk koksnes produktos, aprēķinā kļūst par biokurināmo. Aprēķinā nav vērtēta celmu biomasas sagatavošana biokurināmā ieguvei. Koeficienti ir sugu un cirtes veida specifiski. tab. 1 ievadītās vērtības ir ekspertu vērtējums. Mizas īpatsvars aprēķināts no apaļo kokmateriālu tilpuma. Mizas īpatsvara aprēķinā izmantots eksperta pieņēmums.

Tab. 1. Pieņēmumu koksnes produktu un mežizstrādes atlieku iznākuma raksturošanai

Valdošā suga	Cirtes veids	Zāģmateriālu iznākums no zāģbaļķiem	Plātņu koksnes iznākums no zāģbaļķiem	Kokapstrādes atlieku iznākums	Mizas īpatsvars	Papīra ražošanas blakusprodukti	Mežizstrādes atlieku zudumi
ID		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Egle	Kopšanas cirte	25%	25%	50%	11%	50%	50%
Priede		25%	25%	50%	11%	50%	50%
Bērzs		25%	25%	50%	11%	50%	50%

Valdošā suga	Cirtes veids	Zāgmateriālu iznākums no zāgbaļķiem	Plātņu koksnes iznākums no zāgbaļķiem	Kokapstrādes atlieku iznākums	Mizas īpatsvars	Papīra ražošanas blakusprodukti	Mežizstrādes atlieku zudumi
Papeles hibrīds		25%	25%	50%	11%	-	50%
Apse		25%	25%	50%	11%	50%	50%
Melnalksnis		25%	25%	50%	11%	-	50%
Citas sugas		25%	25%	50%	11%	-	50%
Egle	Galvenā cirte	25%	25%	50%	10%	50%	30%
Priede		25%	25%	50%	10%	50%	30%
Bērzs		25%	25%	50%	11%	50%	30%
Papeles hibrīds		25%	25%	50%	11%	-	30%
Apse		25%	25%	50%	10%	50%	30%
Melnalksnis		25%	25%	50%	11%	-	30%
Citas sugas		25%	25%	50%	11%	-	30%

Kokmateriālu iznākuma prognozes aprēķins nepieciešams, ja šos datus nesagatavo AGM rīks. Kokmateriālu iznākuma aprēķinu mērķis Koeficienti kokmateriālu veidu iznākuma prognozēšanai sagatavoti atbilstoši AS "Latvijas valsts meži" izstrādātajiem vienādojumiem, kuros ņemts vērā cirtes veids, valdošā koku suga un vidējā nozāģētā koka stumbra tilpums bez mizas (AS "Latvijas valsts meži", 2010). Aprēķinu koeficienti doti tab. 2.

Tab. 2. Koeficienti kokmateriālu veidu iznākuma aprēķināšanai

Cirtes veids	Suga	Sortiments	a	b	c	d
ID			[7]	[8]	[9]	[10]
Atjaunošanas cirte	Apse	12-17,9	0,0339	-0,1105	0,0659	0,0250
		Malka	-0,2724	1,1721	-1,4547	0,8198
		18-23,9	0,0626	-0,2308	0,2012	0,0076
		24<	0,1093	-0,5102	0,6688	-0,0511
		PM 7-49,9	0,0666	-0,3206	0,5188	0,1986

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Cirtes veids	Suga	Sortiments	a	b	c	d	
	Bērzs	12-17,9	0,0677	-0,2084	0,1458	-0,0080	
		Malka	-0,0477	0,1578	-0,1253	0,0598	
		FIA 18<	-0,0496	0,0916	0,0034	-0,0009	
		FIB 18<	0,2414	-1,1339	1,3990	-0,1136	
		PM 7-49,9	-0,2119	1,0927	-1,4229	1,0627	
	Melnalksnis	12-17,9	0,7819	-1,7200	0,9175	-0,0196	
		Malka	-0,9365	2,6240	-2,1950	1,1127	
		18-23,9	0,5889	-1,5957	1,1145	-0,0752	
		24<	-0,4343	0,6916	0,1630	-0,0179	
	Papeles hibrīds	12-17,9	0,6569	-1,4486	0,7090	0,0819	
		Malka	-1,2127	3,0268	-1,9295	0,9740	
		18-23,9	0,5558	-1,5782	1,2204	-0,0559	
	Priede	10-13,9	0,0542	-0,1287	0,0462	0,0351	
		14-17,9	0,2436	-0,6652	0,4115	0,0605	
		Malka	-0,5307	1,7369	-1,7533	0,5643	
		18-27,9	0,6905	-2,3510	2,1808	-0,1459	
		28<	-0,2041	0,5633	-0,0721	0,0015	
		A 28<	-0,0709	0,1384	0,0043	-0,0022	
		STABI 18<	0,0024	-0,0104	0,0113	-0,0022	
		Zemas kvalitātes zāģbaļķi 18<	0,0209	-0,0571	0,0919	0,0039	
		PM 7-49,9	-0,2060	0,7739	-0,9204	0,4850	
	Egle	10-13,9	0,2120	-0,0472	-0,2098	0,1186	
		14-17,9	1,9789	-2,5517	0,7940	0,0626	
		6-9,9	0,0627	-0,0360	-0,0214	0,0118	
		Malka	-0,1404	0,1497	-0,0500	0,0702	
		18-27,9	3,2228	-5,0622	2,4443	-0,0550	
		28<	-0,2904	0,1783	0,5099	-0,0321	
		Zemas kvalitātes zāģbaļķi 18<	-0,0763	-0,0077	0,1452	0,0033	
		PM 7-49,9	-4,9692	7,3769	-3,6122	0,8205	
	Kopšanas cirte	Apse	12-17,9	0,5592	-1,1869	0,6358	-0,0191
			Malka	2,0856	-1,2707	-0,7086	0,7343
			18-23,9	0,5933	-1,1952	0,6079	-0,0311

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Cirtes veids	Suga	Sortiments	a	b	c	d
		24<	-0,3895	0,3742	0,0399	-0,0041
		PM 7-49,9	-2,8485	3,2786	-0,5750	0,3200
	Bērzs	12-17,9	0,6263	-0,6459	0,1659	-0,0037
		Malka	3,4293	-1,4652	-0,0487	0,0901
		FIB 18<	-1,9262	1,5544	-0,0727	0,0022
		PM 7-49,9	-2,1299	0,5569	-0,0445	0,9114
	Melnalksnis	12-17,9	3,9099	-6,1471	2,4010	-0,0820
		Malka	0,4936	2,5091	-2,0793	1,0651
		18-23,9	-3,9167	3,3285	-0,3414	0,0202
		24<	-0,4865	0,3092	0,0198	-0,0033
	Papeles hibrīds	12-17,9	5,7592	-7,7544	2,7791	-0,0721
		Malka	-6,4055	7,7060	-3,1357	1,0853
		18-23,9	0,6465	0,0483	0,3567	-0,0132
	Priede	10-13,9	1,1890	-2,3049	0,7424	0,0738
		14-17,9	1,8589	-4,0513	1,9056	-0,0330
		6-9,9	-0,3656	0,8966	-0,5953	0,1250
		Malka	-1,1057	2,1413	-0,8431	0,1926
		18-27,9	0,3739	-1,6720	1,7189	-0,0841
		28<	-0,3768	0,7335	-0,2015	0,0127
		A 28<	0,0074	-0,0163	0,0082	-0,0003
		Zemas kvalitātes zāģbaļķi 18<	0,5909	-0,6489	0,2101	-0,0085
		PM 7-49,9	-2,1720	4,9220	-2,9452	0,7218
	Egle	10-13,9	11,6270	-9,5729	1,6378	0,0416
		14-17,9	13,2470	-12,5580	3,0184	-0,0612
		6-9,9	0,7843	0,0041	-0,4134	0,0957
		Malka	-1,0618	0,3326	0,2256	0,0597
		18-27,9	4,4392	-5,8942	2,4259	-0,0883
		28<	0,7191	0,2455	-0,0370	0,0016
Zemas kvalitātes zāģbaļķi 18<		-3,4646	2,8136	-0,3616	0,0181	
PM 7-49,9		-26,2910	24,6300	-6,4957	0,9328	

SEG emisijas meža zemēs raksturojošie faktori meža zemēm doti tab. 3. koeficientu vērtības nosaka valdošā suga, mitruma režīms un nodrošinājums ar barības vielām. SEG emisijas no augsnes

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

(CH₄ emisijas no grāvjiem, grāvju platības īpatsvars, CH₄ emisijas no pārējās platības, N₂O emisijas no augsnes un CO₂ emisijas no augsnes) rēķina tikai organiskajām augsnēm. Tikai organiskajās augsnēs ņem vērā kritērijus mitruma režīms un nodrošinājums ar barības vielām. Koksnes blīvums, oglekļa saturs koksnē, nedzīvās koksnes sadalīšanās periods, oglekļa uzkrājums zemsegā, sasniedzot līdzsvara stāvokli, un līdzsvara stāvokļa sasniegšanas periods ir sugu specifiski rādītāji. Taču SEG prognožu instrumentā visiem rādītājiem var paredzēt piesaisti mitruma režīmam un nodrošinājumam ar barības vielām, pieņemot, ka nākotnē empīrisku datu kopa uzlabosies un varēs uzlabot prognožu precizitāti.

SEG emisiju un oglekļa uzkrājuma aprites koeficienti nemeža zemēm, kas izmantojami apmežošanas efekta raksturošanai, doti tab. 4. Rādītāju oglekļa uzkrājums zemsedzes augu biomasā līdzsvara stāvoklī ([22] un [23]) izmanto gan minerālaugsnēs, gan organiskajās augsnēs. Pārējos rādītājus izmanto tikai organiskajās augsnēs. Aprēķinā var izvēlēties divus nemeža zemju variantus – zālājs un aramzeme. Papildus parametrs ir organiskā augsne vai minerālaugsne. Aprēķinā pieņemts, ka visas organiskās augsnes zālājos un aramzemēs ir meliorētas.

Augsnes emisiju faktori atbilst LIFE REstore un LIFE OrgBalt projektu rezultātiem (Lazdiņa u.c., 2019; Lazdiņš & Lupiķis, 2019; Lupiķis, 2019).

Tab. 3. Emisiju faktori un oglekļa apriti raksturojošie koeficienti meža zemēs

Valdošā suga	Mitruma režīms	Nodrošinājums ar barības vielām	Koksnes blīvums, tonnas m ⁻³	Ogleklis koksnē, tonnas tonnā ⁻¹	Nedzīvās koksnes sadalīšanās periods, gadi	CH ₄ emisiju faktors grāvjiem, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	Grāvju platības īpatsvars	CH ₄ emisiju faktors, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	N ₂ O emisiju faktors, kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	CO ₂ emisiju faktors, tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	Oglekļa uzkrājums zemsegā, tonnas C ha ⁻¹	Līdzsvara stāvokļa sasniegšanas periods, gadi
ID			[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
Egle	Meliorēts	Labs	0,4	0,5	40	217,0000	3%	-6,8992	1,7417	13,3409	12,1	150
Egle	Meliorēts	Apmierinošs	0,4	0,5	40	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150
Egle	Pārmitrs	Labs	0,4	0,5	40			1,3467	0,5971	13,8380	12,1	150
Egle	Pārmitrs	Apmierinošs	0,4	0,5	40			32,4505	0,0680	6,7820	12,1	150
Egle	Sauss	-	0,4	0,5	40						12,1	150
Priede	Meliorēts	Labs	0,4	0,5	40	217,0000	3%	-6,8992	1,7417	13,3409	12,1	150
Priede	Meliorēts	Apmierinošs	0,4	0,5	40,0	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150
Priede	Pārmitrs	Labs	0,4	0,5	40,0			1,3467	0,5971	13,8380	12,1	150
Priede	Pārmitrs	Apmierinošs	0,4	0,5	40,0			32,4505	0,0680	6,7820	12,1	150
Priede	Sauss	-	0,4	0,5	40,0						12,1	150
Bērzs	Meliorēts	Labs	0,5	0,5	20	217,0000	3%	-2,9200	1,5871	15,9170	12,1	150
Bērzs	Meliorēts	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150
Bērzs	Pārmitrs	Labs	0,5	0,5	20,0			-1,1644	3,1114	13,2244	12,1	150

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Valdošā suga	Mitruma režīms	Nodrošinājums ar barības vielām	Koksnes blīvums, tonnas m ⁻³	Ogleklis koksnē, tonnas tonnā ⁻¹	Nedzīvās koksnes sadalīšanās periods, gadi	CH ₄ emisiju faktors grāvjiem, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	Grāvju platības īpatsvars	CH ₄ emisiju faktors, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	N ₂ O emisiju faktors, kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	CO ₂ emisiju faktors, tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	Oglekļa uzkrājums zemsegā, tonnas C ha ⁻¹	Līdzvara stāvokļa sasniegšanas periods, gadi
Bērzs	Pārmitrs	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0			32,4505	0,0680	6,7820	12,1	150
Bērzs	Sauss	-	0,5	0,5	20,0						12,1	150
Apse	Meliorēts	Labs	0,5	0,5	20	217,0000	3%	-2,9200	1,5871	15,9170	12,1	150
Apse	Meliorēts	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150
Apse	Pārmitrs	Labs	0,5	0,5	20,0			-1,1644	3,1114	13,2244	12,1	150
Apse	Pārmitrs	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0			32,4505	0,0680	6,7820	12,1	150
Apse	Sauss	-	0,5	0,5	20,0						12,1	150
Papeles hibrīds	Meliorēts	Labs	0,5	0,5	20	217,0000	3%	-2,9200	1,5871	15,9170	12,1	150
Papeles hibrīds	Meliorēts	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150
Papeles hibrīds	Sauss	-	0,5	0,5	20,0						12,1	150
Melnalksnis	Meliorēts	Labs	0,5	0,5	20	217,0000	3%	7,7714	0,9429	10,1017	12,1	150
Melnalksnis	Meliorēts	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Valdošā suga	Mitruma režīms	Nodrošinājums ar barības vielām	Koksnes blīvums, tonnas m ⁻³	Ogleklis koksnē, tonnas tonnā ⁻¹	Nedzīvās koksnes sadalīšanās periods, gadi	CH ₄ emisiju faktors grāvjiem, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	Grāvju platības īpatsvars	CH ₄ emisiju faktors, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	N ₂ O emisiju faktors, kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	CO ₂ emisiju faktors, tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	Oglekļa uzkrājums zemsegā, tonnas C ha ⁻¹	Līdzvara stāvokļa sasniegšanas periods, gadi
Melnalksnis	Pārmitrs	Labs	0,5	0,5	20,0			228,3429	3,9286	13,4200	12,1	150
Melnalksnis	Pārmitrs	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0			32,4505	0,0680	6,7820	12,1	150
Melnalksnis	Sauss	-	0,5	0,5	20,0						12,1	150
Citas sugas	Meliorēts	Labs	0,5	0,5	20	217,0000	3%	-2,9200	1,5871	15,9170	12,1	150
Citas sugas	Meliorēts	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0	217,0000	3%	25,5898	-0,0751	4,2120	12,1	150
Citas sugas	Pārmitrs	Labs	0,5	0,5	20,0			-1,1644	3,1114	13,2244	12,1	150
Citas sugas	Pārmitrs	Apmierinošs	0,5	0,5	20,0			32,4505	0,0680	6,7820	12,1	150
Citas sugas	Sauss	-	0,5	0,5	20,0						12,1	150

Tab. 4. Emisiju faktori un oglekļa apriti raksturojošie koeficienti organiskām augsnēm nemeža zemēs

Zemes izmantošana	Oglekļa uzkrājums līdzsvara stāvoklī, tonnas C ha ⁻¹		Oglekļa ienese augsnē, tonnas C ha ⁻¹ gadā				Grāvju platības īpatsvars	CH ₄ emisiju faktors grāvjiem, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	CH ₄ emisiju faktors, kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	N ₂ O emisiju faktors, kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	CO ₂ emisiju faktors, tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā
	virszemes	pazemes	virszemes	pazemes	sīksaknes	cita ienese					
ID	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]	[28]	[29]	[30]	[31]
Aramzeme	4,4	0,9	2,7	0,6	0,3		5%	1165,0	2,0852	9,6643	15,9465
Zālājs	3,2	1,2	0,9	0,5	0,7		5%	1165,0	26,5641	0,5029	11,7282

N₂O un CH₄ emisijas pārrēķina uz CO₂ ekvivalentiem, izmantojot t.s. *IPCC Assessment report 5* (tab. 5).

Tab. 5. CO₂ ekvivalenti

SEG	ID	CO ₂ ekvivalents
CH ₄	[32]	28
N ₂ O	[33]	265

LVMI Silava izmantots AGM rīks, kas [iedod](#) aprēķinu rezultātus krājas, biomasas vai oglekļa uzkrājuma izteiksmē vai arī visus šos rādītājus, taču, ja rezultāti nav pieejami, aprēķinus veic, izmantojot tab. 6 koeficientus, kas sugu griezumā aprēķina stumbra, virszemes, zaru un pazemes biomasu. Šie koeficienti izstrādāti individuālu koku aprēķiniem, un šajā vienkāršotajā aprēķinā attiecināti uz visu audzi, tāpēc labāk aprēķinos izmantot AGM modeļa aprēķinus, kur biomasu var aprēķināt meža elementu griezumā. Oglekļa uzkrājuma aprēķinus var veikt, izlaižot šo soli, ja augšanas gaitas modelī iebūvēta šāda funkcionalitāte.

Tab. 6. Biomasas pārrēķinu koeficienti²⁷

Valdošā suga	Biomasa	a	b	c	d	e	m	k
ID		[34]	[35]	[36]	[37]	[38]	[39]	[40]
Egle	AGB	-0,5244	8,8563	0,0000	0,3879	0,0000	19,0000	1,0127
	SB	-2,5842	7,0769	0,0232	0,9631	0,0000	15,0000	1,0022
	BGB	-2,4967	10,8184	0,0000	0,0000	0,0000	14,0000	1,0388
Priede	AGB	-1,4480	8,7399	0,0000	0,5624	0,0000	16,0000	1,0086
	SB	-2,8125	7,1368	0,0118	1,1270	0,0000	15,0000	1,0053
	BGB	-3,2937	9,0334	0,0000	0,5353	0,0000	14,0000	1,0350
Bērzs	AGB	-2,1284	9,3375	0,0221	0,2838	0,0000	11,0000	1,0041
	SB	-2,9281	8,2943	0,0184	0,7374	0,0000	11,0000	1,0020
	BGB	-3,6432	0,0000	0,0000	0,0000	2,5127	0,0000	1,0060
Papeles hibrīds	AGB	-1,9434	9,7506	0,0337	0,0000	0,0000	11,0000	0,9900
	SB	-2,8955	8,3896	0,0226	0,6148	0,0000	11,0000	1,0058
	BGB	-2,3114	10,3644	0,0000	0,0000	0,0000	15,0000	0,9917
Apse	AGB	-1,9434	9,7506	0,0337	0,0000	0,0000	11,0000	0,9900
	SB	-2,8955	8,3896	0,0226	0,6148	0,0000	11,0000	1,0058
	BGB	-2,3114	10,3644	0,0000	0,0000	0,0000	15,0000	0,9917
Melnalksnis	AGB	-1,6846	9,3412	0,0221	0,2489	0,0000	14,0000	0,9962
	SB	-2,4428	8,4713	0,0295	0,5315	0,0000	13,0000	1,0069
	BGB	-2,6672	0,0000	0,0000	0,0000	2,1004	0,0000	1,0145

²⁷ AGB – virszemes (SB+BB); SB – stumbrs; BGB – pazemes.

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Valdošā suga	Biomasa	a	b	c	d	e	m	k
Citas sugas	AGB	-2,1284	9,3375	0,0221	0,2838	0,0000	11,0000	1,0041
	SB	-2,9281	8,2943	0,0184	0,7374	0,0000	11,0000	1,0020
	BGB	-3,6432	0,0000	0,0000	0,0000	2,5127	0,0000	1,0060

Oglekļa ienesi ar koku nobirām atliekām meža zemēs organiskajās augsnēs aprēķina, izmantojot tab. 7 dotos koeficientus. Oglekļa ienesi ar zemsedzes augu atliekām meža zemēs ar organiskām augsnēm aprēķina, izmantojot tab. 8 dotos koeficientus. Šos rādītājus neaprēķina minerālaugsnēs, kur pieņem, ka augsnes oglekļa uzkrājums ir līdzsvara stāvoklī. Tab. 7, 8 un 9 iekļautas maksimālās šķērslaukuma vērtības ([46], [52] un [58]). Ja faktiskais šķērslaukums pārsniedz maksimālo vērtību, aprēķinā izmanto maksimālās vērtības no attiecīgajām tabulām.

Tab. 7. Koeficienti oglekļa ieneses aprēķiniem ar koku nobirām un sīksaknēm

Valdošā suga	a	b	c	d	e	Maks. G, m ² ha ⁻¹
ID	[41]	[42]	[43]	[44]	[45]	[46]
Egle	-0,000008	0,000542	-0,011340	0,190236	0,000000	30,0
Priede	-0,000014	0,000969	-0,021880	0,245253	0,000000	30,0
Bērzs	0,000003	-0,000309	0,011431	-0,042937	0,000000	26,0
Apse	0,000003	-0,000309	0,011431	-0,042937	0,000000	26,0
Papeles hibrīds	0,000003	-0,000309	0,011431	-0,042937	0,000000	26,0
Melnalksnis	0,000003	-0,000309	0,011431	-0,042937	0,000000	26,0
Citas sugas	0,000003	-0,000309	0,011431	-0,042937	0,000000	26,0

Tab. 8. Koeficienti oglekļa ieneses aprēķiniem ar zemsedzes augu atliekām, nobirām un saknēm

Valdošā suga	a	b	c	d	ee	Maks. G, m ² ha ⁻¹
ID	[47]	[48]	[49]	[50]	[51]	[52]
Egle	-0,000003	0,000199	-0,003232	0,024756	1,465097	30,0
Priede	-0,000014	0,000776	-0,014467	0,104824	2,540835	30,0
Bērzs	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Apse	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Papeles hibrīds	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Melnalksnis	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Citas sugas	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0

Oglekļa uzkrājumu meža zemēs zemsedzes augu biomasā aprēķina visās meža zemēs, lai novērtētu oglekļa uzkrājuma izmaiņas zemes izmantošanas maiņas gadījumā, piemēram, apmežojot aramzemes vai zālājus. Oglekļa uzkrājuma aprēķinu vienādojumu koeficienti doti tab. 9.

Tab. 9. Koeficienti oglekļa uzkrājuma zemsedzes augu biomasā aprēķiniem

Valdošā suga	a	b	c	d	e	Maks. G, m ² ha ⁻¹
ID	[53]	[54]	[55]	[56]	[57]	[58]
Egle	-0,000003	0,000199	-0,003232	0,024756	1,465097	30,0
Priede	-0,000014	0,000776	-0,014467	0,104824	2,540835	30,0
Bērzs	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Apse	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Papeles hibrīds	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Melnalksnis	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0
Citas sugas	0,000009	-0,000494	0,008583	-0,083487	1,263489	26,0

Tab. 10 doti koeficienti oglekļa uzkrājuma aprēķiniem meža zemēs, atkarībā no audzes šķērslaukuma. Šo rādītāju neizmanto platībās, kas pirms darbības īstenošanas ir aramzeme vai zālājs.

Tab. 10. Koeficienti oglekļa uzkrājuma nedzīvajā koksne aprēķinam meža zemēs

Valdošā suga	a	b	c	d	e
ID	[59]	[60]	[61]	[62]	[63]
Egle	0,000424	-0,030501	0,710823	-7,083432	93,865713
Priede	0,000037	-0,006855	0,270987	-3,903290	61,217237
Bērzs	0,000178	-0,013469	0,312192	-2,664939	18,727676
Apse	0,000178	-0,013469	0,312192	-2,664939	18,727676
Papeles hibrīds	0,000178	-0,013469	0,312192	-2,664939	18,727676
Melnalksnis	0,000178	-0,013469	0,312192	-2,664939	18,727676
Citas sugas	0,000178	-0,013469	0,312192	-2,664939	18,727676

Meža zemēs aprēķina arī oglekļa uzkrājumu no iepriekšējā aprītē nozāģētajiem kokiem sagatavotajos koksnē produktos. Oglekļa uzkrājumu aprēķina, izmantojot šķērslaukumu, kā mainīgo rādītāju. Aprēķinu koeficienti zāgmateriālos uzkrātā oglekļa aprēķiniem doti tab. 11, plātņu koksnē – tab. 12 un papīra un kartona izstrādājumos – tab. 13.

Tab. 11. Koeficienti oglekļa uzkrājuma aprēķiniem zāgmateriālos (5.C & 5.NC) meža zemēs

Valdošā suga	a	b
ID	[64]	[65]
Egle	-0,437336	20,840077

Valdošā suga	a	b
Priede	-0,476845	22,100373
Bērzs	-0,304579	12,090044
Apse	-0,096996	4,826518
Papeles hibrīds	-0,145217	29,000000
Melnalksnis	-0,304579	12,090044
Citas sugas	-0,304579	12,090044

Tab. 12. Koeficienti oglekļa uzkrājuma aprēķiniem plātņu koksne (6 1, 6 2, 6 3, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.x, 6.4.3) meža zemēs

Valdošā suga	a	b
ID	[66]	[67]
Egle	-0,420516	20,038535
Priede	-0,458505	21,250359
Bērzs	-0,292864	11,625042
Apse	-0,093266	4,640883
Papeles hibrīds	-0,139632	28,011337
Melnalksnis	-0,292864	11,625042
Citas sugas	-0,292864	11,625042

Tab. 13. Koeficienti oglekļa uzkrājuma aprēķiniem papīra un kartona izstrādājumos (10) meža zemēs

Valdošā suga	a	b
ID	[68]	[69]
Egle	-0,008311	0,403860
Priede	-0,344292	1,253129
Bērzs	-1,495479	4,966780
Apse	-0,805852	2,326979
Papeles hibrīds	0,000000	0,000000
Melnalksnis	0,000000	0,000000
Citas sugas	0,000000	0,000000

Ievades datus gada griezumā tab. 14 ģenerē AGM rīks, izmantojot aprēķinos Meža valsts reģistra aprēķinu struktūrai atbilstošu datu kopu un pieņēmumus ikdienišķajai mežsaimniecībai, sagatavojot scenāriju, kas raksturo ikdienišķās mežsaimniecības turpināšanu. Pasākumu īstenošanas scenārijā izmanto pieņēmumus, kas raksturo augšanas gaitu, īstenojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumus. Arī šajā gadījumā AGM rīks ģenerē augšanas gaitu atbilstoši izraudzītajiem pasākumiem

– apmežošanai, hidrotehniskajai meliorācijai un citiem. Kokaugu stādījumu augšanas gaitas prognožu stādījumi nav izstrādāti, tāpēc šādās platībās izmantojami meža koku sugu augšanas gaitas vienādojumi, piemēram, apses hibrīda vietā var izmantot augstākās bonitātes apses augšanas gaitas vienādojumu. Hidrotehniskās meliorācijas atjaunošanas scenārijā salīdzināma meža augšanas gaitas atbilstošas auglības purvainos un slapjainos ar attiecīgajiem rādītājiem kūdreņos un āreņos. Lai nepārvērtētu pozitīvo efektu, ieteicams meliorācijas efektu paredzēt tikai, sākot ar meža atjaunošanas etapu.

Tab. 14. Augšanas gaitas modeļa aprēķinātie parametri augšanas gaitas raksturošanai

Nr.	Parametrs	Mērvienība	ID	Atšifrējums
1.	Bon	-	[70]	Bonitāte
2.	A	Gadi	[71]	Audzes vecums
3.	H	m	[72]	Vidējā koka augstums
4.	D	cm	[73]	Vidējā koka caurmērs
5.	G	m ² ha ⁻¹	[74]	Audzes kopējais šķērslaukums
6.	N	gab. ha ⁻¹	[75]	Valdaudzes koku skaits
7.	M	m ³ ha ⁻¹	[76]	Audzes kopējā krāja
8.	Incr.	m ³ ha ⁻¹ gadā	[77]	Faktiskās (audzes) tekošais potenciālais vidēji periodiskais pieaugums
9.	Hnoc	m	[78]	Vidējā nozāģētā koka augstums
10.	Dnoc	cm	[79]	Vidējā nozāģētā koka caurmērs
11.	Gnoc	m ² ha ⁻¹	[80]	Kopējais nozāģēto koku šķērslaukums
12.	Nnoc	gab. ha ⁻¹	[81]	Kopējais nozāģēto valdaudzes koku skaits
13.	Mnoc	m ³ ha ⁻¹	[82]	Kopējā nozāģēto koku krāja
14.	M _{vid.}	m ³	[83]	Vidējā nozāģētā koka krāja
15.	Hatm	m	[84]	Vidējā nokaltušā koka augstums
16.	Datm	cm	[85]	Vidējā nokaltušā koka caurmērs
17.	Gatm	m ² ha ⁻¹ gadā	[86]	Kopējais nokaltušo koku šķērslaukums
18.	Natm	gab. ha ⁻¹ gadā	[87]	Kopējais nokaltušo valdaudzes koku skaits
19.	Matm	m ³ ha ⁻¹ gadā	[88]	Kopējā nokaltušo koku krāja

Parametru vērtības tab. 15 ņem no tab. 4, balstoties uz lietotāja izvēli parametrā [89] (tab. 15). Lietotāja izvēlnē esošo parametru [89] izmanto, lai noteiktu, vai oglekļa aprites aprēķinā izmanto datus par oglekļa ienesi augsnē ar augu atliekām un SEG emisijas no augsnes (parametrs [107], tab. 16). Minerālaugsnēs šo parametru neizmanto.

Tab. 15. Ievades dati SEG emisiju raksturošanai nemeža zemēs

Parametrs	Mērvienība	ID	Vērtība
Zemes izmantošana	-	[89]	Zālājs vai aramzeme
Augsnes tips	-	[90]	Organiskā vai minerālaugsne

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Parametrs	Mērvienība	ID	Vērtība	
Oglekļa uzkrājums līdzsvara stāvoklī	virszemes	tonnas C ha ⁻¹	[91]	-
	pazemes	tonnas C ha ⁻¹	[92]	-
Oglekļa ienese augsnē	virszemes	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[93]	Izmanto tikai organiskās augsnēs
	pazemes	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[94]	Izmanto tikai organiskās augsnēs
	sīksaknes	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[95]	Izmanto tikai organiskās augsnēs
	cita ienese	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[96]	Izmanto tikai organiskās augsnēs
Grāvju platības īpatsvars	%	[97]	Izmanto tikai organiskās augsnēs	
CH ₄ emisiju faktors grāvjiem	kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	[98]	Izmanto tikai organiskās augsnēs	
CH ₄ emisiju faktors pārējai platībai	kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	[99]	Izmanto tikai organiskās augsnēs	
N ₂ O emisiju faktors	kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	[100]	Izmanto tikai organiskās augsnēs	
CO ₂ emisiju faktors	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[101]	Izmanto tikai organiskās augsnēs	

SEG EMISIJU APRĒĶINI NEMEŽA ZEMĒS

Nemeža zemēs (aramzemēs un zālajos) SEG emisiju aprēķinu veido SEG emisijas no augsnes organiskās augsnēs (tab. 16).

Tab. 16. SEG emisiju aprēķini nemeža zemēs organiskās augsnēs

GHG	Mērvienības	ID
CO ₂ emisijas no dzīvās biomasas (oglekļa ienese augsnē)	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[102]=[93]+[94]+[95]+[96]
CH ₄ emisijas no grāvjiem	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[103]=[98]*[97]/1000*[32]
CH ₄ emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[104]=[99]*(100%-[97])/1000*[32]
N ₂ O emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[105]=[100]/1000
CO ₂ emisijas no augsnes (heterotrofā elpošana)	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[106]=[101]
Kopējās SEG emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[107]=[102]+[103]+[104]+[105]+[106]

Minerālaugsnēs izmanto tikai oglekļa uzkrājuma zemsedzes augos rādītāju ([21]+[22]) no tab. 4, ko salīdzina ar oglekļa uzkrājumu zemsedzes augos, īstenojot klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumus.

SEG EMISIJU APRĒĶINI MEŽAUDZĒS

SEG emisiju veikšanai nepieciešamās lietotāja izvēlnes uzskaitītas tab. 17. Valdošās koku sugas ir egle, priede, bērzs, apse, papeles hibrīds, melnalksnis un citas sugas. Augsnes tips šajā gadījumā ir minerālaugsne (visi slapjaini, āreņi un sausieņi) vai organiskā augsne (purvaini un kūdreņi). Mitruma režīms ietekmē SEG emisiju aprēķinus organiskās augsnēs – kūdreņos augsne ir meliorēta, purvainos – pārmitra. Arī nodrošinājums ar barības vielām attiecas tikai uz organiskām augsnēm – platlapju kūdreņos, lieknā un dumbrājos nodrošinājums ar barības vielām ir labs, pārējos purvainu un kūdreņu meža tipos – apmierinošs. Izvēlne apmežošana vai meža apsaimniekošana pieder klimata pārmaiņu mazināšanas darbības aprakstam – visos scenārijos, kas saistīti ar zemes izmantošanas veida maiņu par meža zemi, šajā parametrā jāizvēlas “apmežošana”, bet scenārijos, kas nav saistīti ar zemes izmantošanas veida maiņu – “meža apsaimniekošana”. Šī izvēlne nosaka to, vai platībā tiks aprēķināts sākotnējais oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksne. Mežizstrādes atlieku izmantošana nozīmē, ka visas mežizstrādes atliekas, tajā skaitā no krājas kopšanas cirtēm, izmanto koksnes biokurināmā sagatavošanai, ja [6] koeficients tab. 2, kas raksturo mežizstrādes atlieku zudumus nav 100%.

Tab. 17. Lietotāja izvēlnes meža zemēs

Rādītājs	ID	Piezīmes
Valdošā koku suga	[108]	Valdošā koku suga audzē
Augsnes tips	[109]	Minerālaugsne vai organiskā augsne, apmežošanas scenārijā nevar atšķirties starp scenārijiem ([110]=[90])
Mitruma režīms	[111]	Meliorēts vai pārmitrs (atbilstoši plānotajam stāvoklim)
Nodrošinājums ar barības vielām	[112]	Labs vai apmierinošs, parametru izmanto organiskās augsnēs.
Apmežošana vai meža apsaimniekošana	[113]	Izvēlne oglekļa uzkrājuma raksturošanai, izmantojama tikai scenārijos, kas nav saistīti ar koku ieaudzēšanu aramzemēs vai zālajos
Mežizstrādes atlieku izmantošana	[114]	Pazīme (“jā” vai “nē”) mežizstrādes atlieku izmantošanai (atstāj vai izmanto biokurināmā gatavošanai)

Aprēķinus vienādojumus tab. 18, izņemot oglekļa uzkrājumu zemsedzes augos ([117]), izmanto tikai organiskās augsnēs ([109]=”organiskā augsne”, tab. 17). Koeficientu [41], [42], [43], [44], [45] un [46] vērtības tab. 18 izvēlas tab. 7, atkarībā no valdošās sugas vērtības tab. 17 ([108]). Koeficientu [47], [48], [49], [50], [51] un [51] vērtības tab. 18 izvēlas tab. 9, atkarībā no valdošās sugas vērtības tab. 17 ([108]). Koeficientu [53], [54], [55], [56], [57] un [58] vērtības tab. 19 izvēlas tab. 9, atkarībā no valdošās sugas vērtības tab. 17 ([108]).

Tab. 18. Oglekļa ieneses ar meža nobirām un zemsedzes augiem aprēķins

Rādītājs	Parametrs	Aprēķins
Oglekļa ienese ar koku atliekām un nobirām	tonnas C ha ⁻¹ gadā	$[115]=[41]*(IF([74]>[46];[46];[74]))^4+[42]*(IF([74]>[46];[46];[74]))^3+[43]*(IF([74]>[46];[46];[74]))^2+[44]*IF([74]>[46];[46];[74])+[45]$

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Rādītājs	Parametrs	Aprēķins
Oglekļa ienese ar zemesdzemes augu atliekām	tonnas C ha ⁻¹ gadā	$[116]=[47]*(IF([74]>[52];[52];[74]))^4+[48]*(IF([74]>[52];[52];[74]))^3+[49]*(IF([74]>[52];[52];[74]))^2+[50]*IF([74]>[52];[52];[74])+[51]$
Oglekļa uzkrājums zemesdzemes augos	tonnas C ha ⁻¹	$[117]=[53]*(IF([74]>[58];[58];[74]))^4+[54]*(IF([74]>[58];[58];[74]))^3+[55]*(IF([74]>[58];[58];[74]))^2+[56]*IF([74]>[58];[58];[74])+[57]$
Kopējā oglekļa ienese ar augu atliekām	tonnas C ha ⁻¹ gadā	$[118]=[115]+[116]$

SEG emisiju aprēķinu meža zemēs veido oglekļa uzkrājuma izmaiņas kokaugu dzīvajā un nedzīvajā biomasā, koksnes produktos, zemsegā (apmežošanas gadījumā) un koksnes biokurināmā aizstāšanas efekts. Organiskajās augsnes papildus rēķina oglekļa aprītes augsnē radītās SEG emisijas, kā arī CH₄ un N₂O emisijas no augsnes. Oglekļa aprītes un SEG emisiju aprēķinu parametri apkopoti tab. 19. Šos parametrus atlasa no tab. 1 un 3, balstoties uz izvēlnēm tab. 17.

Tab. 19. SEG emisiju aprēķinu parametri meža zemēs

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins
Koksnes blīvums	tonnas m ⁻³	$[119]=[11]$
Mežizstrādes atlieku zudumi kopšanas cirtē	-	$[120]=[6]$
Mežizstrādes atlieku zudumi galvenajā cirtē	-	$[121]=[6]$
Oglekļa saturs biomasā	tonnas C tonnā ⁻¹	$[122]=[12]$
CH ₄ emisiju faktors grāvjiem	kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	$[123]=[14]$
Grāvju platības īpatsvars	%	$[124]=[15]$
CH ₄ emisiju faktors	kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	$[125]=[16]$
N ₂ O emisiju faktors	kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	$[126]=[17]$
CO ₂ emisiju faktors	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	$[127]=[18]$
Oglekļa uzkrājums zemsegā līdzsvara stāvoklī	tonnas C ha ⁻¹	$[128]=[19]$
Oglekļa uzkrāšanās periods zemsegā	gadi	$[129]=[20]$
Nedzīvās koksnes sadalīšanās periods	gadi	$[130]=[13]$
Zāģmateriālu iznākums no apaļajiem kokmateriāliem (5.C & 5.NC)	%	$[131]=[1]$
Plātņu koksnes iznākums no apaļajiem kokmateriāliem (6.1, 6.2, 6.3, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.x, 6.4.3)	%	$[132]=[2]$
Papīra un kartona izstrādājumu iznākums no papīrmalkas (10)	%	$[133]=100%-[5]$
Mizas īpatsvars no apaļajiem kokmateriāliem	%	$[134]=[4]$

Koku biomasas aprēķinu (tab. 20) veic tad, ja šāda informācija nav iegūstama no AGM rīka. Vienādojumos izmanto valdošās sugas un biomasas kategorijas specifiskus koeficientus ([34], [35], [36], [37], [38], [39] un [40]), kas doti tab. 6. Biomasas aprēķināma atbilstoši biomasas kategorijām tab. 6 – SB (stumbra biomasas), AGB (virszemes biomasas), BB (zaru biomasas), BGB (pazemes biomasas).

Tab. 20. Koku biomasas aprēķins

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins
Augoši koki, stumbra biomasas (SB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[135]=([40]*EXP([34]+[35]*([73]/([73]+[39]))) + [36]*[72] + [37]*LN([72]) + [38]*LN([73])) * [75]/1000$
Augoši koki, virszemes biomasas (AGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[136]=([40]*EXP([34]+[35]*([73]/([73]+[39]))) + [36]*[72] + [37]*LN([72]) + [38]*LN([73])) * [75]/1000$
Augoši koki, zaru biomasas (BB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[137]=[136]-[135]$
Augoši koki, pazemes biomasas (BGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[138]=([40]*EXP([34]+[35]*([73]/([73]+[39]))) + [36]*[72] + [37]*LN([72]) + [38]*LN([73])) * [75]/1000$
Krājas pieaugums, stumbra biomasas (SB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[139]=[135]/[76]*[77]$
Krājas pieaugums, virszemes biomasas (AGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[140]=[136]/[76]*[77]$
Krājas pieaugums, zaru biomasas (BB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[141]=[137]/[76]*[77]$
Krājas pieaugums, pazemes biomasas (BGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[142]=[138]/[76]*[77]$
Nozāģētie koki, stumbra biomasas (SB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[143]=([40]*EXP([34]+[35]*([79]/([79]+[39]))) + [36]*[78] + [37]*LN([78]) + [38]*LN([79])) * [81]/1000$
Nozāģētie koki, virszemes biomasas (AGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[144]=([40]*EXP([34]+[35]*([79]/([79]+[39]))) + [36]*[78] + [37]*LN([78]) + [38]*LN([79])) * [81]/1000$
Nozāģētie koki, zaru biomasas (BB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[145]=[144]-[143]$
Nozāģētie koki, pazemes biomasas (BGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[146]=([40]*EXP([34]+[35]*([79]/([79]+[39]))) + [36]*[78] + [37]*LN([78]) + [38]*LN([79])) * [81]/1000$
Nedzīvā koksne, stumbra biomasas (SB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[147]=([40]*EXP([34]+[35]*([85]/([85]+[39]))) + [36]*[84] + [37]*LN([84]) + [38]*LN([85])) * [87]/1000$
Nedzīvā koksne, virszemes biomasas (AGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[148]=([40]*EXP([34]+[35]*([85]/([85]+[39]))) + [36]*[84] + [37]*LN([84]) + [38]*LN([85])) * [87]/1000$
Nedzīvā koksne, zaru biomasas (BB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[149]=[147]-[146]$
Nedzīvā koksne, pazemes biomasas (BGB)	tonnas ha ⁻¹ gadā	$[150]=([40]*EXP([34]+[35]*([85]/([85]+[39]))) + [36]*[84] + [37]*LN([84]) + [38]*LN([85])) * [87]/1000$

Tab. 21 aprēķina oglekļa uzkrājumu biomasā, ja tas nav izrēķināts jau AGM modelī. Oglekļa saturs biomasā ir koeficients [12] no tab. 21. Koeficienta vērtību nosaka atkarībā no valdošās sugas [108], mitruma režīma [111] un nodrošinājuma ar barības vielām [112] izvēles atbilstoši tab. 18.

Tab. 21. Oglekļa uzkrājuma koku biomasā aprēķins

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins
Augoši koki, stumbra biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[151]=[135]*[12]
Augoši koki, virszemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[152]=[136]*[12]
Augoši koki, zaru biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[153]=[137]*[12]
Augoši koki, pazemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[154]=[138]*[12]
Krājas pieaugums, stumbra biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[155]=[139]*[12]
Krājas pieaugums, virszemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[156]=[140]*[12]
Krājas pieaugums, zaru biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[157]=[141]*[12]
Krājas pieaugums, pazemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[158]=[142]*[12]
Nozāgētie koki, stumbra biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[159]=[143]*[12]
Nozāgētie koki, virszemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[160]=[144]*[12]
Nozāgētie koki, zaru biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[161]=[145]*[12]
Nozāgētie koki, pazemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[162]=[146]*[12]
Nedzīvā koksne, stumbra biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[163]=[147]*[12]
Nedzīvā koksne, virszemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[164]=[148]*[12]
Nedzīvā koksne, zaru biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[165]=[149]*[12]
Nedzīvā koksne, pazemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹	[166]=[150]*[12]

Oglekļa uzkrājuma izmaiņas, kā arī kopējais oglekļa uzkrājums kokaugu dzīvajā biomasā aprēķinātas tab. 22.

Tab. 22. Oglekļa uzkrājuma izmaiņas dzīvo koku biomasā

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins
Oglekļa uzkrājuma izmaiņas dzīvajā biomasā pārskata gadā	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[167]=([156]+[158])-([160]+[162]+[164]+[166])

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins
Oglekļa uzkrājums dzīvajā biomasā pārskata gadā	tonnas C ha ⁻¹	$[168]=[167]_1+\dots+[167]_n$, kur $[167]_1$ – oglekļa uzkrājuma izmaiņas dzīvajā biomasā 1. gadā; $[167]_n$ – oglekļa uzkrājuma izmaiņas dzīvajā biomasā pārskata gadā.

Apmežojamās platībās un nemeža zemēs oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksņē pirms darbības īstenošanas $[169]_o$ ir vienāds ar nulli, tāpēc sākotnējais oglekļa uzkrājums šajā oglekļa krātuvē ($[169]_o$) jārēķina tikai platībās, kur mežs audzis pirms darbības īstenošanas. Oglekļa uzkrājuma aprēķins nedzīvajā koksņē veicams atbilstoši tab. 23 dotajiem vienādojumiem. Oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksņē, kas veidojusies mežizstrādes rezultātā, nultajā gadā jau ir ietverts $[169]_o$ aprēķinā.

Tab. 23. Oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksņē

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins nultajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins turpmākajos gados
Oglekļa ienese ar atmirušo koksni	tonnas C ha ⁻¹ gadā	$[169]_o = [59] * [74]^4 + [60] * [74]^3 + [61] * [74]^2 + [62] * [74] + [63]$		$[169] = [164] + [166]$
Oglekļa ienese ar mežizstrādes atliekām	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-		$[170] = [161] + [162]$
Oglekļa zudumi nedzīvajā koksņē	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	$[171]_1 = -([169]_o + [169] + [170]) / [130]$, kur $[169]_o$ – oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksņē nultajā gadā.	$[171]_x = -$ $(([169]_o + [169]_1 \dots [169]_n) + ([170]_1 + [170]_n) + ([171]_1 + [171]_{n-1})) / [130]$, kur $[169]_o$ – oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksņē nultajā gadā; $[169]_1$ – oglekļa ienese nedzīvajā koksņē ar atmirušo koksni pirmajā gadā; $[169]_n$ – oglekļa ienese nedzīvajā koksņē ar atmirušo koksni pārskata gadā; $[170]_1$ – oglekļa ienese ar mežizstrādes atliekām pirmajā gadā; $[170]_n$ – oglekļa ienese ar mežizstrādes atliekām pārskata gadā; $[171]_1$ – oglekļa zudumi no nedzīvās koksnes pirmajā gadā; $[171]_{n-1}$ – oglekļa zudumi no nedzīvās koksnes gadu pirms pārskata gada.
Oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksņē	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-		$[172] = [169] + [170] + [171]$
Oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksņē	tonnas C ha ⁻¹	-		$[173] = [172]_o + [172]_1 \dots [172]_n$, kur $[172]_o$ – oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksņē nultajā gadā;

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins nultajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins turpmākajos gados
			<p>[172]₁ – oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksņē pirmajā gadā; [172]_n – oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksņē pārskata gadā.</p>	

SEG emisiju aprēķinu vienādojumi organiskajām augsnēm (kūdreņi un purvaiņi) doti tab. 24, bet tab. 25 veikts SEG emisiju pārrēķins uz CO₂ ekvivalentiem un kopējo CO₂ emisiju no augsnes aprēķins.

Tab. 24. SEG emisijas no augsnes

GHG	Mērvienība	Aprēķins
CH ₄ emisijas no grāvjiem	kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	[174]=[123]*[124]
CH ₄ emisijas no pārējās platības	kg CH ₄ ha ⁻¹ gadā	[175]=[125]*(100%-[124])
N ₂ O emisijas	kg N ₂ O ha ⁻¹ gadā	[176]=[126]
CO ₂ emisijas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[177]=[127]

Tab. 25. SEG emisiju no augsnes pārrēķins CO₂ ekvivalentos

GHG	Mērvienība	Aprēķins
CH ₄ emisijas no grāvjiem	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[178]=[174]*[32]
CH ₄ emisijas no pārējās platības	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[179]=[175]*[32]
N ₂ O emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[180]=[176]*[33]
CO ₂ emisijas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[181]=[177]
Kopējās SEG emisijas no augsnes	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[182]=[178]+[179]+[180]+[181]

Saražotajos koksnes produktos ienestā oglekļa daudzumu aprēķina ar vienādojumiem tab. 26. Apaļo kokmateriālu iznākuma aprēķinā ņem vērā mizas īpatsvaru.

Tab. 26. Oglekļa ieneses ar saražotajiem koksnes produktiem aprēķins

Koksnes produkti	Mērvienība	Aprēķins
Apaļie kokmateriāli, 1.2.C & 1.2.NC	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[183]=[276]*[159]/[82]*(100%-[134])
Zāģmateriāli, 5.C & 5.NC	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[184]=[183]*[131]
Plātņu koksne, 6 1, 6 2, 6 3, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.x, 6.4.3	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[185]=[183]*[132]
Papīrs un kartons, 10	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[186]=[277]*[159]/[82]*[133]
Kopā	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[187]=[184]+[185]+[186]

Koeficienti koksnes produktu sadalīšanās aprēķiniem doti tab. 27 un 28. Koeficientus tab. 28 aprēķina katram koksnes produktu veidam atsevišķi. SEG emisiju no koksnes produktiem aprēķinu vienādojumi atbilst metodikai, kas adaptēta nacionālajā SEG inventarizācijā (Rüter, 2011).

Tab. 27. Kopīgie koeficienti oglekļa ieneses ar koksnes produktiem aprēķinam

Koeficients	ID	Vērtība
e	[188]	2,7
ln(2)	[189]	LN(2)

Tab. 28. Koksnes produktu veidam specifiskie koeficienti oglekļa ieneses ar koksnes produktiem aprēķinam

Koeficients	ID	Zāģmateriāli (5.C & 5.NC)	Plātņu koksne (6 1, 6 2, 6 3, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.x, 6.4.3)	Papīrs un kartons (10)
HL – pussadalīšanās periods	[190]	35,0	25,0	2,0
		[191]=[189]/[190]		
e ^{-k}		[192]=[188]^-[191]		
		[193]=(1-[191])/[192]		

Oglekļa uzkrājumu koksnes produktos nultajā gadā aprēķina tad, ja alternatīvais scenārijs ir meža zeme, t.i., sākotnējo oglekļa uzkrājumu koksnes produktos nerēķina pasākumiem, kas saistīti ar apmežošanu. Oglekļa uzkrājuma izmaiņas koksnes produktos aprēķina atsevišķi trīs koksnes produktu kategorijām atbilstoši tab. 29 dotajiem vienādojumiem.

Tab. 29. Oglekļa aprites aprēķins koksnes produktos

Kokmateriālu veids	Process	Mērvienība	Oglekļa uzkrājums nultajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķins
Zāģmateriāli; 5.C & 5.NC	c(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[194] _o =[64]*[74]+[65]	[194] _n =([192]*[194] _{n-1})+([193]*[195] _{n-1})
	inflow(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[195] _n =[184] _n
	ΔC(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[196] _n =[194] _{n+1} -[194] _n
Plātņu koksne; 6 1, 6 2, 6 3, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.x, 6.4.3	c(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[197] _o =[66]*[74]+[67]	[197] _n =([192]*[197] _{n-1})+([193]*[198] _{n-1})
	inflow(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[198] _n =[185] _n
	ΔC(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[199] _n =[197] _{n+1} -[197] _n
Papīrs un kartons; 10	c(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[200] _o =[68]*[74]+[69]	[200] _n =([192]*[200] _{n-1})+([193]*[201] _{n-1})

Kokmateriālu veids	Process	Mērvienība	Oglekļa uzkrājums nultajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķins
	inflow(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[201] _n =[186] _n
	ΔC(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[202]=[200] _{n+1} -[200] _n
Kopā	ΔC(i)	tonnas C ha ⁻¹ gadā	-	[203]=[196]+[199]+[202]

Oglekli koksnes biokurināmajā aprēķina atbilstoši tab. 30 dotajiem vienādojumiem, atsevišķi reciklētajai koksnei, mizām, kokapstrādes atliekām, mežizstrādes atliekām un malkai. Oglekļa ienesi ar mežizstrādes atliekām atsevišķi rēķina kopšanas cirtē [207]_{kc} un galvenajā cirtē [207]_{gc} iegūtajai koksnei, ja ievades parametros norādīts, ka mežizstrādes atliekas izmanto koksnes biokurināmā sagatavošanai.

Tab. 30. Oglekļa daudzums koksnes biokurināmajā

Rādītājs	Mērvienība	Aprēķins
Reciklētā koksne	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[204]=(1-[192])*[194]+(1-[193])*[195]+(1-[192])*[197]+(1-[193])*[198]+(1-[192])*[200]+(1-[193])*[201]
Mizas	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[205]=[159]-[183]-[186]-[208]
Kokapstrādes atliekas	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[206]=[159]-([184]+[185]+[186])- [208]
Mežizstrādes atliekas	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[207] _{kc} =[161]*(1-[120]) [207] _{gc} =[161]*(1-[121])
Malka	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[208]=[278]*[122]
Kopā	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[209]=[204]+[206]+[207]+[208]

Koksnes biokurināmā aizstāšanas efekta aprēķinā pieņemts, ka kokapstrādes atliekas, malku, reciklēto koksni un mežizstrādes atliekas (ja ir norādīts, ka mežizstrādes atliekas izmanto biokurināmā sagatavošanai). Koeficienti, kas pēc noklusējuma izmantoti SEG emisiju samazinājuma aprēķināšanai, salīdzina koksni centralizētajā siltumapgādē un dabasgāzi (tab. 31). Aprēķina vienādojumi atbilst Starpvalstu klimata konvencijas paneļa vadlīnijās dotajām noklusētajām emisiju faktoru vērtībām (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Kiyoto, 2006).

Tab. 31. Koeficienti biokurināmā aizstāšanas efekta aprēķinam

Parametrs	Mērvienība	ID	Skaitliskā vērtība
Emisiju faktori dabasgāzei			

Parametrs	Mērvienība	ID	Skaitliskā vērtība
Zemākā siltumspēja	MWh m ⁻³	[210]	0,0094
Katla lietderības koeficients	-	[211]	85%
CO ₂ emisiju faktors	tonnas CO ₂ MWh ⁻¹	[212]	0,1984
N ₂ O emisiju faktors	tonnas N ₂ O MWh ⁻¹	[213]	0,00000036
CH ₄ emisiju faktors	tonnas CH ₄ MWh ⁻¹	[214]	0,00000360
Biokurināmā raksturojums			
Zemākā siltumspēja	MWh tonnā ⁻¹	[215]	4,9000
Katla lietderības koeficients	-	[216]	80%
N ₂ O emisiju faktors	tonnas N ₂ O MWh ⁻¹	[217]	0,000014
CH ₄ emisiju faktors	tonnas CH ₄ MWh ⁻¹	[218]	0,000108

Aprēķina pirmais solis ir koksnes biokurināmā daudzuma aprēķins sausnas tonnās un saražotās enerģijas daudzums, kā arī N₂O un CH₄ emisiju daudzums biomasas sadedzināšanas procesā (tab. 32). CO₂ emisijas oglekļa zudumu no dzīvās biomasas veidā jau ietverts oglekļa aprītes dzīvajā biomasā vienādojumos.

Tab. 32. Aizstātās enerģijas daudzuma aprēķins

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins
Biokurināmais:	tonnas gadā	[219]=[220]+[221]+[222]+[223]+[224]
reciklētā koksne	tonnas gadā	[220]=[204]/[122]
mizas	tonnas gadā	[221]=[205]/[122]
kokapstrādes atliekas	tonnas gadā	[222]=[206]/[122]
mežizstrādes atliekas	tonnas gadā	[223]=[207]/[122]
malka	tonnas gadā	[224]=[208]/[122]
Neto aizstātās enerģijas daudzums	MWh gadā	[225]=[219]*[215]*[216]
N ₂ O emisijas sadedzināšanas procesā	tonnas N ₂ O gadā	[226]=[225]*[217]
CH ₄ emisijas sadedzināšanas procesā	tonnas CH ₄ gadā	[227]=[225]*[218]

Aizstāto fosilo kurināmo aprēķina, novērtējot, cik liels fosilā kurināmā daudzums nepieciešams, lai iegūtu enerģijas daudzumu, ko var saražot ar koksnes biomasu. Pēc tam aprēķina SEG emisijas, ko radītu fosilā kurināmā sadedzināšana (tab. 33). Nākamajā solī SEG emisijas pārrēķina SEG emisijas CO₂ ekvivalentos (tab. 34).

Tab. 33. Aizstāšanas efekta aprēķins biokurināmajā

Parametrs	Mērvienība	ID
Aizstātā dabasgāze	m ³ gadā	[228]=[225]/[210]/[211]
CO ₂ emisijas no aizstātā fosilā kurināmā	tonnas CO ₂ gadā	[229]=[228]*[210]*[212]
N ₂ O emisijas no aizstātā fosilā kurināmā	tonnas N ₂ O gadā	[230]=[228]*[210]*[213]
CH ₄ emisijas no aizstātā fosilā kurināmā	tonnas CH ₄ gadā	[231]=[228]*[210]*[214]

Tab. 34. Aizstāšanas efekta pārrēķins uz CO₂ ekvivalentiem

Parametrs	Mērvienība	ID
CO ₂ emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[232]=[228]
N ₂ O emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[233]=([230]-[226])*[33]
CH ₄ emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[234]=([231]-[227])*[32]
Neto emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[235]=[232]+[233]+[234]

SEG emisiju kopsavilkums ietver CO₂ emisijas no dzīvās kokaugu biomasas, CO₂ emisijas no zemsegas apmežotās platībās (platībās, kur mežs audzis pirms darbības īstenošanas, šo krātuvi neņem vērā), CO₂ emisijas no nedzīvās koksnes, CO₂ emisijas no koksnes produktiem, CO₂, CH₄ un N₂O emisijas no organiskās augsnes, biokurināmā aizstāšanas efektu un kopējās ikgadējās SEG emisijas (tab. 35).

Tab. 35. SEG emisiju aprēķina kopsavilkums

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins turpmākajos gados
CO ₂ emisijas no koku biomasas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā		[236]=[167]*44/12
CO ₂ emisijas no zemsegas apmežotās platībās	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[237] ₁ =-[129]/[130]*44/12, kur [237] ₁ – CO ₂ emisijas no zemsegas pirmajā gadā	[237] _n =IF(ABS([237] ₁ +...+[237] _{n-1})>=[129]*44/12;0;- [129]/[130]*44/12), kur [237] _n – CO ₂ emisijas no zemsegas pārskata gadā; [237] ₁ – CO ₂ emisijas no zemsegas pirmajā gadā; [237] _{n-1} – CO ₂ emisijas no zemsegas gadu pirms pārskata.
CO ₂ emisijas no nedzīvās koksnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā		[238]=[172]*44/12
CO ₂ emisijas no koksnes produktiem	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā		[239]=[203]*44/12
CO ₂ emisijas no organiskās augsnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā		[240]=[181]-[118]*44/12
CH ₄ emisijas no organiskās augsnes	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[241]=[178]+[179]
N ₂ O emisijas no organiskās augsnes	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[242]=[180]
Biokurināmā aizstāšanas efekts	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[243]=[235]
Kopējās SEG emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[244]=[236]+[237]+[238]+[239]+[240]+[241]+[242]+[243]
Kopējās SEG emisijas kumulatīvi	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹		[245]=[244] ₁ +...+[244] _n kur [244] ₁ – kopējās SEG emisijas pirmajā gadā; [244] _n – kopējās SEG emisijas pārskata gadā.

Sadalījumu kokmateriālu veidos aprēķina tad, ja šo informāciju nesniedz augšanas gaitas modelēšanas rīks. Kokmateriālu veidam, cirtes veidam un koku sugai atbilstošie koeficienti atrodas tab. 2. Pieņēmumi, kas nosaka koeficientu izvēli, atrodas tab. 17. Lai novērstu negatīvu rezultātu, kā arī rezultātu, kas pārsniedz 100%, atbilstoši tab. 36 dotajiem vienādojumiem aprēķināto relatīvo kokmateriālu sadalījumu koriģē, izmantojot tab. 37 dotos vienādojumus. Tab. 38 aprēķināts apaļo kokmateriālu, papīrmalkas un malkas iznākums mežizstrādes apjomā. Visi aprēķini veikti uz mežizstrādes apjomu bez mizas, izņemot malku.

Tab. 36. Kokmateriālu veidu relatīvā sadalījuma aprēķins

Kokmateriālu veids	Aprēķins
STABI 18<	$[246]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
A 28<	$[247]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
28<	$[248]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
18-27,9	$[249]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
FIA 18<	$[250]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
FIB 18<	$[251]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
24<	$[252]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
18-23,9	$[253]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
Zemas kvalitātes zāgbaļķi 18<	$[254]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
14-17,9	$[255]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
10-13,9	$[256]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
12-17,9	$[257]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
6-9,9	$[258]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
PM 7-49,9	$[259]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$
Malka	$[260]=[7]*[83]^3+[8]*[83]^2+[9]*[83]+[10]$

Tab. 37. Dažādu veidu kokmateriālu relatīvā sadalījuma korekcija

Kokmateriālu veids	Aprēķins
STABI 18<	$[261]=IF([246]<0;0;[246])$
A 28<	$[262]=IF([247]<0;0;[247])$
28<	$[263]=IF([248]<0;0;[248])$
18-27,9	$[264]=IF([249]<0;0;[249])$
FIA 18<	$[265]=IF([250]<0;0;[250])$
FIB 18<	$[266]=IF([251]<0;0;[251])$
24<	$[267]=IF([252]<0;0;[252])$
18-23,9	$[268]=IF([253]<0;0;[253])$

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Kokmateriālu veids	Aprēķins
Zemas kvalitātes zāģbaļķi 18<	[269]=IF([254]<0;0;[254])
14-17,9	[270]=IF([255]<0;0;[255])
10-13,9	[271]=IF([256]<0;0;[256])
12-17,9	[272]=IF([257]<0;0;[257])
6-9,9	[273]=IF([258]<0;0;[258])
PM 7-49,9	[274]=IF([259]<0;0;[259])
Malka	[275]=100% - ([261]+[262]+[263]+[264]+[265]+[266]+[267]+[268]+[269]+[270]+ [271]+[272]+[273]+[274])

Tab. 38. Kokmateriālu iznākuma aprēķinu kopsavilkums

Parametrs	Mērvienība	ID
Zāģbaļķi (1.2.C & 1.2.NC)	m ³ ha ⁻¹	[276]=([261]+[262]+[263]+[264]+[265]+[266]+ [267]+[268]+[269]+[270]+[271]+[272])*[82]*(100%-[134])
Papīrmalka (10)	m ³ ha ⁻¹	[277]=[274]*[82]*(100%-[134])
Malka	m ³ ha ⁻¹	[278]=[275]*[82]

SEG EMISIJU SAMAZINĀJUMA APRĒĶINS

SEG emisiju samazinājumu nosaka oglekļa uzkrājuma atšķirības zemsedzes augu veģetācijā, kā arī oglekļa uzkrājuma izmaiņas pārējās oglekļa krātuvēs un SEG emisijas no augsnes. Zemsedzes augi vērtēti atsevišķi, jo tie nav ietverti dzīvās biomasas aprites vienādojumā un ietekmi uz šo krātuvi vērtē kā divu līdzsvara stāvokļa atšķirību.

Divu scenāriju aprēķina piemērs apmežošanas vai citam projektam, kas saistīts ar koku ieaudzēšanu nemeža zemēs, dots tab. 39. Aprēķinā atsevišķi izdalīts SEG emisiju samazinājums ar vai bez koksnes biokurināmā emisiju mazināšanas efektu.

Tab. 39. SEG emisiju samazinājuma aprēķina piemērs

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pārējos gados
Alternatīvais scenārijs			
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[279]=[107]
Oglekļa uzkrājums zemesdzēs augu biomasā	tonnas C ha ⁻¹		[280]=[21]+[22]
Darbības īstenošanas scenārijs			
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[281]=[244]
Neto SEG emisijas, neskaitot meža biokurināmā aizstāšanas efektu	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		[282]=[281]-[243]
Oglekļa uzkrājums zemesdzēs augu biomasā	tonnas C ha ⁻¹		[283]=[117]
Darbības īstenošanas ietekme			
Oglekļa uzkrājuma izmaiņas zemesdzēs augu biomasā	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	$[284]_1 = ([283]_1 - [280]_1) * 44 / 12$ kur [284] ₁ – oglekļa uzkrājuma izmaiņas pirmajā gadā; [283] ₁ – oglekļa uzkrājums zemesdzēs augu biomasā pirmajā gadā, īstenojot pasākumu; [280] ₁ – oglekļa uzkrājums zemesdzēs augu biomasā pirmajā gadā alternatīvajā scenārijā.	$[284]_n = ([283]_n - [280]_n) * 44 / 12 - ([284]_1 + \dots + [284]_{n-1})$ kur [284] _n – oglekļa uzkrājuma izmaiņas pārskata gadā; [283] _n – oglekļa uzkrājums zemesdzēs augu biomasā pārskata gadā, īstenojot pasākumu; [280] _n – oglekļa uzkrājums zemesdzēs augu biomasā pārskata gadā alternatīvajā scenārijā; [284] ₁ – oglekļa uzkrājuma izmaiņas pirmajā gadā; [284] _{n-1} – oglekļa uzkrājuma izmaiņas gadu pirms pārskata gada.

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Parametrs	Mērvienība	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pārējos gados
SEG emisiju samazinājums, neskaitot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		$[285]=[279]-[282]+[284]$
SEG emisiju samazinājums ar koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā		$[286]=[279]-[281]+[284]$
SEG emisiju samazinājums kumulatīvi, neskaitot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹		$[287]=[285]_1+\dots+[285]_n$ kur [285] ₁ – SEG emisiju samazinājums pirmajā gadā; [285] _n – SEG emisiju samazinājums pārskata gadā.
SEG emisiju samazinājums kumulatīvi ar koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹		$[288]=[286]_1+\dots+[286]_n$ kur [286] ₁ – SEG emisiju samazinājums pirmajā gadā; [286] _n – SEG emisiju samazinājums pārskata gadā.

**Pielikums 2: SEG emisiju aprēķinu metodika kārklu
atvasājiem**

PAMATINFORMĀCIJA

Kārķu atvasāju augšanas gaitu raksturo aprites (apsaimniekošanas cikls no pļaušanas līdz pļaušanai) ilgums, un apsaimniekošanas ciklu skaits pirms atvasāju atjaunošanas. Krājas pieaugums, kas ietverts aprēķinā, atbilst minimālajam krājas pieaugumam valsts atbalsta saņemšanai par atvasāju audzēšanu Zviedrijā. Labi apsaimniekotās plantācijās vidējais ikgadējais pieaugums var būt par 50% lielāks. Aprēķinā pieņemts, ka pazemes biomasas atmirums pēc izstrādes atbilst 90% no sakņu biomasā saistītā oglekļa un tā sadalīšanās notiek 10 gadu laikā. Augšanas gaitas raksturojums un ar to saistītie biomasas uzkrājuma izmaiņu aprēķinu vienādojumi doti tab. 40.

Koeficienti un pieņēmumi biomasas un oglekļa uzkrājuma raksturošanai doti tab. 41.

Tab. 40. Atvasāja augšanas gaitas raksturojums

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pārējos gados
Koku vecums	gadi	$[1]_1=0$	$[1]_n=IF([1]_{n-1}=[20]*[21];0;[1]_{n-1}+1)$
Atvasāju vecums	gadi	$[2]_1=[1]_1$	$[2]_n=IF([1]_n=0;0;IF([2]_{n-1}=[20];1;[2]_{n-1}+1))$
Krājas pieaugums	$m^3 ha^{-1}$ gadā	$[3]=-0,23059*[2]^3+0.87782*[2]^2+6.04873*[2]$	
Virszemes biomasas krāja	$m^3 ha^{-1}$	$[4]=([2]_1+...+[2]_n)-([11]_1+...+[11]_n)$	
Virszemes biomasas pieaugums	tonnas ha^{-1} gadā	$[5]=[3]*[14]$	
Pazemes biomasas pieaugums	tonnas ha^{-1} gadā	$[6]=[5]*[17]$	
Virszemes un pazemes biomasas pieaugums	tonnas ha^{-1} gadā	$[7]=[5]+[6]$	
Virszemes biomasas	tonnas ha^{-1}	$[8]=[4]*[14]$	
Pazemes biomasas	tonnas ha^{-1}	$[9]=[8]*[14]$	
Kopējā biomasas	tonnas ha^{-1}	$[10]=[8]+[9]$	
Nopļautā krāja	$m^3 ha^{-1}$ gadā	$[11]_1=0$	$[11]=if([2]=[20];([3]_1+...+[3]_n)-([11]_1+...+[11]_{n-1});0)$
Nopļautā biomasas	tonnas ha^{-1} gadā	$[12]=[11]*[14]$	
Pazemes biomasas atmirums	tonnas ha^{-1} gadā	$[13]=if([11]>0;[9]*[18];0)$	

Tab. 41. Biomasas raksturojums

Parametrs	Mērvienības	Vērtība
Koksnes blīvums	tonnas m^{-3}	$[14]=0,5$
Šķeldu bēruma blīvums	LV $m^3 m^{-3}$	$[15]=2,5$
Oglekļa saturs biomasā	tonnas C $tonnā^{-1}$	$[16]=0,5$

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Parametrs	Mērvienības	Vērtība
Pazemes un virszemes biomasas attiecība	-	[17]=0,3
Pazemes biomasas pēc izstrādes atmiruma koeficients	-	[18]=0,9
Nedzīvās koksnes sadalīšanās periods	gadi	[19]=10
Aprite periods	gadi	[20]=5
Aprite ciklu skaits	-	[21]=6

OGLEKĻA UZKRĀJUMA IZMAIŅU APRĒĶINS

Vienādojumi oglekļa uzkrājuma izmaiņu raksturošanai dzīvajā biomasā doti tab. 42. Vienādojumi oglekļa uzkrājuma raksturošanai doti tab. 43.

Tab. 42. Oglekļa uzkrājuma izmaiņas dzīvo augu biomasā

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pārējos gados
Ogleklis virszemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹		[22]=[8]*[16]
Ogleklis pazemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹		[23]=[9]*[16]
Ogleklis virszemes un pazemes biomasā	tonnas C ha ⁻¹		[24]=[22]+[23]
Oglekļa uzkrājuma izmaiņas biomasā	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[25] ₁ =[24] ₁	[25] _n =[24] _n -[24] _{n-1}

Tab. 43. Oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksne

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins pirmajā gadā (ja atšķiras no pārējiem)	Aprēķins pārējos gados
Oglekļa ienese ar nedzīvo koksni	tonnas C ha ⁻¹ gadā		[26]=[13]*[16]
Oglekļa zudumi no nedzīvās koksnes	tonnas C ha ⁻¹ gadā	[27] ₁ =-[26] ₁ /[19]	[27] _n =-((([26] ₁ +...+[26] _n)+([27] ₁ +...+[27] _{n-1}))/[19]
Oglekļa uzkrājuma izmaiņas nedzīvajā koksne	tonnas C ha ⁻¹ gadā		[28]=[26]+[27]
Oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksne	tonnas C ha ⁻¹		[29]=[28] ₁ +...+[28] _n

AIZSTĀŠANAS EFEKTA APRĒKINS

Biokurināmā aizstāšanas efekta aprēķinā pieņemts, ka atvasājos iegūto biomasu izmanto centralizētās siltumapgādes vai kombinētās siltuma un elektroenerģijas ražošanas sistēmās, kurās citādi izmantotu dabasgāzi. SEG emisiju samazinājums aprēķināts kā salīdzinājums starp abiem scenārijiem.

Aprēķinu pieņēmumi, tajā skaitā SEG emisijas biokurināmā un fosilā kurināmā sadedzināšanas rezultātā doti tab. 44. Oglekļa saturs šķeldās aprēķināts, izmantojot vienādojumu, kas dots tab. 45. Emisiju aprēķinu vienādojumi un izmantotie emisiju faktori atbilst Starptautiskā Klimata pārmaiņu padomes vadlīnijās izmantotajiem faktoriem (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanade, 2006).

Tab. 44. Ogleklis biokurināmajā

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins
Šķeldas	tonnas C ha ⁻¹	[30]=[11]*[14]*[16]

Tab. 45. Biokurināmā un aizstājamā fosilā kurināmā raksturojums (noklusētās vērtības)

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins
Emisiju faktori dabasgāzei		
Siltumspēja	MWh m ⁻³	[31]=0,0094
Katla lietderības koeficients	-	[32]=85%
CO ₂ emisiju faktors	tonnas CO ₂ MWh ⁻¹	[33]=0,1984
N ₂ O emisiju faktors	tonnas N ₂ O MWh ⁻¹	[34]=0,00000036
CH ₄ emisiju faktors	tonnas CH ₄ MWh ⁻¹	[35]=0,00000360
Biokurināmā raksturojums		
Siltumspēja	MWh tonna ⁻¹	[36]=4,9000
Katla lietderības koeficients	-	[37]=80%
N ₂ O emisiju faktors	tonnas N ₂ O MWh ⁻¹	[38]=0,000014
CH ₄ emisiju faktors	tonnas CH ₄ MWh ⁻¹	[39]=0,000108

Biomassas sadedzināšanas radīto emisiju aprēķinu vienādojumi doti tab. 46. Aizstājamā fosilā kurināmā sadedzināšanas radītās SEG emisiju aprēķinu vienādojumi doti tab. 47. SEG emisiju samazinājuma aprēķinu vienādojumi doti tab. 48.

Tab. 46. Biomassas sadedzināšanas radītās SEG emisijas

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins
Šķeldas	tonnas gadā	[40]=[30]/[16]
Aizstātās enerģijas daudzums	MWh gadā	[41]=[40]*[36]*[37]
N ₂ O emisijas sadedzinot biokurināmo	tonnas N ₂ O	[42]=[41]*[38]
CH ₄ emisijas sadedzinot biokurināmo	tonnas CH ₄	[43]=[41]*[39]

Tab. 47. Aizstājamā fosilā kurināmā radītās SEG emisijas

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins
Aizstātā fosilā kurināmā daudzums	m ³	[44]=[41]/[31]/[32]
CO ₂ emisijas no aizstājamā fosilā kurināmā	tonnas CO ₂	[45]=[44]*[31]*[33]
N ₂ O emisijas no aizstājamā fosilā kurināmā	tonnas N ₂ O	[46]=[44]*[31]*[34]
CH ₄ emisijas no aizstājamā fosilā kurināmā	tonnas CH ₄	[47]=[44]*[31]*[35]

Tab. 48. SEG emisiju samazinājums, aizstājot fosilo kurināmo

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins
CO ₂ emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[48]=[45]
N ₂ O emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[49]=[46]-[42]*298
CH ₄ emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[50]=[47]-[43]*25
Neto emisiju samazinājums	tonnas CO ₂ ekv. gadā	[51]=[48]+[49]+[50]

SEG EMISIJU APRĒĶINA KOPSAVILKUMS

SEG emisiju kopsavilkuma aprēķinā ietverta dzīvā biomasā, atmirums pazemes biomasā un biokurināmā radītais aizstāšanas efekts, kas kārklu atvasājos rada lielāko daļu SEG emisiju samazinājuma. Ikgadējo emisiju kopsavilkuma aprēķins parādīts tab. 49. Atvasāju audzēšana palielina oglekļa uzkrājuma pieaugumu augsnē (Krēsliņa u.c., 2020; Rose-Marie, 2012), taču Latvijā atvasāju audzēšanas ietekme uz augsni nav novērtēta ilglaicīgos novērojumos, tāpēc tā nav ņemta vērā aprēķinā.

Tab. 49. SEG emisiju kopsavilkums

Parametrs	Mērvienības	Aprēķins
CO ₂ emisijas no koku biomasas	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[52]=-[15]*44/12
CO ₂ emisijas no nedzīvās koksnes	tonnas CO ₂ ha ⁻¹ gadā	[53]=-[28]*44/12
Biokurināmā aizstāšanas efekts	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[54]=-[51]
Neto SEG emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹ gadā	[55]=[52]+[53]+[54]
Kumulatīvās SEG emisijas	tonnas CO ₂ ekv. ha ⁻¹	[56]=[55] ₁ +...+[55] _n

Pielikums 3: Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību katalogs

KLIMATA PĀRMAIŅU MAZINĀŠANAS DARBĪBAS ZIZIMM SEKTORĀ

Meža ieaudzēšana lauksaimniecībā izmantojamās zemēs ar organiskām augsnēm

Darbības ekonomiskais mērķis ir saražot kokmateriālus un koksnes biokurināmo lauksaimniecībā izmantojamās zemēs (LIZ) ar organisko augsni (organiskā oglekļa saturs augsnes virskārtā (līdz 20 cm dziļumā) ir vismaz 12%). Saskaņā ar Dānijā veiktu pētījumu rezultātiem emisiju samazinājumu var sasniegt arī LIZ, kur organisko vielu saturs ir 6% vai pat 3% (Petersen u.c., 2012); attiecīgi, darbības kopējais potenciāls Latvijā ir būtiski lielāks par šobrīd prognozēto. Klimata mērķis ir samazināt SEG emisijas no augsnes ZIZIMM un lauksaimniecības sektorā, nodrošināt CO₂ piesaisti visās oglekļa krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

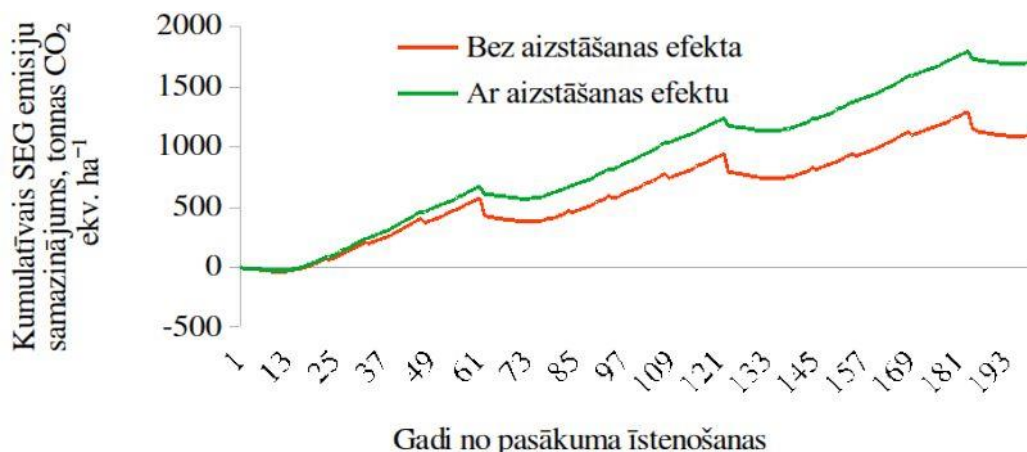
Darbības īstenošanai piemērotas LIZ ar organisko (kūdras un kūdraino) augsni. Pirms apmežošanas var būt nepieciešama slēgto meliorācijas sistēmu aizstāšana ar grāvju tīklu, kā arī esošo meliorācijas sistēmu atjaunošana. Darbības īstenošanu var ierobežot nosacījumi vietējās pašvaldības plānošanas dokumentos, ierobežojumi, kas saistīti ar dabas aizsardzības prasību izpildi, kā arī zemes īpašnieku nevēlēšanās samazināt ienākumus, kas pieejami tikai lauksaimniecībā izmantojamās zemēs (platības maksājumi).

Pirms darbības īstenošanas jānovērtē meliorācijas sistēmu stāvoklis un nepieciešamības gadījumā jāatjauno esošais grāvju tīkls un caurtekas, kā arī jāpārbūvē slēgtās meliorācijas sistēmas, to vietā ierīkojot grāvju tīklu. Augsnes sagatavošanu organiskās augsnēs jāveic ar ekskavatoru, veidojot pacilas vai stādvietas ar apvērstu velēnu un stādot 1500-2000 stādus uz ha. Organiskām augsnēm piemērotākās koku sugas ir melnalksnis, priede, bērzs un egle. Sugu izvēli nosaka nodrošinājums ar barības vielām un mitruma režīms. Pēc stādīšanas nepieciešama agrotehniskā kopšana (vismaz 3 reizes), bet pēc tam, kad koki sasniedz 6-9 m augstumu – jaunaudzū kopšanas cirte, 1-2 krājas kopšanas cirtes un galvenā cirte. Jaunaudzēs var būt nepieciešami augu aizsardzības pasākumi, lai pasargātu kociņus no dzīvnieku bojājumiem. Koksnes pelnu izmantošana pēc kopšanas cirtēm ļauj samazināt saimnieciskos riskus, palielināt pieaugumu un saīsināt aprites ilgumu. Aprites ilgums 40-60 gadi, plānojot mežizstrādi pēc mērķa caurmēra. Apmežotās platības ieteicams reģistrēt kā plantāciju mežus, lai izvairītos no iespējamajiem ierobežojumiem, kas saistīti ar galvenās cirtes mērķa caurmēra vai vecuma izmaiņām.

Darbības īstenošanai nav ierobežojumu, izņemot dabas aizsardzības prasības un vietējo pašvaldību teritorijas plānojumos noteiktos ierobežojumus. Nākotnē ierobežojumus var radīt dabas atjaunošanas regulas prasība pārslāpināt organiskās augsnes LIZ, taču šis ierobežojums, visticamāk, attieksies tikai uz organiskām augsnēm ar vismaz 40 cm dziļu kūdras slāni un arī šajās augsnēs būs iespējama apmežošana, ierīkojot pagaidu meliorācijas sistēmas; attiecīgi, vismaz īstermiņā nodrošinot būtisku SEG emisiju samazinājumu, bet ilgtermiņā realizējot dabas aizsardzības mērķus.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, kuras lielumu nosaka sākotnējais zemes izmantošanas veids, meliorācijas sistēmas stāvoklis, valdošā koku suga, aprites ilgums un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās apritēs pozitīvā ietekme samazinās, taču saglabājas būtiski lielāka nekā citiem pasākumiem, pateicoties SEG emisiju no augsnes samazinājumam.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls, stādot egli ar 60 gadus ilgu aprites ciklu, 50 gadu laikā ir 411 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ (att. 1). Papildus aizstāšanas efekts, tā novērtēšanai izmantojot 1. pielikumā doto metodiku, ir 91 tonna CO₂ ha⁻¹. Kopumā vienas aprites laikā šī darbība var nodrošināt vismaz 150 milj. tonnas CO₂ ekv. lielu emisiju samazinājumu.



Attēls 1. Organisko augšņu apmežošanas ar egli kumulatīvās ietekmes novērtējums

Darbības izmaksas pirmajos piecos gados 2021.-2022. gada vidējās cenās ir 1,6 tūkst. € ha⁻¹. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu atjaunošana un pārbūve. Izmaksas vienam aprites ciklam pašreizējās cenās ir ap 14 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā kopšana, meliorācijas sistēmu uzturēšana un mežizstrāde. Tīrie ienākumi vienā aprites ciklā, pārdodot papildus iegūtos kokmateriālus un koksnes biokurināmo, 2021.-2022. gada vidējās cenās ir ap 20 tūkst. € ha⁻¹. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā, pieņemot 10% diskonta likmi²⁸, ir 1,8 € tonna CO₂.

Meža ieaudzēšana mazāk vērtīgās lauksaimniecībā izmantojamās zemēs ar minerālaugsnēm

Darbības ekonomiskais mērķis ir saražot kokmateriālus un koksnes biokurināmo LIZ ar minerālaugsnī, kuru vērtība ballēs nepārsniedz 35. Klimata mērķis ir samazināt SEG emisijas no augsnes, nodrošināt CO₂ piesaisti visās oglekļa krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas visas LIZ ar minerālaugsnēm. Valsts atbalsta saņemšanu privātpersonām un fiziskām personām šobrīd ierobežo zemes vērtības robežvērtība – 30 balles. Pirms apmežošanas var būt nepieciešama slēgto meliorācijas sistēmu aizstāšana ar grāvju tīklu, kā arī esošo meliorācijas sistēmu atjaunošana. Apmežošanu var ierobežot nosacījumi vietējās pašvaldības plānošanas dokumentos, kā arī ierobežojumi, kas saistīti ar dabas aizsardzības prasību izpildi.

Pirms darbības īstenošanas jānovērtē meliorācijas sistēmu stāvoklis un nepieciešamības gadījumā jāatjauno esošais grāvju tīkls un caurtekas, kā arī jāpārbūvē slēgtās meliorācijas sistēmas, to vietā ierīkojot grāvju tīklu. Augsnes sagatavošanu var veikt ar ekskavatoru, veidojot pacilas vai apvēršot velēnu, vai izmantojot traktoram piekarināmu pacilotāju vai disku arklus. Rekomendējams stādījuma biežums 1500-2500 stādi uz 1 ha. Nabadzīgām augsnēm piemērotākās koku sugas ir priede un bērzs. Auglīgās augsnēs var stādīt egli un bērzu. Pēc stādīšanas nepieciešama agrotehniskā kopšana (vismaz 3 reizes), bet pēc tam, kad koki sasniedz 6-9 m augstumu – jaunaudžu kopšanas cirte, kuras laikā jau var gūt pirmos ienākumus, pārdodot koksnes biokurināmo, 1-2 krājas kopšanas cirtes un galvenā cirte. Jaunaudzēs, it īpaši priedes audzēs, var būt nepieciešami augu aizsardzības pasākumi, lai pasargātu kociņus no dzīvnieku bojājumiem. Minerālmēslojuma (NP) izmantošana pēc krājas kopšanas cirtēm ļauj palielināt pieaugumu un saīsināt aprites ilgumu. Rekomendējams aprites ilgums 40-60 gadi, plānojot mežizstrādi pēc mērķa caurmēra. Apmežotās platības ieteicams reģistrēt kā plantāciju mežus, lai izvairītos no iespējamajiem ierobežojumiem, kas saistīti ar galvenās cirtes mērķa caurmēra vai vecuma izmaiņām.

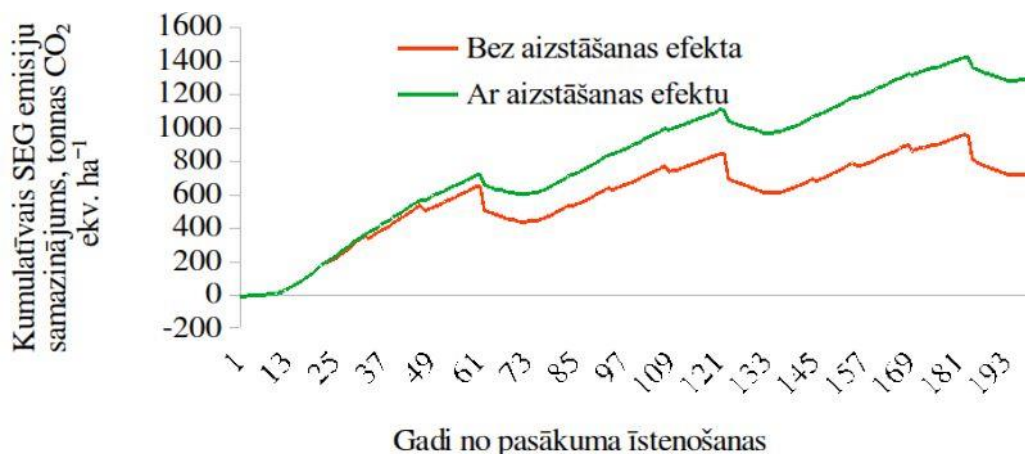
²⁸ Saskaņā ar likmēm, kas noteiktas, ilgtermiņa ieguldījumu patiesās vērtības noteikšanai MK 13.02.2018. noteikumos Nr. 87 paredzētajos gadījumos (<https://www.kase.gov.lv/metodika/diskonta-likmes>).

Darbības īstenošanai nav ierobežojumu, izņemot dabas aizsardzības prasībās un vietējo pašvaldību teritorijas plānojumos noteiktos ierobežojumus. Tāpat kā organisko augšņu apmežošanas gadījumā papildus ierobežojumus var radīt zemes īpašnieku nevēlēšanās samazināt ienākumus, kas pieejami tikai lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Darbība rada pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmajā desmitgadē pēc apmežošanas, uzlabojoties augsnes struktūrai, pieaug oglekļa zudumi no augsnes un īslaicīgi samazinās augsnes oglekļa uzkrājums (Petaja u.c., 2023), kas saistīts ar zemes veģetācijas sastāva izmaiņām.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko sākotnējais zemes izmantošanas veids, meliorācijas sistēmas stāvoklis, valdošā koku suga, aprites ilgums un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās apritēs pozitīvā ietekme samazinās, jo paralēli CO₂ piesaistei koku biomasā notiek CO₂ atbrīvošanās no nedzīvās koksnes, koksnes produktiem un citām oglekļa krātuvēm. Pozitīvo ietekmi var palielināt, izmantojot meža atjaunošanai selekcionētu stādmateriālu un jaunākajām zinātnes atziņām atbilstošas meža apsaimniekošanas metodes.

Siltumnīcefekta gāzu samazināšanas potenciāls, audzējot egli ar 60 gadus ilgu aprites ciklu, 50 gadu laikā ir 536 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ (att. 2). Papildus aizstāšanas efekts ir 67 tonnas CO₂ ha⁻¹. Kopumā vienas aprites laikā, apmežojot 150 tūkst. ha, šī darbība var nodrošināt ap 228 milj. tonnas CO₂ ekv. lielu emisiju samazinājumu, bet teorētiskais potenciāls apmežojot visas zemes, kuru vērtība nepārsniedz 35 balles, ir līdz 3 reizes lielāks.



Attēls 2. Minerālaugšņu apmežošanas ar egli kumulatīvās ietekmes novērtējums

Mazāk vērtīgo minerālaugšņu apmežošana nodrošina dabiskas meža ekosistēmas atjaunošanos iepriekš atmežotās platībās, sniedzot būtisku ieguldījumu dabas daudzveidības atjaunošanas mērķu īstenošanā. Apmežošana sekmēs arī ilgtermiņa klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu enerģētikas sektorā, būtiski palielinot meža biokurināmā piegādes ilgtermiņā.

Apmežošanas izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir ap 1,5 tūkst. € ha⁻¹. Izmaksas vienam aprites ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir ap 12 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā kopšana un mežizstrāde. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu atjaunošana vai pārbūve un uzturēšana. Tīrie ienākumi vienā aprites ciklā, pārdodot papildus iegūtos kokmateriālus un koksnes biokurināmo, pašreizējās cenās ir ap 22 tūkst. € ha⁻¹. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā, pieņemot 10% diskonta likmi, 50 gadu laikā ir 1,9 € tonna CO₂.

Vienlaidus ātraudzīgu kokaugu stādījumi lauksaimniecībā izmantojamās zemēs

Darbības ekonomiskais mērķis ir saražot kokmateriālus un koksnes biokurināmo mazāk vērtīgās LIZ. Klimata mērķis ir nodrošināt CO₂ piesaisti visās oglekļa krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas visas LIZ ar minerālaugsnēm. Valsts atbalsta saņemšanu šobrīd ierobežo zemes vērtības robežvērtība – 30 balles. Pirms kokaugu stādīšanas var būt nepieciešama slēgto meliorācijas sistēmu aizstāšana ar grāvju tīklu, kā arī esošo meliorācijas sistēmu atjaunošana. Darbības īstenošanu var ierobežot nosacījumi vietējās pašvaldības plānošanas dokumentos, kā arī ierobežojumi, kas saistīti ar dabas aizsardzības prasību izpildi. Pasākumu nav lietderīgi īstenot nelielās (mazākās par 1 ha, ja tās nav vairākas vienkopus esošas nelielas platības) platībās, lai samazinātu tehnikas pārvietošanas izmaksas, kā arī platībās, kas nav piekļūstamas ar lauksaimniecības tehniku.

Pirms darbības īstenošanas jānovērtē meliorācijas sistēmu stāvoklis un nepieciešamības gadījumā jāatjauno esošais grāvju tīkls un caurtekas, kā arī jāpārbūvē slēgtās meliorācijas sistēmas, to vietā ierīkojot grāvju tīklu. Kokaugu stādījumiem piemēroti ātraudzīgi apses un papeles hibrīdi, kuru ziemcietība Latvijā ir pārbaudīta. Pirms stādīšanas veic augsnes sagatavošanu (vienlaidus arums vai diskošana un kultivēšana). Pirms kokaugu stādījuma ierīkošanas platībā ieteicams atstāt zaļajā papuvē, lai samazinātu nezāļu daudzumu un uzlabotu augsnes struktūru. Stāda pavasarī – apses hibrīdu ietvarstādus stāda ar stādāmiem stobriem vai mašinizēti ar specializētām stādāmām mašīnām (piemērotas neliela izmēra stādiem), bet papeles hibrīdus (1,5-2 m garus spraudeņus) stāda mašinizēti. Lai nodrošinātu labu spraudeņu ieaugšanos augsnei jābūt sagatavotai tāpat kā pirms graudaugu sēšanas. Trīs līdz četrus gadus pēc stādīšanas nepieciešama agrotehniskā kopšana, iznīcinot konkurējošās nezāles, un augu aizsardzības pasākumi, izmantojot līdzekļus, kas atbaida lielos pārnadžus. Alternatīvs risinājums ir pagaidu vai pastāvīga žoga izbūvēšana ap kokaugu stādījumu, tāpēc būtiski, lai vienlaidus kokaugu stādījuma platība būtu iespējami liela un regulāras formas. Pēc tam, kad koki sasniedz 6-9 m augstumu, biežākos stādījumos var būt nepieciešama jaunaudžu kopšanas cirte, izvācot bojātos vai konkurējošos kokus. Parasti stādījuma biezums ir tāds, ka kopšanas cirtes nav nepieciešamas. Galveno cirti ar kailcirtes paņēmienu veic 20-25 gadus pēc stādīšanas. Pēc galvenās cirtes platību audzē kā atvasāju, jaunaudžu kopšanas cirtē izzāģējot liekos kokus. Stādījuma ataudzēšana no atvasēm ieteicama ne vairāk kā 2 reizes, rēķinoties ar to, ka pēdējā aprītē būtiski pieaugs mazāk vērtīgo kokmateriālu veidu un malkas īpatsvars. Pēc pēdējās aprites platība jārekultivē, izplēšot celmus, veicot augsnes apstrādi un stādot jaunu, slimībizzīdīgāku un ātraudzīgāku kokaugu klonu stādus. Celmus var izmantot kā kurināmo.

Kokaugu stādījums jāreģistrē kā plantāciju mežs. Latvijas normatīvos noteiktais ne vairāk kā 15 gadus ilgais aprites ilgums kokaugu stādījumiem nav ekonomiski pamatots, tāpēc šāda zemes izmantošanas veida izvēle ieteicama tikai tad, ja platībā plānots audzēt biokurināmo.

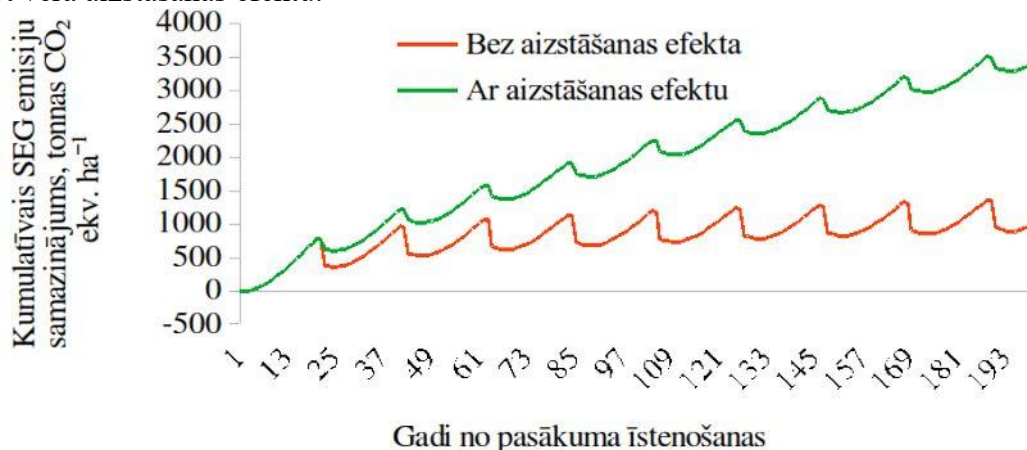
Darbības īstenošanu var ierobežot dabas aizsardzības prasības un vietējo pašvaldību teritorijas plānojumos noteiktās prasības zemes izmantošanai. Audzējot kokus ilgāk par 15 gadiem, zemes īpašnieks zaudē platības maksājumus, kas pienākas lauksaimniecībā izmantojamām zemēm.

Darbība rada tikai pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmajā desmitgadē pēc kokaugu stādījuma ierīkošanas, uzlabojoties augsnes struktūrai, pieaug oglekļa zudumi no augsnes un var īslaicīgi samazināties oglekļa uzkrājums augsnē (Laganière u.c., 2010; Reynolds, 2007).

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, kuras lielumu nosaka sākotnējais zemes izmantošanas veids, meliorācijas sistēmas stāvoklis, kokaugu suga, aprites ilgums un koksnes izmantošana. Otrajā un

turpmākajās aprītēs pozitīvā ietekme samazinās, jo paralēli CO₂ piesaistei koku biomasā notiek CO₂ atbrīvošanās no nedzīvās koksnes, koksnes produktiem un citām oglekļa krātuvēm.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls 20 gadus ilgam aprites ciklam 50 gadu laikā ir ap 471 tonnas CO₂ ha⁻¹, neskaitot aizstāšanas efektu (503 tonnas CO₂ ha⁻¹, att. 3). Latvijā nav veikts kokaugu stādījumu ierīkošanas potenciāla novērtējums, taču 10 tūkst. ha platībā viena aprites cikla (20 gadi) laikā šī darbība var nodrošināt ap 8 milj. tonnas CO₂ lielu emisiju samazinājumu, neņemot vērā aizstāšanas efektu.



Attēls 3. Papeles hibrīdu stādījumu ierīkošanas kumulatīvās ietekmes novērtējums

Viens no biežāk minētajiem problemātiskajiem aspektiem saistībā ar kokaugu stādījumu ietekmi uz dabas daudzveidību ir ģenētiski viendabīga materiāla izmantošanu lielās platībās, kas palielina dabisko traucējumu risku, tādēļ kokaugu stādījumos jāizmanto vairāki kloni, jānodrošina rūpniecisko klonu pastāvīga uzlabošana un stādījumu atjaunošanu, izmantojot jaunus un izturīgākus kokaugu klonus. Kokaugu stādījumu ierīkošana sekmēs ilgtermiņa klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu enerģētikas sektorā, būtiski palielinot meža biokurināmā piegādes ilgtermiņā.

Kokaugu stādījumu ierīkošanas izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir ap 2,5 tūkst. € ha⁻¹, taču stādījuma izmaksas būtiski ietekmē izraudzītais stādmateriāla veids, stādījuma biežums un citi faktori. Izmaksas vienam aprites ciklam (20 gadi) pašreizējās cenās ir ap 12 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā kopšana un mežizstrāde. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu atjaunošana vai pārbūve un uzturēšana, kā arī augu aizsardzības pasākumi un žoga izbūve. Tīrie ienākumi vienā aprites ciklā, pārdodot kokmateriālus un koksnes biokurināmo, pašreizējās cenās ir ap 13 tūkst. € ha⁻¹. CO₂ piesaistes izmaksas, pieņemot 10% diskonta likmi, 50 gadu laikā ir 0,7 € tonna CO₂.

Par 0,1 ha mazāku koku grupu ierīkošana ganībās

Darbības ekonomiskais mērķis ir samazināt izdevumus dzīvnieku ārstēšanai un palielināt izslaukumus, kā arī iegūt ekonomiskus labumus, pārdodot kokmateriālus un koksnes biokurināmo. Saskaņā ar Lauku attīstības (Agrovides) intervencu aprakstu 2023. gadam²⁹ koksnes produktu un biokurināmā ražošanas mērķis nav prioritārs, taču, ņemot vērā, ka kokaugu stādījumi ganībās ir periodiski jāatjauno, papildus ienākumu gūšana no koksnes pārdošanas var kļūt par būtisku argumentu par labu stādījuma atjaunošanai. Darbības klimata mērķis ir nodrošināt CO₂ piesaisti visās oglekļa krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas ganības ar minerālaugsnēm vai organiskām augsnēm, ja tās apsaimnieko kā ganības. Kokaugu grupu ierīkošanai (līdz 100 koki uz 1 ha) piemēroti reljefa pazeminājumi ganībās, kā arī vietas, kas dzīvniekiem nodrošina aizvēju. Koki stādāmi vairākās vai

²⁹ <https://www.lad.gov.lv/lv/katalogs/lauku-attistibas-agrovides-intervences-2023g>

vienā grupā – ne vairāk kā 100 koki vienlaidus platībā, kas nav lielāka par 0,05 ha. Kokaugu grupu ierīkošana var ierobežot dabas aizsardzības prasības. Kokaugu grupu ierīkošanai nav piemērotas periodiski pārplūstošas platības, kurās koki var periodiski ciest no pārlieta mitruma, taču, izvēloties koku sugas, kas panes periodisku applūšanu vai gruntsūdens līmeņa paaugstināšanos koku grupas var ierīkot arī reljefa pazeminājumos, vienlaikus nodrošinot arī barības vielu saistīšanas funkciju.

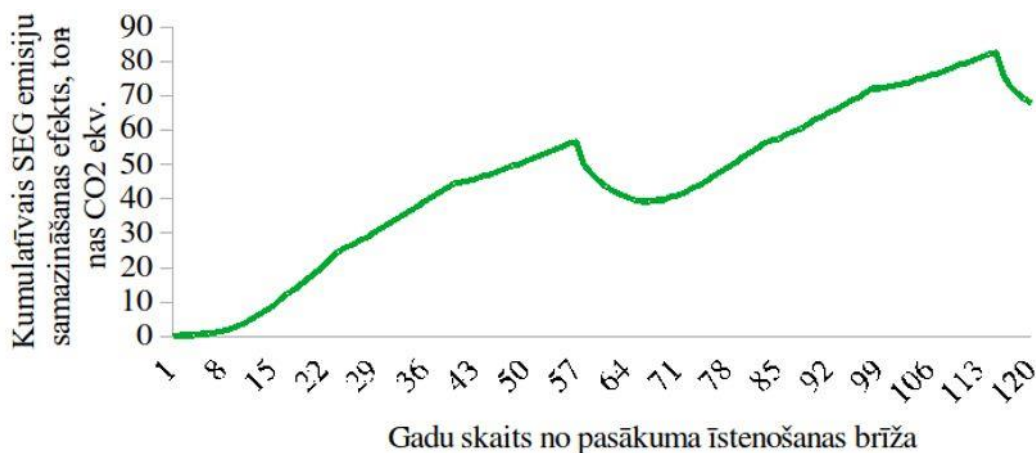
Pirms darbības īstenošanas jāizvēlas optimāls koku grupu izvietojums. Koku grupām jābūt viegli aizsniedzamām no dažādiem ganību sektoriem, tās nevajag ierīkot blakus ceļiem, kur dzīvniekus var traucēt garāmbraucošs transports, bet var novietot mežmalā, kur papildus aizvēju nodrošina meža sienu. Koku grupu izvietošanai piemēroti arī reljefa pazeminājumi ganībās, kur koku grupas papildus veiks arī ūdens attīrīšanas funkciju, aizturot barības vielas, kas ar lietus ūdeņiem skalojas uz ūdenskrātuvēm. Augsnes sagatavošanu vislabāk veikt ar ekskavatoru, veidojot pacilas vai apvēršot velēnu un stādot līdz 100 stādus līdz 0,05 ha lielā platībā. Ganībās var izvietot vairākas koku grupas, ja katras grupas platība nepārsniedz 0,05 ha, un kopējais koku skaits nepārsniedz 100 gab. ha⁻¹. Ganībām piemērotākas dažādas koku sugas, bet ātrāk izaugs bērzs, apse, alkšņi un komerciālie šo sugu hibrīdu kloni. Melnalksni ieteicams stādīt mitrākās vietās, kā arī vietās kur pastāv applūšanas risks. Pēc stādīšanas nepieciešama agrotehniskā kopšana (vismaz 3 reizes). Kopšanas cirtes koku grupās nav nepieciešama, bet galveno cirti var veikt pēc 20-60 gadiem, atkarībā no koku sugas un augšanas gaitas. Cirtes laiku neierobežo Meža likumā ietvertie nosacījumi koku zāģēšanai meža zemēs. Pēc mežizstrādes var veikt rekultivāciju, pārceļot koku grupu uz citu vietu, tādējādi pasargājot nākošās aprites kokus no inficēšanās ar slimībām, saskaroties ar iepriekšējās aprites koku atliekām, un iegūstot platību ar būtiski uzlabotu augsnes struktūru un būtiski palielinātu oglekļa saturu augsnē.

Darbības īstenošanai nav ierobežojumu, tās var ierīkot arī bioloģiski vērtīgos zālajos, taču kokaugu ieaudzēšanu var apgrūtināt periodiska applūšana, dzīvnieku bojājumi un citi dabiskie traucējumi.

Darbība rada pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmajā desmitgadē pēc apmežošanas, uzlabojoties augsnes struktūrai, var pieaug oglekļa zudumi no augsnes, taču zinātniski oglekļa uzkrājuma samazināšanās pierādījumi līdz šim nav publicēti.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko nosaka augšanas apstākļi, mitruma režīms, valdošā koku suga, aprites ilgums un koksnes izmantošana. Lielākā pozitīvā ietekme ir pirmajā aprītē, bet otrajā un turpmākajās aprītēs papildus CO₂ piesaistes un SEG emisiju samazināšanas efekts atkarīgs no tā, vai CO₂ piesaiste kokaugu biomasā ir lielāka nekā iepriekšējās aprītēs un vai produktos uzkrātās koksnes īpatsvars palielinās vai saglabājas sākotnējā līmenī. Papildus piesaisti var radīt arī kokaugu grupu pārnese uz citu vietu nākošajā aprītē.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls 60 gadus ilgam aprites ciklam 50 gadu laikā ir ap 48 tonnas CO₂ ha⁻¹ (att. 4). Aprēķinā ietverot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu, SEG emisiju samazinājums pieaug līdz 51 tonnām CO₂ ha⁻¹. Ierīkojot kokaugu stādījumus 100 tūkst. ha platībā, šī darbība var nodrošināt ap 3 milj. tonnām CO₂ atbilstošu emisiju samazinājumu, bet aizstāšanas efekts var nodrošināt papildus vēl 4 milj. tonnas CO₂ emisiju samazinājumu, jo kokaugu grupās, visticamāk, nevar rēķināties ar lielu augstvērtīgu kokmateriālu iznākumu.



Attēls 4. Kokaugu grupu ierīkošanas kumulatīvās ietekmes novērtējums (bez aizstāšanas efekta)

Kokaugu grupu ierīkošana ganībās palielina dabas daudzveidību un veido dzīves vidi dažādām augu un dzīvnieku sugām, tajā skaitā dažādo barības bāzi bitēm un citiem apputeksnētājiem. Koku grupas ir piemērota ligzdošanas vieta plēsīgajiem putniem, kas sekmē sīko grauzēju populācijas ierobežošanu apkārtējās teritorijās. Koksnes izmantošana sekmē arī ilgtermiņa klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu enerģētikas sektorā, palielinot koksnes biokurināmā piegādes ilgtermiņā.

Kokaugu grupu stādījumu ierīkošanas izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir ap 0,2 tūkst. € ha⁻¹. Izmaksas vienam aprītes ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir ap 1,3 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana un agrotehniskā kopšana. Papildus izmaksas var veidot augu aizsardzības pasākumi. Tīrie ienākumi vienā aprītes ciklā, pieņemot, ka kokaugu grupas periodiski nozāģē, lai iegūtu kokmateriālus un koksnes biokurināmo, pašreizējās cenās ir ap 1,6 tūkst. € ha⁻¹. CO₂ piesaistes izmaksas, pieņemot 10% diskonta likmi, 50 gadu laikā ir 2,2 € tonna CO₂.

Hidroloģiskā režīma uzlabošana mežos ar pārmitrām minerālaugsnēm

Darbības ekonomiskais mērķis ir uzlabot meža augšanas apstākļus, lai iegūtu vairāk kokmateriālu un koksnes biokurināmā platībās, kur koku augšanu ierobežo pārliets mitrums vai periodiska applūšana. Klimata mērķis ir samazināt SEG emisijas no augsnes, nodrošināt CO₂ piesaisti visās oglekļa krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas mežaudzes slapjainos, kur pārliets mitrums periodiski vai pastāvīgi ierobežo koku augšanu. Meliorācijas sistēmas var ierīkot vai paplašināt pēc atjaunošanas cirtes, tāpēc šo pasākumu lietderīgi plānot pieaugušās audzēs vai jāērķinās ar to, ka pozitīvais efekts izpaudīsies tikai nākamajā koku aprītē.

Darbībai nav piemērotas mežaudzes slapjainos, kur dabas aizsardzības prasības vai citi nosacījumi ierobežo meliorācijas sistēmu izbūvi, kā arī platības, kur noteces izveidošana prasa būtiskus ieguldījumus vai darbība ir grūti praktiski īstenojama, piemēram, notecei jāšķērso teritorijas ar saimnieciskās darbības ierobežojumiem.

Pirms darbības īstenošanas jāveic priekšizpēte, kuras ietvaros jānoskaidro, vai plānoto darbību neierobežo spēkā esošie normatīvi, jāizvēlas noteka, kurā novadīt ūdeņus, jāiezīmē aptuvens grāvju izvietojums, jānovērtē izmaksas un saimnieciskie ieguvumi. Ja meliorācijas sistēmas izbūve ir ekonomiski pamatota, balstoties uz priekšizpētes rezultātiem, jāizstrādā meliorācijas sistēmas tehniskais projekts. Meliorācijas sistēmu izbūvi ieteicams veikt pēc galvenās cirtes, kas nodrošina

būvdarbiem nepieciešamos līdzekļus, kā arī iespēju veikt mikromeliorācijas pasākumus (veidot ievalkas un dziļvagas ūdens novadīšanai no reljefa pazeminājumiem).

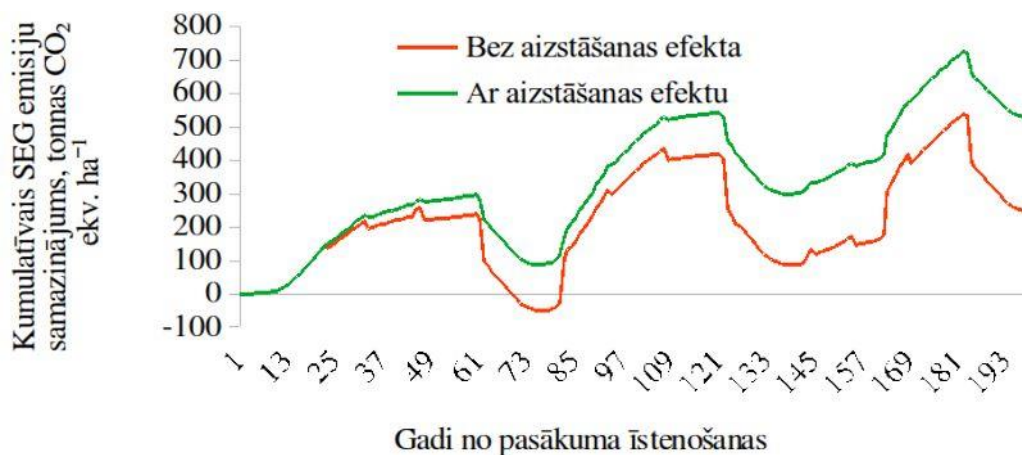
Meliorētajā platībā augsni sagatavo ar ekskavatoru, veidojot pacilas, bet reljefa pazeminājumus un grāvjus savienojot ar dziļvagām, stāda selekcionētu stādmateriālu, nepieciešamības gadījumā veic augu aizsardzības pasākumus. Mazāk auglīgās augsnēs (slapjais mētrājs) stāda priedi, slapjajā damaksnī var stādīt dažādas sugas, piemēram, priedi, egli, bērzu, bet auglīgākos meža tipos (slapjais vēris un slapjā gārša) ieteicams stādīt egli, bērzu vai melnalksni. Pēc stādīšanas jāveic agrotehniskā kopšana (3-4 reizes) un jaunaudžu kopšanas cirtes, lai izvāktu mērķa kokiem traucējošos kokus. Priedes audzēs būs nepieciešami papildus augu aizsardzības pasākumi, lai novērstu lielo pārnadžu bojājumus. Jaunaudžu kopšanas cirtē samazina koku skaitu līdz normatīvos pieļaujamajam minimālajam šķērslaukumam vai koku skaitam, lai kokiem būtu pietiekoši liela augšanas telpa. Arī krājas kopšanas cirtēs ievēro šo principu. Aprites laikā veic 2-3 krājas kopšanas cirtes, zāģējot "no apakšas", lai audze ātrāk sasniegtu mērķa caurmēru un to varētu atjaunot galvenajā cirtē. Pēc krājas kopšanas cirtes platībā var ienest minerālmēslojumu, pirms tam novērtējot mēslošanas nepieciešamību, lai paātrinātu koku augšanu un ātrāk sasniegtu audzes mērķa caurmēru. Periodiski jāveic meliorācijas sistēmu uzturēšanas un attīrīšanas darbi, tajā skaitā atjaunojot caurtekas un attīrot aizsērējušos grāvju posmus. Meliorācijas grāvju atjaunošana var būt nepieciešama pēc galvenās cirtes. Mežizstrādes laikā ir jācenšas neveidot rises, lai nepalielinātu CH₄ emisijas un neradītu labvēlīgus apstākļus dzīvsudraba metilācijas procesam un neveicinātu ūdeņu piesārņojumu ar šo smago metālu.

Darbības īstenošanu var ierobežot dabas aizsardzības noteikumi meža un apkārtesošo teritoriju apsaimniekošanā. Darbības īstenošanu var kavēt arī nepiemērots reljefs, kas var būtiski sadārdzināt noteces izveidošanu. Mežaudzēs, kas sertificētas FSC platformā, jaunu meliorācijas sistēmu izbūve var būt apgrūtināta, lai gan arī šādās platībās var izmantot dziļvagās un ievalkas, lai novērstu ūdens uzkrāšanos reljefa pazeminājumos.

Darbība rada pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmos gados pēc mežizstrādes, uzlabojoties mitruma apstākļiem, var pieaugt oglekļa zudumi no augsnes, ko var nekompensēt metāna (CH₄) un dislāpekļa oksīda (N₂O) emisiju samazināšanās. Neizbūvējot meliorācijas sistēmas, emisiju pieaugums pēc mežizstrādes ir būtiski lielāks, jo vienlaicīgi ar CO₂ emisijām pieaug arī CH₄ emisijas.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko ietekmē meliorācijas sistēmas stāvoklis, valdošā koku suga, aprites ilgums, mežsaimnieciskie pasākumi un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās aprītēs pozitīvā ietekme samazinās, jo paralēli CO₂ piesaistei koku biomasā notiek CO₂ atbrīvošanās no nedzīvās koksnes, koksnes produktiem un citām oglekļa krātuvēm. Pozitīvo ietekmi var palielināt, veicot meža mēslošanu un meža atjaunošanā izmantojot selekcionētu stādmateriālu, kas katrā nākamajā aprītē ļauj palielināt CO₂ piesaisti par 15-20%.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls egles audzei ar 60 gadus ilgu aprites ciklu ir ap 225 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ (4,6 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā). Aprēķinā ietverot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu, SEG emisiju samazinājums pieaug līdz 281 tonnām CO₂ ha⁻¹ (att. 5). Izbūvējot jaunas meliorācijas sistēmas 168 tūkst. ha platībā, šī darbība var nodrošināt ap 35 milj. tonnām CO₂ atbilstošu emisiju samazinājumu, bet aizstāšanas efekts var nodrošināt papildus vēl 40 milj. tonnas CO₂ kā aizstāšanas efektu.



Attēls 5. Meliorācijas sistēmu ierīkošanas slapjainos kumulatīvās ietekmes novērtējums

Meliorācijas sistēmu ierīkošana palielina mežaudžu noturību, samazinot dabisko traucējumu un mežaudžu bojāejas risku, tādējādi sniedzot ieguldījumu dabas daudzveidības saglabāšanā. Lielāka krāja uz platības vienību ļauj samazināt mežizstrādes ietekmētās meža platības, neietekmējot mežizstrādes apjomu un vienlaikus mazinot SEG emisijas mežizstrādes procesā. Papildus krājas pieaugums meliorētajās platībās sekmē ilgtermiņa klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu enerģētikas sektorā, palielinot meža biokurināmā piegādes ilgtermiņā.

Meliorācijas sistēmu ierīkošanas un mežsaimnieciskās darbības papildus izmaksas pirmajos piecos gados, salīdzinot ar esošās saimnieciskās darbības turpināšanu, esošajās cenās ir 1,7 tūkst. € ha⁻¹. Papildus izmaksas vienam aprites ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir 12,9 tūkst. € ha⁻¹, tajā skaitā mežizstrāde, bet ieņēmumi – 33,8 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas ir meliorācijas sistēmu projektēšana, izbūve un uzturēšana, augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā un sastāva kopšanas cirte, un mežizstrāde. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu atjaunošana aprites cikla beigās, kā arī papildus vides aizsardzības pasākumi noteces ūdeņu kvalitātes uzlabošanai. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā esošajās cenās ir 4,6 € tonna CO₂.

Hidroloģiskā režīma uzlabošana mežos ar pārmitrām organiskām augsnēm

Darbības ekonomiskais mērķis ir uzlabot augšanas apstākļus, lai iegūtu vairāk kokmateriālu un koksnes biokurināmā mežaudzēs ar organiskām augsnēm, kur koku augšanu ierobežo pārliets mitrums vai periodiska applūšana. Klimata mērķis ir samazināt SEG emisijas no augsnes, nodrošināt CO₂ piesaisti visās oglekļa krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas mežaudzes purvainos, kur pārliets mitrums periodiski vai pastāvīgi ierobežo koku augšanu. Meliorācijas sistēmas var ierīkot vai paplašināt pēc atjaunošanas cirtes, tāpēc šo pasākumu lietderīgi plānot pieaugušās audzēs. III-IV bonitātes audzēs obligāti jāplāno meža mēslošana. Darbībai nav piemērotas V vai zemākas bonitātes audzes, mežaudzes, kur dabas aizsardzības prasības vai citi nosacījumi ierobežo meliorācijas sistēmu izbūvi, kā arī platības, kur noteces izveidošana prasa būtiskus ieguldījumus vai darbība ir grūti praktiski īstenojama, piemēram, notecei jāšķērso teritorijas ar saimnieciskās darbības ierobežojumiem.

Pirms darbības īstenošanas jāveic priekšizpēte, kuras ietvaros jānoskaidro, vai plānoto darbību neierobežo spēkā esošie normatīvi, jāizvēlas noteka, kurā novadīt ūdeņus, jāieziņē aptuvenš grāvju izvietojums, jānovērtē izmaksas un saimnieciskie ieguvumi. Ja meliorācijas sistēmas izbūve ir ekonomiski pamatota, jāizstrādā meliorācijas sistēmas tehniskais projekts un jāķeras pie praktiskiem darbiem. Meliorācijas sistēmu izbūvi ieteicams veikt pēc galvenās cirtes, kas nodrošina

būvdarbiem nepieciešamos līdzekļus vai jāērēķinās, ka jaunākās audzēs efekts var izpausties tikai pēc atjaunošanas.

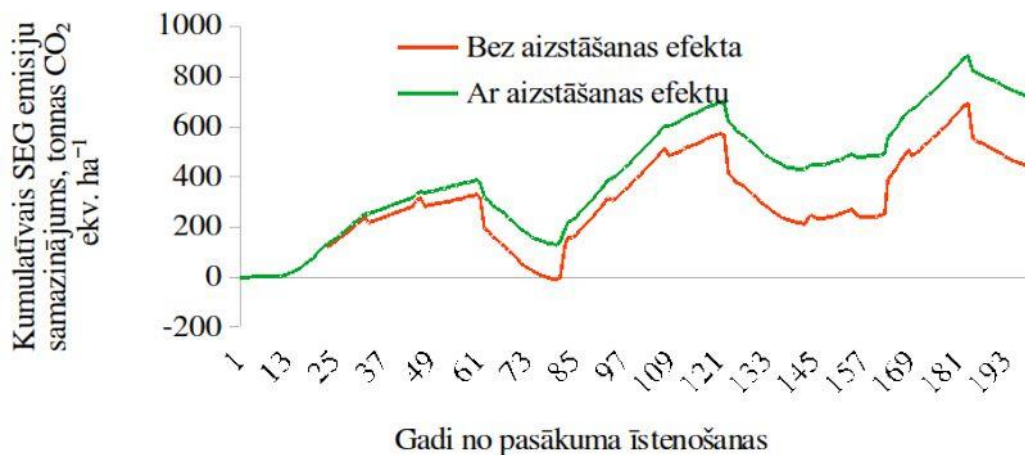
Meliorētajā platībā augsni sagatavo ar ekskavatoru, veidojot pacilas, bet reljefa pazeminājumus un grāvjus savienojot ar dziļvagām, stāda selekcionētu stādmateriālu, nepieciešamības gadījumā veic augu aizsardzības pasākumus. Mazāk auglīgās augsnēs (purvājā un niedrājā) stāda priedi, dumbrājā var stādīt dažādas sugas, tajā skaitā priedi, melnalksni, bērzu vai egli, bet liekņā ieteicams stādīt melnalksni vai bērzu. Pēc stādīšanas jāveic agrotehniskā kopšana (3-4 reizes) un jaunaudžu kopšanas cirtes, lai izvāktu mērķa kokiem traucējošos kokus. Priedes audzēs būs nepieciešami papildus augu aizsardzības pasākumi, lai novērstu lielo pārnadžu bojājumus. Jaunaudžu kopšanas cirtē samazina koku skaitu līdz normatīvos pieļaujamajam minimālajam šķērslaukumam vai koku skaitam, lai kokiem būtu pietiekoši liela augšanas telpa. Arī krājas kopšanas cirtēs ievēro šo principu. Aprites laikā veic 1-2 krājas kopšanas cirtes, zāgējot "no apakšas", lai audze ātrāk sasniegtu mērķa caurmēru un to varētu nozāgēt galvenajā cirtē. Kopšanas ciršu skaits mežos ar organiskām augsnēm pēc iespējas jāsamazina. Pēc krājas kopšanas cirtes platībā var ienest koksnes pelnus vai koksnes pelnu un minerālmēslojuma maisījumu, pirms tam novērtējot mēslošanas nepieciešamību, lai paātrinātu koku augšanu un ātrāk sasniegtu audzes mērķa caurmēru. Periodiski jāveic meliorācijas sistēmu uzturēšanas un attīrīšanas darbi, tajā skaitā atjaunojot caurtekas un attīrot aizsērējušos grāvju posmus. Mežos ar organiskām augsnēm grāvju attīrīšana var būt nepieciešama biežāk nekā minerālaugsnēs. Grāvju attīrīšanu pēc kopšanas cirtes var aizstāt ar koksnes pelnu ienešanu, kas paātrina koku augšanu un ūdens patēriņu. Meliorācijas grāvju atjaunošana var būt nepieciešama pēc galvenās cirtes.

Darbības īstenošanu var ierobežot dabas aizsardzības noteikumi meža un apkārtesošo teritoriju apsaimniekošanā. Darbības īstenošanu var ierobežot arī nepiemērots reljefs, kas var būtiski sadārdzināt noteces izveidošanu. Mežaudzēs, kas sertificētas FSC platformā, jaunu meliorācijas sistēmu izbūve var būt apgrūtināta, lai gan arī šādās platībās var izmantot dziļvagās un ievalkas, lai novērstu ūdens uzkrāšanos reljefa pazeminājumos.

Darbība rada pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmos gados pēc mežizstrādes, uzlabojoties mitruma režīmam, iespējama oglekļa zudumu no augsnes palielināšanās, ko var nekompensēt metāna (CH_4) un dislāpekļa oksīda (N_2O) emisiju samazināšanās. Neizbūvējot meliorācijas sistēmas, emisiju pieaugums pēc mežizstrādes ir būtiski lielāks, jo vienlaicīgi ar CO_2 emisijām pieaug CH_4 emisijas. Ilgtermiņā CO_2 emisijas no augsnes kompensē papildus oglekļa ienese augsnē ar koku nobirām (Butlers u.c., 2022, 2023).

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko ietekmē meliorācijas sistēmas stāvoklis, kūdras slāņa biezums, sastāvs un sadalīšanās pakāpe, valdošā koku suga, aprites ilgums, mežsaimnieciskie pasākumi un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās apritēs pozitīvā ietekme samazinās, jo paralēli CO_2 piesaistei koku biomasā notiek CO_2 atbrīvošanās no nedzīvās koksnes un koksnes produktiem, taču pozitīvais efekts otrajā un turpmākajās apritēs ir būtiski lielāks, pateicoties SEG emisiju no augsnes samazinājumam meliorētās platībās. Pozitīvo ietekmi var palielināt vēl vairāk, ienesot mežā mēslojumu un meža atjaunošanā izmantojot selekcionētu stādmateriālu, kas katrā nākamajā apritē ļauj palielināt CO_2 piesaisti par 15-20%.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls 50 gadu laikā egles audzei ar 60 gadus ilgu aprites ciklu ir 293 tonnas CO_2 ha⁻¹ (5,9 tonnas CO_2 ha⁻¹ gadā). Aprēķinā ietverot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu, SEG emisiju samazinājums pieaug līdz 349 tonnām CO_2 ha⁻¹ (att. 6). Izbūvējot jaunas meliorācijas sistēmas 100 tūkst. ha platībā, šī darbība var nodrošināt ap 33 milj. tonnām CO_2 atbilstošu emisiju samazinājumu, bet aizstāšanas efekts var nodrošināt papildus vēl 40 milj. tonnas CO_2 kā aizstāšanas efektu.



Attēls 6. Meliorācijas sistēmu ierīkošanas purvaiņos kumulatīvās ietekmes novērtējums

Meliorācijas sistēmu ierīkošana palielina mežaudžu noturību, samazinot dabisko traucējumu un mežaudžu bojāejas risku, tādējādi sniedzot ieguldījumu dabas daudzveidības saglabāšanā. Lielāka krāja uz platības vienību ļauj samazināt mežizstrādes ietekmētās meža platības, neietekmējot mežizstrādes apjomu un vienlaikus mazinot SEG emisijas mežizstrādes procesā. Papildus krājas pieaugums meliorētajās platībās sekmē ilgtermiņa klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu enerģētikas sektorā, būtiski palielinot meža biokurināmā piegādes ilgtermiņā.

Meliorācijas sistēmu ierīkošanas un mežsaimnieciskās darbības papildus izmaksas pirmajos piecos gados, salīdzinot ar esošās saimnieciskās darbības turpināšanu, esošajās cenās ir 1,8 tūkst. € ha⁻¹. Izmaksas vienam aprītes ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir 16,2 tūkst. € ha⁻¹, bet ieņēmumi – 33,8 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: meliorācijas sistēmu projektēšana, izbūve un uzturēšana, augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā un sastāva kopšanas cirte, un mežizstrāde. Papildus izmaksas veido meliorācijas sistēmu atjaunošana aprītes cikla beigās, kā arī papildus vides aizsardzības pasākumi noteces ūdeņu kvalitātes uzlabošanai. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā esošajās cenās ir 4,4 € tonna CO₂.

Koksnes pelnu izmantošana meža mēslošanai

Darbības ekonomiskais mērķis ir veicināt koksnes papildpieaugumu un mazināt dabisko traucējumu risku, lai palielinātu apaļo kokmateriālu un meža biokurināmā iznākumu. Klimata mērķis ir palielināt CO₂ piesaisti meža zemēs, veicinot koksnes papildpieaugumu un oglekļa akumulāciju visās krātuvēs.

Mēslojuma pielietošanai piemērotas II-V bonitātes egles, priedes un bērza audzes ar meliorētām organiskām augsnēm (kūdreņi), kur ir atļauta saimnieciskā darbība, un citi vides apstākļi, piemēram, slikts meliorācijas sistēmu tehniskais stāvoklis, neierobežo koku augšanu. Arī augstāku bonitāšu mežaudzēs periodiski var pasliktināties augšanas apstākļi, jo organiskās augsnēs ir vairākas reizes mazākas fosfora un kālija rezerves nekā minerālaugsnēs, un strauji augošās audzēs barības vielu rezerves var izsīkt. Ekonomiskie mērķi pilnībā īstenojami II-III bonitātes audzēs, kur atļauta galvenā cirte ar kailcirtes metodi.

Koksnes pelnu pielietošana nav lietderīga mežaudzēs ar pārmitrām kūdras augsnēm (purvaiņos), platībās, kur nav veikta kopšanas cirte. Minerālaugsnēs koksnes pelnus var aizstāt ar fosfora un kālija minerālmēslojumu. Zemāko bonitāšu (III-IV) audzēs koksnes pelni var būt efektīvāki, ja tos izklieš kopā ar slāpekļa mēslojumu. Kopšanas cirtē saglabājamo koku šķērslaukumam jābūt tuvu minimālajam, lai nodrošinātu pietiekoši lielu augšanas telpu, pretējā gadījumā koksnes pelnu efekts neizpaudīsies un papildus pieaugums neveidosies, lai arī koksnes pelnu izkliešana arī šādās audzēs mazinās dabisko traucējumu risku, uzlabojot koku vitalitāti.

Pirms izkliedēšanas pelni ir jāapstrādā, sajaucot ar ūdeni un ļaujot izreaģēt ar gaisā esošo CO₂. Apstrādes process ilgst dažus mēnešus. Apstrādes rezultātā no kālija, kalcija un magnija oksīdiem veidojas hidroksīdi un tad karbonāti, kas ir mazāk aktīvi, nerada augu apdegumus un lēnāk izskalojas no augsnes. Apstrādes rezultātā pelni sacietē, veidojot sliktas kvalitātes betonam līdzīgu granšainu masu, taču pelnus var pārstrādāt arī granulās un ar formas presi sagatavotās “desiņās”. Šis materiāls ir viegli izkliedējams ar minerālmēslojuma kaisīšanai vai ceļu uzturēšanai piemērotu tehniku.

Koksnes pelnus izkliedē mežaudzēs pēc krājas kopšanas cirtes, izmantojot lauksaimniecības traktortehniku vai mēslojuma izkliedēšanai pielāgotu meža tehniku un braucot pa kopšanas cirtē izzāģētajiem tehnoloģiskajiem koridoriem. Lai nodrošinātu vienmērīgu izkliedēšanu, mēslojums jāizkliedē pēc iespējas plašākās, pārklājošās joslās. Koksnes pelnus var izkliedēt visu gadu, tomēr piemērotākais laiks pelnu izkliedēšanai ir ziema, kad augsne ir sasalusi, vai vasara, ja grunts nestspēja ir pietiekoša.

Koksnes pelnu deva ir 3-5 tonnas ha⁻¹, taču devu var palielināt līdz 10 tonnām, lai palielinātu ietekmes ilgumu. Pelnu ieneses nepieciešamību vērtē, veicot kopšanas cirtē nozāģēto koku lapu un skuju analīzes un salīdzinot rezultātu, piemēram, ar Somijā izstrādātajā rekomendācijām par optimālu fosfora un kālija saturu. Latvijā šādas barības vielu nodrošinājuma robežvērtību tabulas pagaidām nav izstrādātas. Mēslojumu var izmantot vairākas reizes aprites ciklā, ik pēc 7-10 gadiem vai pēc katras kopšanas cirtes. Koksnes pelni jāpielieto tā, lai nepalielinātu koku, tajā skaitā sakņu, bojājumus. Veicot kopšanas cirtes biežāk un saīsinojot apriti (līdz 40-60 gadiem) koksnes pelni, tāpat kā minerālmēslojums, var vismaz dubultot CO₂ piesaisti mežā 200 gadu laikā.

Koksnes pelnu izmantošana nav ieteicama teritorijās ar saimnieciskās darbības ierobežojumiem, kā arī mežaudzēs, kur aug saimnieciski mazāk vērtīgu koku sugas. Mežaudzēs ar auglīgām augsnēm, kā arī sabiezinātās audzēs mēslojuma efekts var neizpausties, jo šādās audzēs barības vielu pieejamība neierobežo koku augšanu vai arī kokiem pietrūkst augšanas telpas, lai veidotu papildpieaugumu. Taču arī šādās platībās koksnes pelnu izkliedēšana mazina dabisko traucējumu risku.

Ietekme ilgst vismaz 5-10 gadus pēc pelnu izkliedēšanas, bet zemākas bonitātes audzēs tā saglabājas visā aprites laikā. Lai nodrošinātu ilgtermiņa efektu, koksnes pelnu ienese jāatkārto, kā arī savlaicīgi jāveic kopšanas cirtes. Lai nodrošinātu pelnu efektu, ir savlaicīgi un pietiekoši intensīvi jāveic kopšanas cirtes un jāuztur meliorācijas sistēmas labā tehniskā stāvoklī.

Siltumnīcefekta gāzu samazināšanas potenciāls 50 gadu laikā egles audzei ar 60 gadus ilgu aprites ciklu ir 124 tonnas CO₂ ha⁻¹ (2,5 tonnas CO₂ ha⁻¹ gadā, att. 7). Biokurināmā aizstāšanas efekts būtiski neietekmē SEG emisiju samazinājumu pirmajās desmitgadēs. Izmantojot koksnes pelnus vidēji 4 tūkst. ha platībā katru gadu, šī darbība 25 gadu laikā var nodrošināt ap 11 milj. tonnām CO₂ atbilstošu emisiju samazinājumu, neskaitot aizstāšanas efektu.



Attēls 7. Pelnu izmantošanas kūdreņos kumulatīvās ietekmes novērtējums

Pelnu izkliedēšana mežos ar augstā un pārejas purva kūdras augsnēm var izraisīt izmaiņas zemeszemes veģetācijā, ieviešoties sugām, kas raksturīgas auglīgākiem meža tipiem. Pelnu izkliedēšana veicina mikrobioloģisko aktivitāti augsnē, kā rezultātā īslaicīgi var pieaugt CO₂ emisijas no augsnes.

Pelnu izkliedēšanas izmaksas 2022. gada cenās ir 120 € ha⁻¹. Somijā meža īpašnieki maksā par pelnu izkliedēšanu līdz 300-400 € ha⁻¹, tajā skaitā koksnes pelnu piegāde, apstrāde un samaksa par koksnes pelniem pelnu ražotājiem. Somijā situācija ir citāda nekā Latvijā, jo tur koksnes pelnu pieprasījums pārsniedz piedāvājumu.

Izmaksas vienam aprītes ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir ap 400 € ha⁻¹, bet Somijā – 1000-1200 € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: iekraušana un izkliedēšana. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu periodā eglei ar 60 gadu aprītes ciklu, pieņemot 10% diskonta likmi, ir 4,5 € tonna CO₂.

Meža mēslošana ar slāpekļa minerālmēslojumu

Darbības ekonomiskais mērķis ir veicināt koksnes papildpieaugumu, kas palielina apaļo kokmateriālu un meža biokurināmā iznākumu. Klimata mērķis ir palielināt CO₂ piesaisti, veicinot koksnes papildpieaugumu un oglekļa uzkrāšanos visās krātuvēs.

Mēslojuma pielietošanai piemērotas II-V bonitātes egles, priedes un bērza audzes ar sausām un meliorētām minerālaugsnēm, kur ir atļauta saimnieciskā darbība, un citi vides apstākļi neierobežo koku augšanu. Ekonomiskie mērķi pilnībā īstenojami II-III bonitātes audzēs, kur atļauta galvenā cirte ar vienlaidus cirtes metodi.

Minerālmēslojuma pielietošana nav lietderīga mežaudzēs ar pārmitrām minerālaugsnēm un kūdras augsnēm (slapjainos, purvainos un kūdreņos), platībās, kur nav veikta kopšanas cirte, augstāko bonitāšu (Ia-I) audzēs ar sausām vai meliorētām minerālaugsnēs kā arī baltalkšņa un melnalkšņa audzēs. Kūdreņos slāpekļa mēslojums vairumā gadījumu būs efektīvs tikai kopā ar fosfora un kālija mēslojumu vai koksnes pelniem. Kopšanas cirtē saglabājamo koku šķērslaukumam jābūt tuvu minimālajam, lai nodrošinātu pietiekoši lielu augšanas telpu, pretējā gadījumā mēslojuma efekts neizpaudīsies.

Mēslojumu izkliedē mežaudzēs pēc krājas kopšanas cirtes, izmantojot lauksaimniecības traktortehniku vai mēslojuma izkliedēšanai pielāgotu meža tehniku un braucot pa kopšanas cirtē izzāģētajiem tehnoloģiskajiem koridoriem. Lai nodrošinātu vienmērīgu izkliedēšanu, mēslojums jāizkliedē pēc iespējas plašākās, pārklājošās joslās. Mēslojumu vislabāk izkliedēt veģetācijas sezonas sākumā, taču to var darīt arī vasarā.

Mežā izmanto slāpekli (deva 100-150 kg N ha⁻¹) vai kompleksu slāpekļa un fosfora (P deva 25-50% no N devas) mēslojumu. Fosfora ieneses nepieciešamību vērtē, veicot kopšanas cirtē

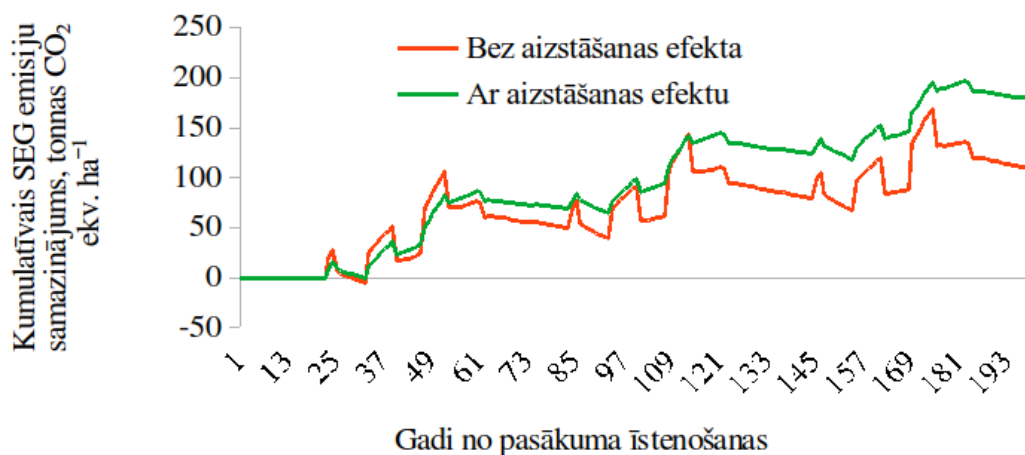
nozāgēto koku lapu un skuju analīzes, un, salīdzinot rezultātu, piemēram, ar Somijā izstrādātajā rekomendācijām par optimālu fosfora saturu. Mēslojumu var izmantot vairākas reizes aprites cikla laikā, ik pēc 7-10 gadiem, ja audze nav pārbiezināta, vai pēc katras kopšanas cirtes. Veicot kopšanas cirtes biežāk un saīsinot apriti (līdz 40-60 gadiem) mēslojums var dubultot CO₂ piesaisti mežā 200 gadu laikā.

Mēslojuma izmantošana nav ieteicama teritorijās ar saimnieciskās darbības ierobežojumiem, kā arī mežaudzēs, kur aug saimnieciski mazāk vērtīgu koku sugas, jo šādās platībās nevarēs pilnībā īstenot meža mēslošanas ekonomiskos mērķus. Mežaudzēs ar auglīgām augsnēm, kā arī sabiezinātās audzēs, mēslojuma efekts var neizpausties, jo šādās audzēs barības vielu pieejamība neierobežo koku augšanu vai arī kokiem pietrūkst augšanas telpas, lai veidotu papildpieaugumu.

Darbības rezultātā rodas papildus N₂O emisijas no minerālo mēslošanas līdzekļu pielietošanas. To apjoms ir 2-5% no papildus radītās CO₂ piesaistes. Darbības rezultātā var palielināties degvielas patēriņš meža darbos, taču attiecība starp patērēto degvielu un iegūto koksni uzlabojas, t.i., tehnikas radītās SEG emisijas uz vienu piesaistīto CO₂ vienību samazinās. Nabadzīgu augšņu ielabošana var izraisīt izmaiņas zemesdzīves veģetācijā, ieviešoties sugām, kas raksturīgas auglīgākiem augšanas apstākļiem.

Ietekme ilgst 5-10 gadus pēc mēslojuma izkliedēšanas. Lai nodrošinātu ilgtermiņa efektu, mēslojuma ienese jāatkārto, kā arī savlaicīgi jāveic kopšanas cirtes.

Papildpieaugums meža augsnes ielabošanas rezultātā var nodrošināt 39 milj. tonnas CO₂ lielu papildus piesaisti divu meža apsaimniekošanas ciklu laikā, ja vērtē tikai īstermiņa ietekmi, neņemot vērā aprites cikla saīsināšanu. Vienas mēslojuma pielietošanas reizes efekts atbilst aptuveni 25 tonnām CO₂ ha⁻¹; attiecīgi, apsaimniekošanas ciklā šis efekts var sasniegt 77 tonnas CO₂ ha⁻¹ (att. 8).



Attēls 8. Minerālmēsļu izmantošanas kūdreņos kumulatīvās ietekmes novērtējums

Augsnes ielabošanas izmaksas 2022. gada cenās, tajā skaitā mēslojums, ir 350 € ha⁻¹. Līdzīgas meža mēslošanas izmaksas 2022. gadā bija Somijā, taču, augot minerālmēsļu cenām, arī mēslojuma izmantošanas izmaksas mežā pieaug. Izmantojot arī fosfora mēslojumu, meža mēslošanas izmaksas pieaugs līdz 540 € ha⁻¹.

Izmaksas vienam aprites ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir ap 1100 € ha⁻¹, bet, izmantojot slāpekļa un fosfora mēslojumu – līdz 1600 € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: mēslojuma iegāde, transportēšana un izkliedēšana. Papildus izmaksas ir skuju un lapu ķīmiskā sastāva analīzes, ap 50 € vienai cirsmi. CO₂ piesaistes izmaksas, neskaitot ieņēmumus no koksnes pārdošanas, 50 gadu laikā ir 12 € tonna CO₂.

Dabiskas, pārslapinātas meža ekosistēmas atjaunošana organiskās augsnēs lauksaimniecībā izmantojamās zemēs

Darbības ekonomiskais mērķis ir saražot kokmateriālus un koksnes biokurināmo LIZ ar organisko augsni, kur kūdras slāņa biezums ir vismaz 40 cm un kur nav lietderīga meliorācijas sistēmu atjaunošana vai uzturēšana. Darbības klimata mērķis ir nodrošināt CO₂ piesaisti kokaugu biomasā, nedzīvajā koksne un koksnes produktos krātuvēs un aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā. Darbības primārais mērķis ir nodrošināt dabas atjaunošanas regulas eventuālo prasību izpildi bioloģiskās daudzveidības saglabāšanā.

Darbības īstenošanai piemērotas LIZ ar dziļu organisko augsni, kur nav lietderīga mērķtiecīga meža apsaimniekošana, uzturot optimālu mitruma režīmu, kā arī platībās, kur plānoti dabas atjaunošanas pasākumi. Arī šajā darbības var būt nepieciešama slēgtu meliorācijas sistēmu aizstāšana ar grāvju tīklu, kā arī esošo meliorācijas sistēmu atjaunošana, lai jaunaudžu vecumā, kamēr kokaudze vēl nespēj regulēt gruntsūdens līmeni, palīdzētu aizvadīt lieko ūdeni. Pēc tam meliorācijas sistēmas var neatjaunot vai pakāpeniski paaugstināt gruntsūdens līmeni, ļaujot kokaudzei adaptēties jaunajiem apstākļiem.

Apmežošanu var ierobežot nosacījumi vietējās pašvaldības plānošanas dokumentos, ierobežojumi, kas saistīti ar dabas aizsardzības prasību izpildi, kā arī reljefa vai augsnes materiāla īpatnības, kas neļaus īstenot dabas atjaunošanas vai citus mērķus.

Pirms darbības īstenošanas jānovērtē meliorācijas sistēmu stāvoklis un nepieciešamības gadījumā jāatjauno esošais grāvju tīkls un caurtekas, kā arī jāpārbūvē slēgtās meliorācijas sistēmas, to vietā ierīkojot grāvju tīklu. Augsnes sagatavošanu organiskās augsnēs vislabāk veikt ar ekskavatoru, veidojot pacilas un stādot 1500-2000 stādus uz platības vienību. Gatavojot augsni, patībā ir jāierīko dziļvagas, lai novērstu ūdens uzkrāšanos reljefa pazeminājumos vai novadītu ūdeni uz dziļākajiem reljefa pazeminājumiem. Slēdzot meliorācijas sistēmas, jānovērs situācija, ka vecie grāvji pievada ūdeni uz apmežojamo platību. Organiskām augsnēm piemērotākās koku sugas ir melnalksnis un bērzs. Priedi ieteicams stādīt mazāk auglīgās pārejas purva kūdras augsnēs. Pēc stādīšanas nepieciešama agrotehniskā kopšana (vismaz 3 reizes), bet pēc tam, kad koki sasniedz 6-9 m augstumu – jaunaudžu kopšanas cirte, 1-2 krājas kopšanas cirtes un galvenā cirte ar pakāpeniskās joslu vai izlases cirtes paņēmieni, lai saglabātu kokaudzes spēju regulēt gruntsūdens līmeni. Jaunaudzēs var būt nepieciešami augu aizsardzības pasākumi, lai pasargātu kociņus no dzīvnieku bojājumiem. Koksnes pelnu izmantošana pēc kopšanas cirtēm ļauj palielināt pieaugumu un saīsināt aprites ilgumu, kā arī palīdz kokaudzei efektīvāk regulēt gruntsūdens līmeni, pateicoties straujākai koku augšanai. Aprites ilgums 60-80 gadi, reģistrējot audzi kā plantāciju mežu, lai normatīvi neierobežo optimāla mežizstrādes termiņa izvēli. Aprites ilgumu var arī saīsināt, ja augšanas apstākļi ir pietiekoši labi.

Darbības īstenošanai nav ierobežojumu, izņemot dabas aizsardzības prasībās un vietējo pašvaldību teritorijas plānojumos noteiktos ierobežojumus, kā arī darbība nav īstenojama platībās, kur meliorācijas sistēmu slēgšana būtiski pasliktinātu hidroloģisko režīmu apkārt esošajās LIZ vai meža zemēs.

Darbības ietekmē var pieaugt metāna (CH₄) emisijas no augsnes, kā arī palielinās dabisko traucējumu risks, būtiski mazinot sagaidāmo pozitīvo ietekmi vai pat palielinot SEG emisijas, salīdzinot ar esošo stāvokli. Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko nosaka sākotnējais zemes izmantošanas veids, hidroloģiskais režīms, valdošā koku suga, aprites ilgums un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās aprītēs pozitīvā ietekme samazinās.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls bērzam ar 60 gadus ilgu aprites ciklu ir ap 248 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ (5 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā, att. 9). Kopumā vienas aprites laikā šī darbība var nodrošināt aptuveni 28 milj. tonnas CO₂ ekv. lielu emisiju samazinājumu, ja darbību

īsteno 50% no organiskajām augsnēm LIZ. Emisiju samazinājums ir 3,5 reizes mazāks nekā tad, ja šajās platībās atteiktos no pārslāpīšanas, tomēr pagaidu meliorācijas sistēmu ierīkošana var nodrošināt to, ka SEG emisiju mazināšanas efekts sākumā ir tikpat liels kā meliorētu organisko augšņu apmežojumos.



Attēls 9. Apmežošanas un gruntsūdens līmeņa paaugstināšanas kumulatīvās ietekmes novērtējums

Organisko augšņu apmežošana nodrošina dabiskas meža ekosistēmas atjaunošanos iepriekš atmežotās platībās, sniedzot būtisku ieguldījumu dabas daudzveidības palielināšanas mērķu īstenošanā.

Apmežošanas izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir 1,5 tūkst. € ha⁻¹. Izmaksas vienam aprītes ciklam (70 gadi) pašreizējās cenās ir ap 7,9 tūkst. € ha⁻¹, tajā skaitā mežizstrāde, bet ieņēmumi – 18,5 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas ir augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā kopšana, meliorācijas sistēmu uzturēšana un mežizstrāde. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu atjaunošana, pārbūve un pakāpeniska slēgšana.

CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā esošajās cenās ir ap 5,2 € tonna CO₂. CO₂ emisiju samazinājuma izmaksas var būtiski ietekmēt palielināts dabisko traucējumu risks pēc gruntsūdens līmeņa paaugstināšanas.

Kokaugu joslu stādījumi gar meliorācijas sistēmām un ceļu nodalošajām joslām

Darbības ekonomiskais mērķis ir uzlabot apstākļus lauksaimnieciskajai darbībai kokaugu joslu ietekmētajās LIZ, samazinot dabisko traucējumu radītos zaudējumus, dažādot ražošanu lauku saimniecībās un iegūt papildus ieņēmumus, pārdodot kokmateriālus un koksnes biokurināmo. Klimata mērķis ir palielināt oglekļa uzkrājumu zemesaugu biomasā.

Darbības īstenošanai piemērotas LIZ, kas robežojas ar meliorācijas grāvjiem un kur lauku platība ir pietiekoši liela kokaugu joslu stādījumu ierīkošanai. Kokaugu joslas ierīkojamas valdošo vēju ceļā, rēķinoties ar to, ka 20 m augstu koku josla uzlabo augšanas apstākļus aptuveni 60 m platā joslā; attiecīgi, nav lietderīgi kokaugu joslas ierīkot tuvāk par 60 m vienu no otras. Kokaugu joslas ieteicams veidot, kā paugurus, abpus kokiem stādot krūmu joslas, lai vējš paceltos virs kokiem, nevis lauztos caur koku rindām.

Teritorijas ar saimnieciskās darbības ierobežojumiem, kur nav atļauta kokaugu joslu stādīšana, mežmalas, kur kokaugu joslas efektu nodrošina meža siena (šādās vietās kokaugu vai krūmu josla sekmē vides aizsardzības mērķu sasniegšanu, saistot barības vielas). Kokaugu joslu ierīkošana nav ieteicama vietās, kur tās var apdraudēt gaisa elektrolīnijas, vai teritorijā ir pazemes

infrastruktūra, tajā skaitā drenu kanāli. Vietās, kur kokaugu josla šķērso drenu kanālu, var izrakt grāvi (paplašinājumu) vai izmantot kanalizācijas caurules, kuras nevar aizaut ar koku saknēm. Saskaņā ar spēkā esošajiem normatīviem kokaugu joslu stādījumi nekvalificējas platības maksājumu saņemšanai, tāpēc šīs platības jāizņem no lauku reģistra vai jāreģistrē kā kokaugu stādījumi, paredzot apsaimniekošanu ar 15 gadus ilgu rotācijas periodu.

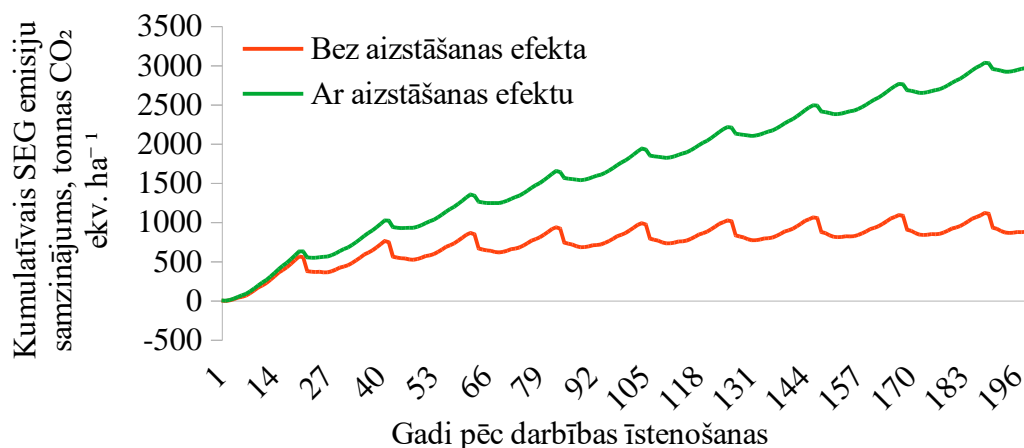
Pirms darbības īstenošanas izstrādā kokaugu joslu izvietojuma projektu, kurā paredz papildus krūmu (zemāku koku) joslas vēja pusē, kā arī gar grāvjiem, kur nepieciešama periodiska apkope; ielāno atvērumus iebraukšanai laukos un sagatavo augsni kokaugu stādīšanai. Augsni gatavo tāpat kā graudaugiem. Iepriekšējā gadā platību vēlams noturēt papuvē, lai atbrīvotos no nezālēm. Pēc augsnes apstrādes stāda kokus un krūmus. Kokaugu joslām piemērotās koku sugas ir bērzs, apse, papele, melnalksnis un citas ātri augošu koku sugas. Papeles stāda mašinizēti, izmantojot garos (1,5-2 m) spraudņus, pārējo koku sugas stāda ar rokām (kailsakņu stādi un ietvarstādi) vai mašinizēti (neliela izmēra ietvarstādi). Krūmu joslās izmanto komerciālās kārķļu šķirnes, kas ataug no celma atvasēm, tāpēc nepāriet uz lauku un grāvi, un platība pēc tam ir viegli rekultivējama. Arī koku joslā vēlams stādīt sugas, kas atjaunojas galvenokārt ar celma atvasēm (papele, bērzs). Pēc stādīšanas vismaz 3 gadus jāveic agrotehniskā kopšana un, ja joslu stādījumā izmantoti arī kārķli, reizi 5 gados jānovāc arī kārķļu raža. Kokaugu joslu aprites ilgums atkarīgs no koku sugas, visīsākais tas ir papeles un apses hibrīdiem (20-25 gadi). Aprites cikla beigās veic mežizstrādi un sagatavo kokmateriālus un koksnes biokurināmo. Nozāģētā platība atjaunojas kā atvasājs, ko izretina agrotehniskās kopšanas laikā. Lai ierobežotu slimību izplatību, kokaugu joslas jāatjauno pēc otrās vai trešās aprites, izplēšot celmus, sagatavojot augsni un iestādot jaunu un izturīgāku stādmateriālu.

Darbības īstenošanu var ierobežot dabas aizsardzības un lauksaimniecības zemju uzturēšanas prasības, kā arī tehniski ierobežojumi kokaugu joslu ierobežošanai. Kokaugu joslu ierīkošana nav saistīta ar zemes izmantošanas maiņu.

Darbībai nav negatīvas ietekmes uz klimata pārmaiņām, taču pirmajos gados pēc koku stādīšanas, uzlabojoties augsnes struktūrai, var pieaugt oglekļa zudumi no augsnes, ko turpmākajos gados kompensē oglekļa ienese augsnē ar nobirām.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko nosaka sākotnējais zemes izmantošanas veids, stādījumā izmantotās koku un krūmu sugas, aprites ilgums un koksnes izmantošana.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls, audzējot ātraudzīgus papeles hibrīdus ar 20 gadus ilga aprites ciklu 50 gadu laikā ir 543 tonnas CO₂ ha⁻¹ (10,8 tonnas CO₂ ha⁻¹ gadā), bet koksnes biokurināmā aizstāšanas efekts papildus nodrošina SEG emisiju samazinājumu par 416 tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹. (att. 10). Kopumā 50 gadu laikā šī darbība var nodrošināt ap 14 milj. tonnas CO₂ ekv. lielu emisiju samazinājumu, neskaitot aizstāšanas efektu, un 25 milj. tonnas CO₂ ekv. - ar aizstāšanas efektu, ja kokaugu joslu stādījumus ierīko 44 tūkst. ha platībā.



Attēls 10. Kokaugu joslu stādījumu ierīkošanas kumulatīvās ietekmes novērtējums

Kokaugu joslu stādījumiem ir nozīmīgas dabas daudzveidības saglabāšanas, saimniecisko risku mazināšanas un negatīvās ietekmes uz vidi mazināšanas funkcijas. Tās kalpo kā dzīves vide un pārvietošanās koridori daudzām dzīvnieku sugām, nodrošina barības bāzi apputekšnētājiem, uzlabo mitruma režīmu un samazina gaisa temperatūru pieguļošajās teritorijās, mazina vēja eroziju un aiztur barības vielas, kas aizplūst uz meliorācijas grāvjiem. Kokaugu stādījumi var kļūt arī par būtisku koksnes biokurināmā un kokmateriālu avotu.

Kokaugu joslu stādījumu ierīkošanas izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir 2,5 tūkst. € ha⁻¹. Izmaksas vienā kokaugu aprites ciklā (20 gadi) pašreizējās cenās ir 10,8 tūkst. € ha⁻¹, tajā skaitā mežizstrāde, bet ieņēmumi – 17,5 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā kopšana un mežizstrāde. CO₂ piesaistes izmaksas kokaugu stādījumam ar 50 gadu laikā ir -1,4 € tonna CO₂.

Meža atjaunošana ar selekcionētu stādmateriālu

Darbības ekonomiskais mērķis ir samazināt dabisko traucējumu risku un palielināt meža vērtību un nākotnes ieņēmumus no meža apsaimniekošanas. Klimata mērķis ir palielināt oglekļa piesaistes potenciālu kokaugu biomasā un citās oglekļa krātuvēs. Primārais mērķis ir uzlabot apstākļus lauksaimnieciskajai ražošanai un mazināt lauksaimniecības ietekmi uz vidi.

Darbības īstenošanai piemērotas mežaudzes, kurās papildus pieauguma veidošanos neierobežo citi faktori, piemēram, pārlieds mitrums un mežaudzes, kuru apsaimniekošanu būtiski neierobežo (nav aizliegta galvenā vai kopšanas cirte) dabas aizsardzības prasības. Pārmitras platības, kur meža mērķtiecīga atjaunošana nepalielinās oglekļa piesaistes potenciālu, kā arī mežaudzes, kurām noteikti būtiski saimnieciskās darbības ierobežojumi (aizliegta galvenā vai kopšanas cirte).

Pēc mežizstrādes nepieciešamības gadījumā veic darbības meliorācijas sistēmas atjaunošanai vai izbūvei, paralēli gatavojot augsni jaunajai meža apritei. Augsnes sagatavošanai nabadzīgās augsnēs, izņemot kūdreņus un slapjajņus, var izmantot disku arklus, bet auglīgās augsnēs, kā arī slapjajņos un kūdreņos, ekskavatoru ar pacilošanas kausu. Nabadzīgās augsnēs var stādīt priedi vai bērzu, bet auglīgākās augsnēs – bērzu, egli, melnalksni vai citas koku sugas. Mitrākās vietās un auglīgās kūdras augsnēs ieteicams stādīt bērzu vai melnalksni. Trīs līdz četrus gadus pēc stādīšanas veic agrotehnisko kopšanu un, nepieciešamības gadījumā, arī augu aizsardzības pasākumus, lai pasargātu kociņus no dzīvnieku bojājumiem. Pēc tam, kad kociņi sasnieguši 6-9 m augstumu, veic jaunaudžu kopšanas cirti, lai atbrīvotu augšanas telpu mērķa kokiem un izvāktu bojātos kokus. Aprites laikā veic 1-3 krājas kopšanas cirtes, zāģējot “no apakšas”, lai audze ātrāk sasniegtu mērķa caurmēru un to varētu nozāģēt galvenajā cirtē. Pēc krājas kopšanas cirtes mežaudzēs ar organiskām augsnēm var ienest koksnes pelnus vai koksnes pelnu un minerālmēslojuma maisījumu, bet minerālaugsnēs – minerālmēslojumu, pirms tam novērtējot mēslošanas nepieciešamību, lai paātrinātu koku augšanu un ātrāk sasniegtu audzes mērķa caurmēru. Meliorētās platībās periodiski jāveic meliorācijas sistēmu uzturēšanas un attīrīšanas darbi, tajā skaitā atjaunojot caurtekas un attīrot aizsērējušos grāvju posmus. Grāvju pārtīrīšanu pēc kopšanas cirtes var aizstāt ar koksnes pelnu (organiskās augsnes) vai minerālmēslojuma (minerālaugsnes) ienešanu, kas paātrina koku augšanu un ūdens patēriņu. Aprites ilgumu nosaka laiks, kas nepieciešams mērķa caurmēra sasniegšanai, lapu koku audzēs – 40-50 gadi un skuju koku audzēs – 40-60 gadi.

Darbības īstenošanu var apgrūtināt dabas aizsardzības prasības, kas var samazināt mērķtiecīgai meža atjaunošana pieejamās teritorijas un ierobežot ekonomisko mērķu sasniegšanas iespējas.

Pasākumam ir ilgtermiņa ietekme, ko nosaka augšanas apstākļi, hidroloģiskais režīms, valdošā koku suga pēc atjaunošanas, aprites ilgums un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās aprītēs pasākuma pozitīvā ietekme samazinās, taču to var palielināt, turpinot izmantot selekcionētu stādmateriālu un ienesot mēslojumu, lai saīsinātu apriti un palielinātu krājas pieaugumu.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls 50 gadu laikā mērķtiecīgi atjaunotā egles audzē ar 60 gadu aprites periodu, salīdzinot ar dabisko atjaunošanos ar apsi, ir 312 tonnas CO₂ ha⁻¹ (6,2 tonnas CO₂ ha⁻¹ gadā). Papildus koksnes biokurināmā aizstāšanas efekts veidojas pēc izstrādes galvenajā cirtē. Darbības kopējā potenciālā ietekme Latvijā nav vērtēta, bet, 10 gadu laikā mērķtiecīgi atjaunojot visas galvenajā cirtē ar vienlaidus cirtes paņēmieni izstrādātās platības, kas atbilst atlases kritērijiem, šī pasākuma ietvaros var nodrošināt ap 35 milj. tonnas CO₂ lielu emisiju samazinājumu 60 gadu laikā.

Meža atjaunošanas papildus izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir 0,8 tūkst. € ha⁻¹, neskaitot meliorācijas sistēmu atjaunošanas vai izbūves izmaksas. Papildus izmaksas vienam aprites ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās, ir 4,3 tūkst. € ha⁻¹, tajā skaitā mežizstrāde, bet papildus ieņēmumi – 15,3 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas ir augsnes sagatavošana, stādu iegāde, stādīšana un mežizstrāde. Pārējās izmaksas neatšķiras no alternatīvā dabiskās atjaunošanas scenārija. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu ierīkošana un uzturēšana un meža mēslošana. CO₂ piesaistes izmaksas kokaugu stādījumam ar 50 gadu laikā ir 1,8 € tonna CO₂.

Jaunaudžu kopšanas cirte

Darbības ekonomiskais mērķis ir uzlabot sugu sastāvu, palielināt koku augšanu, nodrošinot aprites cikla saīsināšanu, tādējādi palielinot meža vērtību un samazinot dabisko traucējumu risku. Klimata mērķis ir palielināt CO₂ piesaistes potenciālu koku biomasā un koksnes produktos.

Darbības īstenošanai piemērotas jaunaudzes, kurās nav aizliegta kopšanas un galvenā cirte, kā arī koku augšanas potenciālu neierobežo pārmērīgs mitrums vai citi faktori (āreņi, kūdreņi, sausieņi, auglīgākie slapjaini). Darbības īstenošanai nav piemērotas vidēja vecuma un pieaugušas audzes, kā arī jaunaudzes, kur aizliegta kopšanas cirte, visi purvaini un slapjaini ar mazāk auglīgām augsnēm, ja šajā platībā pirms tam neuzlabo mitruma režīma.

Pirms darbības īstenošanas novērtē audzes taksācijas rādītājus un sagatavo darba uzdevumu jaunaudžu kopšanas cirtei, kurā norāda mērķa sugu, koku skaitu vai šķērslaukumu un atstājamo piemistrojumu. Pēc tam veic jaunaudžu kopšanas cirti, ievērojot sezonālos ierobežojumus. Kopšanas cirti var veikt ar rokas remontinstrumentiem vai, lielāku koku audzēs, mašinizēti, sagatavojot arī koksnes biokurināmo no nozāgētajiem kokiem. Kopšanas cirti veic “no apakšas”, atbrīvojot augšanas telpu mērķa kokiem.

Darbības īstenošanu var ierobežot dabas aizsardzības prasībās un augšanas apstākļi – pārmitrās platībās, kur pārliets mitrums ierobežo koku augšanu, jaunaudžu kopšanas cirte var neradīt pozitīvu efektu vai pat sekmēt augšanas apstākļu pasliktināšanos. Kopšanas cirtē nozāgētie koki pakāpeniski sadalās, īslaicīgi radot CO₂ emisiju pieaugumu, kas daļēji kompensē CO₂ piesaisti krājas papildpieaugumā.

Darbībai ir īstermiņa un ilgtermiņa ietekme, ko nosaka augšanas apstākļi, valdošā koku suga un koku dimensijas kopšanas laikā, kopšanas kvalitāte. Ilgtermiņa efektu nosaka turpmākā meža apsaimniekošana, kā arī koksnes izmantošana. Darbības efektivitāti var palielināt, ienesot pēc kopšanas cirtes minerālmēslojumu vai koksnes pelnus (kūdreņos).

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls 60 gadus ilgam aprites ciklam ir ap 24 tonnas CO₂ ha⁻¹ (vidēji 0,4 tonnas CO₂ ha⁻¹ gadā). Emisiju samazinājums veidojas 10 gadu laikā pēc kopšanas cirtes, un tas ir obligāts priekšnosacījums tādu pasākumu kā meža meliorācija, mērķtiecīga meža atjaunošana, apmežošana un citu pasākumu efektivitātes nodrošināšanai. Kopumā vienas aprites laikā šī darbība var nodrošināt vismaz 48 milj. tonnas CO₂ ekv. lielu emisiju samazinājumu, ja pieņem, ka visos mežos, kur tas ir lietderīgi, veic jaunaudžu kopšanas cirtes, salīdzinot ar situāciju, kad kopšanas cirtes neveic, un tas ir tikai īstermiņa efekta novērtējums.

Jaunaudžu kopšanas izmaksas esošajās cenās ir 0,5 tūkst. € ha⁻¹. Papildus izmaksas var veidot mēslojuma ienese un augu aizsardzības pasākumi, kā arī meža biokurināmā sagatavošana un pievešana. Papildus CO₂ piesaistes izmaksas esošajās cenās ir ap 20 € tonna⁻¹ CO₂.

Atvasāji notekūdeņu dūņu izmantošanai lauksaimniecībā izmantojamās zemēs

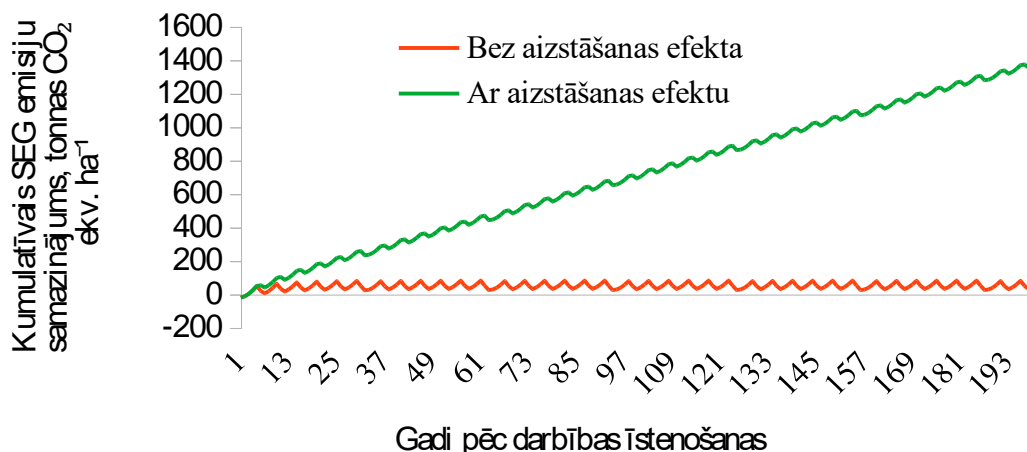
Darbības ekonomiskais mērķis ir dažādot saimniecības ieņēmumus, saražojot koksnes biokurināmo un, izmantojot plantāciju, mēslošanai notekūdeņu dūņas. Būtisks ienākumu avots Zviedrijā šādos īscirtmeta atvasājos ir notekūdeņu dūņu izmantošana, Latvijā šāda prakse pagaidām nav īstenota. Klimata mērķis ir palielināt oglekļa uzkrājumu augsnē, zemeszemes augu un kokaugu biomasā, kā arī nodrošināt aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas LIZ ar minerālaugsni, pietiekoši lieli un regulāras formas lauki, lai tajos varētu veikt mašinizētu stādīšanu, kopšanu un pļaušanu. Teritorijā jābūt optimāliem mitruma apstākļiem un tai jābūt piekļūstamai ar lauksaimniecības tehniku. Jāņem vērā, ka atvasājos izmanto notekūdeņu dūņas, tāpēc nav ieteicams tos ierīkot platībās ar applūšanas risku. Darbības īstenošanai nav piemēroti bioloģiski vērtīgi zālāji un citas teritorijas, kur dabas aizsardzības vai citi ierobežojumi neļauj ierīkot atvasājus vai izmantot notekūdeņu dūņas; kā arī kūdras augsnes un periodiski applūstošas minerālaugsnes. Latvijā pastāv uzskats, ka kārkļu plantācijas nevar ierīkot platībās ar slēgtu drenāžas sistēmu, taču kaimiņvalstīs nepastāv šāds ierobežojums. Alternatīvs risinājums aizliegumam stādīt atvasājus platībās ar slēgtām meliorācijas sistēmām ir tehnoloģisko koridoru ierīkošana vietās, kur iet drenas.

Pirms darbības īstenošanas jānovērtē meliorācijas sistēmu stāvoklis un nepieciešamības gadījumā jāatjauno esošais grāvju tīkls un caurtekas, kā arī jāatjauno slēgtās meliorācijas sistēmas. Platību pirms kārkļu stādīšanas vēlams turēt vienu gadu papuvē, lai atbrīvotos no nezālēm. Augsni sagatavo tāpat kā graudaugiem, bet pavasarī pirms kārkļu stādīšanas izklieš notekūdeņu dūņas, pielietojot maksimāli pieļaujamo mēslojuma devu. Pēc izkliešanas dūņas iefrēzē augsnē. Dūņas var izkliešēt arī nākamajā gadā pēc stādīšanas vai arī pēc pirmās pļaušanas, lai samazinātu izmaksas nezāļu apkarošanai, taču, ja kompensācija par dūņu izmantošanu ir lielākā daļa ieņēmumu, kā tas ir Zviedrijā, izdevīgāk uzreiz iestrādāt maksimāli lielu dūņu devu, kas palielinās ienākumus no dūņu izmantošanas un biomasas pieaugumu. Atvasāju pļaušanu un smalcināšanu veic 3.-5. gadā pēc stādīšanas un ataudzē no atvasājiem. Pēc pļaušanas atkārtoti ienes mēslojumu. Plantāciju atjauno pēc 20-30 gadiem, platību atcelmojot un stādot jaunus, izturīgākus un ražīgākus kārkļu klonus.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko nosaka plantācijas novietojums, aprites ilgums, izmantoto kārkļu klonu produktivitāte, mēslojuma pielietošana un koksnes biokurināmā izmantošana, taču ietekme ZIZIMM sektorā izpaužas pirmajos 10-20 gados.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls 25 gadus ilgam aprites ciklam (atvasāja mūža ilgums) 50 gados ir 60 tonnas CO₂ ha⁻¹ (1,2 tonnas CO₂ ha⁻¹ gadā), koksnes biokurināmā radītais aizstāšanas efekts papildus nodrošina vēl 314 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā (att. 11). Visu Latvijā saražoto dūņu izmantošanai nepieciešami 30 tūkst. ha atvasāju, kas aprites laikā var nodrošināt SEG emisiju samazinājumu par 2,4 milj. tonnām CO₂ un vēl papildus aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā, kas atbilst 4,2 milj. tonnām CO₂ ekv. Bez tam īscirtmeta atvasāji palielina barības bāzi apputeksnētājiem un ļauj drošā veidā izmantot potenciāli bīstamu nelikvīdu – notekūdeņu dūņas.



Attēls 11. Īscirtmeta atvasāju kumulatīvās ietekmes novērtējums

Atvasāju apsaimniekošanas izmaksas pirmajos piecos gados esošajās cenās ir 3,4 tūkst. € ha⁻¹. Turpmākajos gados pļaušanas un mēslojuma izkliešanas izmaksas ir 1,3 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas: augsnes sagatavošana, spraudņu iegāde un stādīšana, agrotehniskā kopšana. Mēslojuma iegāde un izkliešana nav iekļauta izmaksās, paredzot, ka to kompensē dūņu ražotājs. CO₂ piesaistes izmaksas 25 gadu laikā esošajās cenās ar 10% diskonta likmi ir -17 € tonna CO₂.

Meliorācijas sistēmu atjaunošana mežos ar pārmitrām minerālaugsnēm

Darbības ekonomiskais mērķis ir saglabāt mežaudžu augšanas potenciālu, lai iegūtu vairāk kokmateriālu un koksnes biokurināmā platībās, kur koku augšanu, atjaunojoties dabiskam mitruma režīmam, var ierobežot pārlieks mitrums vai periodiska applūšana. Klimata mērķis ir nepalielināt CH₄ emisijas no augsnes un koku stumbru virsmas, saglabāt CO₂ piesaistes potenciālu visās oglekļa krātuvēs un nemazināt aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas mežaudzes āreņos, kur dabiska mitruma režīma atjaunošanās rezultātā pārlieks mitrums var periodiski vai pastāvīgi ierobežot koku augšanu. Meliorācijas sistēmas var atjaunot vai paplašināt pēc kopšanas vai atjaunošanas cirtes, tomēr atšķirības augšanas gaitā lietderīgi prognozēt tikai pēc galvenās cirtes, salīdzinot meža atjaunošanos slapjajņos un atbilstošos āreņa meža tipos. Darbībai nav piemērotas mežaudzes, kur dabas aizsardzības prasības vai citi nosacījumi ierobežo meliorācijas sistēmu atjaunošanu, kā arī platības, kur noteices atjaunošana prasa būtiskus ieguldījumus vai ir grūti praktiski īstenojama.

Pirms darbības īstenošanas jāveic priekšizpēte, lai noskaidrotu, vai plānoto darbību neierobežo spēkā esošie normatīvi, jānovērtē izmaksas un saimnieciskie ieguvumi. Ja meliorācijas sistēmas atjaunošana ir ekonomiski pamatota, jāizstrādā meliorācijas sistēmas tehniskais projekts un jāsāk tā īstenošana.

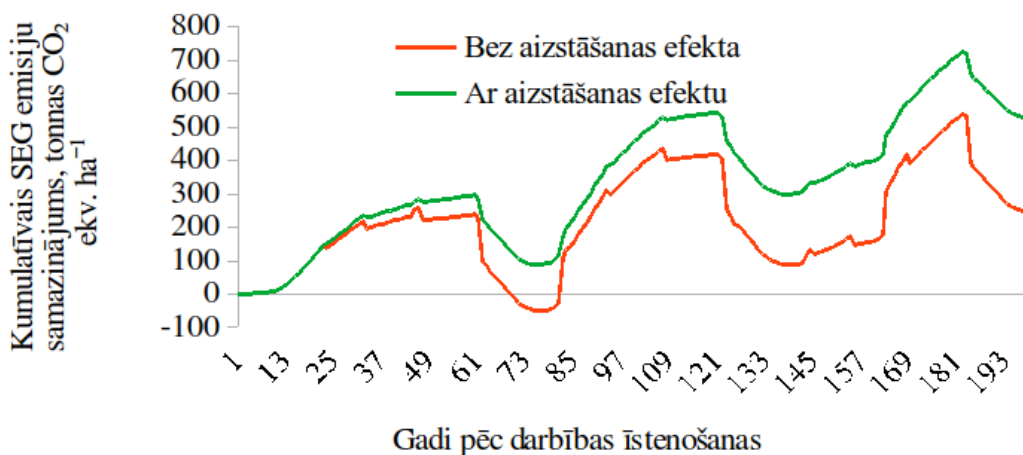
Meliorētajā platībā augsni sagatavo ar ekskavatoru, veidojot pacilas, bet reljefa pazeminājumus un grāvjus savienojot ar dziļvagām, stāda selekcionētu stādmateriālu, nepieciešamības gadījumā veic augu aizsardzības pasākumus. Mazāk auglīgās augsnēs (viršu un mētru ārenis) stāda priedi, šaurlapju ārenī var stādīt dažādas sugas, piemēram, priedi, egli, bērzu, bet auglīgākos meža tipos (platlapju ārenis) ieteicams stādīt egli, bērzu vai melnalksni. Sugu izvēle noteiks kopējo CO₂ piesaistes potenciālu, bet konkrētiem apstākļiem piemērotāko sugu izvēle mazina dabisko traucējumu risku, tāpēc klimata mērķu sasniegšanai jāizvēlas vietējiem apstākļiem piemērotākā koku suga. Pēc stādīšanas jāveic agrotehniskā kopšana (3-4 reizes) un jaunaudžu kopšanas cirtes, lai izvāktu mērķa kokiem traucējošos kokus. Priedes audzēs būs nepieciešami papildus augu aizsardzības pasākumi. Jaunaudžu kopšanas cirtē samazina koku skaitu līdz

normatīvos pieļaujamajam minimālajam šķērslaukumam vai koku skaitam, lai kokiem būtu pietiekoši liela augšanas telpa. Aprites laikā veic 2-3 krājas kopšanas cirtes, zāģējot “no apakšas”, lai audze ātrāk sasniegtu mērķa caurmēru (priedei, eglei, bērzam) un to varētu nozāģēt galvenajā cirtē. Pēc krājas kopšanas cirtes platībā var ienest minerālmēslojumu, pirms tam novērtējot mēslošanas nepieciešamību, lai paātrinātu koku augšanu un ātrāk sasniegtu audzes mērķa caurmēru. Periodiski jāveic meliorācijas sistēmu uzturēšanas un attīrīšanas darbi, tajā skaitā atjaunojot caurtekas un attīrot aizsērējušos grāvju posmus.

Darbība rada pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmos gados pēc mežizstrādes, uzlabojoties mitruma apstākļiem, var pieaugt oglekļa zudumi no augsnes, ko var nekompensēt CH₄ emisiju samazināšanās. Risu veidošanās mežizstrādes laikā var vairākkārtīgi palielināt CH₄ emisijas no augsnes, un, neatjaunojot meliorācijas sistēmas, emisiju pieaugums pēc mežizstrādes ir būtiski lielāks, taču šo efektu pagaidām skaitliski nevar novērtēt.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko ietekmē meliorācijas sistēmas stāvoklis, valdošā koku suga, aprites ilgums, mežsaimnieciskie pasākumi un koksnes izmantošana. Otrajā un turpmākajās aprītēs pozitīvā ietekme samazinās, jo paralēli CO₂ piesaistei koku biomasā notiek CO₂ atbrīvošanās no nedzīvās koksnes, koksnes produktiem un citām oglekļa krātuvēm. Pozitīvo ietekmi var palielināt, veicot meža mēslošanu un meža atjaunošanā izmantojot selekcionētu stādmateriālu.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanās jeb emisiju nepalielināšanās potenciāls, salīdzinot ar dabiska mitruma režīma atjaunošanos, egles audzē ar 60 gadus ilga aprites ciklu ārenī un 80 gadus ilgu apriti slapjainī 50 gadu laikā ir 225 tonnas CO₂ ha⁻¹ (4,5 tonnas CO₂ ha⁻¹ gadā). Aprēķinā ietverot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu, SEG emisiju samazinājums pieaug līdz 281 tonnām CO₂ ha⁻¹ (att. 12). Atjaunojot meliorācijas sistēmas 300 tūkst. ha platībā, šī darbība var nodrošināt ap 40 milj. tonnām CO₂ atbilstošu emisiju samazinājumu un vēl 18 milj. tonnas CO₂ ekv. lielu aizstāšanas efektu aprites laikā, salīdzinot ar alternatīvu scenāriju, neatjaunojot meliorācijas sistēmas.



Attēls 12. Meliorācijas sistēmu atjaunošanas minerālaugsnēs kumulatīvās ietekmes novērtējums

Meliorācijas sistēmu atjaunošana palielina mežaudžu noturību, samazinot dabisko traucējumu un mežaudžu bojāejas risku, tādējādi sniedzot ieguldījumu dabas daudzveidības saglabāšanā. Lielāka krāja uz platības vienību ļauj samazināt mežizstrādes ietekmētās meža platības, neietekmējot mežizstrādes apjomu un vienlaikus mazinot SEG emisijas mežizstrādes procesā. Papildus krājas pieaugums meliorētajās platībās sekmē ilgtermiņa klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu enerģētikas sektorā, būtiski palielinot meža biokurināmā piegādes ilgtermiņā.

Meliorācijas sistēmu atjaunošanas un mežsaimnieciskās darbības papildus izmaksas pirmajos piecos gados, salīdzinot ar alternatīvo scenāriju, esošajās cenās ir 1,6 tūkst. € ha⁻¹. Izmaksas vienam aprites ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir 16 tūkst. € ha⁻¹, bet ieņēmumi – 33 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās

izmaksu pozīcijas ir meliorācijas sistēmu projektēšana, atjaunošana un uzturēšana, augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā un sastāva kopšanas cirte un mežizstrāde. Papildus izmaksas var veidot meliorācijas sistēmu atjaunošana aprītes cikla beigās, kā arī papildus vides aizsardzības pasākumi noteces ūdeņu kvalitātes uzlabošanai. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā esošajās cenās ar diskonta likmi 10% ir 4,6 € tonna CO₂.

Hidroloģiskā režīma uzlabošana mežos ar pārmitrām organiskām augsnēm

Darbības ekonomiskais mērķis ir nodrošināt augšanas apstākļu nepasliktināšanos, lai iegūtu vairāk kokmateriālu un koksnes biokurināmā mežaudzēs ar organiskām augsnēm, kur koku augšanu, atjaunojoties dabiskam mitruma režīmam, var ierobežot pārlieks mitrums vai periodiska applūšana. Klimata mērķis ir nodrošināt SEG emisiju no augsnes nepalielināšanos, saglabāt CO₂ piesaistes potenciālu visās oglekļa krātuvēs un nemazināt aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā.

Darbības īstenošanai piemērotas mežaudzes kūdreņos, kur, atjaunojoties dabiskam mitruma režīmam, pārlieks mitrums periodiski vai pastāvīgi ierobežot koku augšanu. Meliorācijas sistēmu atjaunošanu lietderīgi plānot pieaugušās audzēs, bet, veicot to ātrāk, SEG emisiju samazinājumu var prognozēt pēc galvenās cirtes un meža atjaunošanas. III-IV bonitātes audzēs obligāti jāplāno meža mēslošana ar koksnes pelniem vai koksnes pelniem un N minerālmēslojumu, atkarībā no lapu un skuju analīžu rezultātiem. Darbībai nav piemērotas V vai zemākas bonitātes audzes, kā arī mežaudzes, kur dabas aizsardzības prasības vai citi nosacījumi ierobežo meliorācijas sistēmu atjaunošanu.

Pirms darbības īstenošanas jāveic izpēte, lai noskaidrotu, vai plānoto darbību neierobežo spēkā esošie normatīvi, jānovērtē izmaksas un saimnieciskie ieguvumi. Ja meliorācijas sistēmas atjaunošana ir ekonomiski pamatota, jāizstrādā meliorācijas sistēmas atjaunošanas tehniskais projekts un jāsāk tā īstenošana.

Platībā ar meliorētu organisku augsni meža atjaunošanu sāk ar augsnes sagatavošanu ar ekskavatoru, veidojot pacilas, bet reljefa pazeminājumus un grāvjus savieno ar dziļvagām; stāda selekcionētu stādmateriālu, nepieciešamības gadījumā veic augu aizsardzības pasākumus. Mazāk auglīgās augsnēs (viršu un mētru kūdrenī) stāda priedi, šaurlapju kūdrenī var stādīt dažādas sugas, tajā skaitā priedi, melnalksni, bērzu vai egli, bet platlapju kūdrenī ieteicams stādīt egli, melnalksni vai bērzu. Pēc stādīšanas jāveic agrotehniskā kopšana (3-4 reizes) un jaunaudžu kopšanas cirtes, lai izvāktu mērķa kokiem traucējošos kokus. Priedes audzēs nepieciešami papildus augu aizsardzības pasākumi. Jaunaudžu kopšanas cirtē samazina koku skaitu līdz normatīvos pieļaujamajam minimālajam šķērslaukumam vai koku skaitam, lai kokiem būtu pietiekoši liela augšanas telpa. Aprītes laikā veic 1-2 krājas kopšanas cirtes, zāgējot "no apakšas", lai audze ātrāk sasniegtu mērķa caurmēru (priede, egle, bērzs) un to varētu nozāgēt galvenajā cirtē. Kopšanas ciršu skaits mežos ar organiskām augsnēm pēc iespējas jāsamazina. Pēc krājas kopšanas cirtes platībā var ienest koksnes pelnus vai koksnes pelnu un minerālmēslojuma maisījumu, pirms tam novērtējot mēslošanas nepieciešamību, lai paātrinātu koku augšanu un ātrāk sasniegtu audzes mērķa caurmēru. Periodiski jāveic meliorācijas sistēmu uzturēšanas un attīrīšanas darbi, tajā skaitā atjaunojot caurtekas un attīrot aizsērējušos grāvju posmus. Mežos ar organiskām augsnēm grāvju attīrīšana nepieciešama biežāk nekā minerālaugsnēs. Grāvju attīrīšanu pēc kopšanas cirtes var aizstāt ar koksnes pelnu ienešanu, kas paātrina koku augšanu un ūdens patēriņu (evapotranspirāciju).

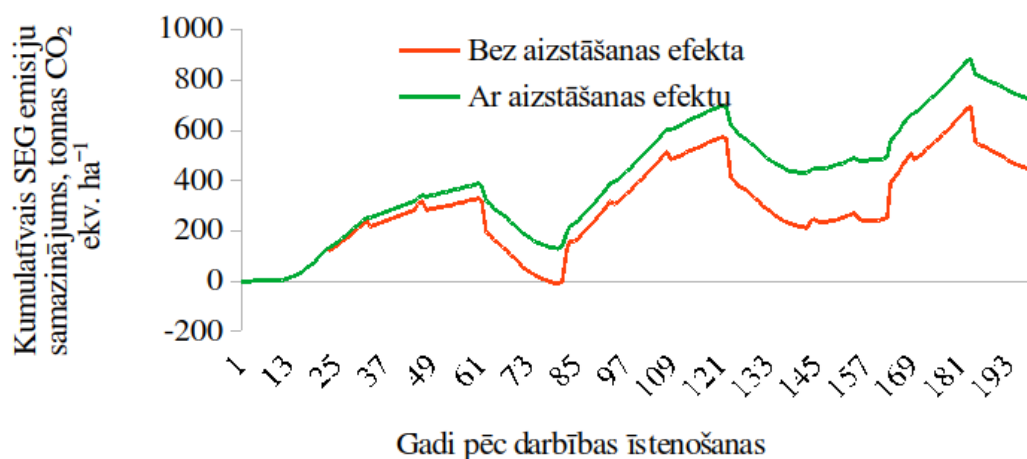
Darbības īstenošanu var ierobežot dabas aizsardzības noteikumi meža un apkārtesošo teritoriju apsaimniekošanā. Darbības īstenošanu var ierobežot arī nepiemērots reljefs, kas var būtiski sadārdzināt noteces atjaunošanu vai apgrūtināt vides aizsardzības elementu iekļaušanu meliorācijas sistēmās.

Darbība rada pozitīvu ietekmi uz klimatu, taču pirmos gados pēc mežizstrādes, uzlabojoties mitruma apstākļiem, var pieaugt oglekļa zudumi no augsnes, ko nekompensē CH₄ emisiju

samazināšanās. Neatjaunojot meliorācijas sistēmas, emisiju pieaugums pēc mežizstrādes ir būtiski lielāks, it īpaši no mežizstrādes laikā iespējamajām risēm, jo vienlaicīgi ar CO₂ emisijām pieaug arī CH₄ emisijas (no risēm pat vairāk nekā 100 reizes). Ilgtermiņā CO₂ emisijas no augsnes kompensē papildus oglekļa ienese augsnē ar koku nobirām.

Darbībai ir ilgtermiņa ietekme, ko ietekmē meliorācijas sistēmas stāvoklis, kūdras slāņa biezums, sastāvs un sadalīšanās pakāpe, valdošā koku suga, aprites ilgums, mežsaimnieciskie pasākumi un koksnes izmantošana. Pozitīvo ietekmi var palielināt, ienesot mežā koksnes pelnus un minerālmēslojumu.

Siltumnīcefekta gāzu neto samazināšanas potenciāls egles audzei ar 60 gadus ilga aprites ciklu 50 gados ir 293 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ (6,0 tonnas CO₂ ekv. ha⁻¹ gadā, att. 13). Aprēķinā ietverot koksnes biokurināmā aizstāšanas efektu, SEG emisiju samazinājums pieaug līdz 349 tonnām CO₂ ekv. ha⁻¹. Atjaunojot meliorācijas sistēmas 300 tūkst. ha platībā, šī darbība var nodrošināt aprites laikā 47 milj. tonnām CO₂ ekv. atbilstošu emisiju samazinājumu, salīdzinot ar alternatīvo scenāriju, neatjaunojot meliorācijas sistēmas, bet aizstāšanas efekts var nodrošināt papildus vēl 18 milj. tonnas CO₂ ekv. kā aizstāšanas efektu.



Attēls 13. Meliorācijas sistēmu atjaunošanas organiskās augsnēs kumulatīvās ietekmes novērtējums

Meliorācijas sistēmu atjaunošana palielina mežaudžu noturību, samazinot dabisko traucējumu un mežaudžu bojāejas risku, tādējādi sniedzot ieguldījumu dabas daudzveidības saglabāšanā. Lielāka krāja uz platības vienību ļauj samazināt mežizstrādes ietekmētās meža platības, neietekmējot mežizstrādes apjomu un vienlaikus mazinot SEG emisijas mežizstrādes procesā.

Meliorācijas sistēmu atjaunošanas un mežsaimnieciskās darbības izmaksas pirmajos piecos gados, esošajās cenās ir 1,5 tūkst. € ha⁻¹. Papildus izmaksas vienam aprites ciklam (60 gadi) pašreizējās cenās ir 14 tūkst. € ha⁻¹, tajā skaitā mežizstrāde, bet ieņēmumi – 34 tūkst. € ha⁻¹. Galvenās izmaksu pozīcijas ir meliorācijas sistēmu projektēšana, atjaunošana un uzturēšana, augsnes sagatavošana, stādu iegāde un stādīšana, agrotehniskā un sastāva kopšanas cirte. Papildus izmaksas veido meliorācijas sistēmu atjaunošana aprites cikla beigās, kā arī vides aizsardzības pasākumi noteces ūdeņu kvalitātes uzlabošanai. CO₂ piesaistes izmaksas 50 gadu laikā esošajās cenās ir 8,1 € tonna CO₂ ekv.

Pielikums 4: Augsnes heterotrofās elpošanas un SEG emisiju mērījumu rezultātu kopsavilkums kokaugu stādījumos

Tabula 50. Gāzu apmaiņas mērījumu rezultātu kopsavilkums 2022. un 2023. gadā mēnešu griezumā

Gāze	Suga	Mēslojums	Mēnesis												Vidēji
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12		
Heterotrofā elpošana, CO ₂ -C, mg m ⁻² h ⁻¹	Bērzs	Kontrole	12,69 ± 5,84	14,24 ± 5,89	10,47 ± 2,72	11,24 ± 9,35	16,06 ± 6,14	47,07 ± 15,5	68,83 ± 24,14	43,95 ± 8,32	40,5 ± 9,73	31,58 ± 7,47	11,13 ± 5,72	32,73 ± 5,73	
		Notekūdeņu dūņas	14,39 ± 3,48	11,92 ± 1,2	5,22 ± 2	13,93 ± 9,33	54 ± 13,24	39,56 ± 16,17	42,33 ± 11,62	40,54 ± 11,65	35,28 ± 7,9	25,34 ± 10,27	16,85 ± 5,75	30,23 ± 4,47	
		Koksnes pelni	11,03 ± 7,06	10,91 ± 7,27	19,96 ± 15,88	-	36,62 ± 15,98	57,2 ± 26,18	33,48 ± 4,52	61,29 ± 11,86	19,71 ± 9,73	37,48 ± 18,24	11,15 ± 6,85	33,03 ± 6,19	
		Vidēji	12,51 ± 2,91	11,98 ± 2,61	13,9 ± 7,94	12,14 ± 5,99	35,82 ± 11,34	48,12 ± 11,22	49,69 ± 10,95	48,97 ± 6,33	30,75 ± 5,92	32,23 ± 7,1	13,04 ± 3,17	32,01 ± 3,14	
	Melnašņi	Kontrole	12,51 ± 2,96	13,48 ± 4,46	4,78 ± 3,85	10,12 ± 3,58	30,35 ± 10,37	45,18 ± 10,35	51,24 ± 35	36,07 ± 8,65	36,04 ± 6,47	28,85 ± 4,56	11,54 ± 2,09	28,55 ± 5,02	
		Notekūdeņu dūņas	11,52 ± 4,94	5,56 ± 3,44	5,56 ± 7,22	21,22 ± 2,57	45,97 ± 30,76	50,78 ± 4,21	44,4 ± 10,1	38,66 ± 9,85	25,98 ± 4,69	23,15 ± 9,3	17,48 ± 6,44	29,22 ± 4,52	
		Koksnes pelni	8,92 ± 3,52	10,92 ± 3,01	20,17 ± 12,31	-	40,49 ± 16,02	55 ± 21,46	30,84 ± 6,88	51,79 ± 10,29	36,34 ± 6,72	34,92 ± 4,79	6,91 ± 4,04	33,35 ± 4,93	
		Vidēji	10,63 ± 2,75	9,29 ± 2,41	12,67 ± 7,28	13,82 ± 4,73	39,32 ± 9,08	51,35 ± 7,58	44,42 ± 11,03	41,89 ± 5,69	32,38 ± 3,67	29,7 ± 3,47	11,98 ± 3,06	30,42 ± 2,75	
	Alkšņu hibrīds	Kontrole	9,73 ± 5,82	10,72 ± 4,87	0,62 ± 0,68	8,81 ± 7,28	34,36 ± 17,63	56,82 ± 25,02	61,5 ± 14,74	45,36 ± 8,81	41,79 ± 7,6	24,3 ± 6,68	8,75 ± 6,23	31,5 ± 5,75	
		Notekūdeņu dūņas	14,28 ± 6,57	15,41 ± 7,05	5,59 ± 6,35	14,03 ± 7,54	66,93 ± 36,25	45,61 ± 3,8	51,25 ± 13,34	38,62 ± 6,32	29,59 ± 4,16	23,04 ± 13,18	13,15 ± 6,09	31,62 ± 5,12	
		Koksnes pelni	12,24 ± 15,1	10,11 ± 8,22	16,16 ± 11,22	-	42,82 ± 7,24	43,27 ± 21,53	56,23 ± 3,19	51,4 ± 6	26,03 ± 14,11	35,38 ± 5,51	14,38 ± 21,99	32,41 ± 5,1	
		Vidēji	12,22 ± 5,25	12,35 ± 3,88	9,63 ± 6,58	10,55 ± 5,01	46,73 ± 10,39	46,92 ± 8,25	55,5 ± 7,57	45,88 ± 4,56	31,31 ± 5,74	28,14 ± 4,55	12,09 ± 6,48	31,85 ± 3,01	
	Apšu hibrī	Kontrole	11,56 ± 9,59	11,96 ± 17,65	12,85 ± 2,81	16,62 ± 3,53	27 ± 6,65	49,4 ± 9,3	74,83 ± 20,29	45,46 ± 10,24	40,51 ± 11	27,04 ± 4,18	11,17 ± 5,04	34,23 ± 5,84	

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Gāze	Suga	Mēslojums	Mēnesis												Videji
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12		
CH ₄ -C, μg m ⁻² h ⁻¹	Pļava	Notekūdeņu dūņas	14,63 ± 5,58	10,95 ± 2,6	5,62 ± 2,46	26,48 ± 5,57	58,71 ± 34,97	46,83 ± 22,62	48,31 ± 2,76	60,92 ± 14,85	42,24 ± 5,25	24,15 ± 8,47	18,3 ± 8,57	36,04 ± 5,36	
		Koksnes pelni	15,52 ± 4,41	12,25 ± 3,26	18,53 ± 8,85	-	38,49 ± 4,82	51,27 ± 9,8	70,67 ± 18,83	60,63 ± 15,36	37,1 ± 8,07	39,98 ± 13,06	18,8 ± 5,56	38,13 ± 5,36	
		Vidēji	13,88 ± 3,03	11,67 ± 2,45	13,88 ± 5,15	19,9 ± 4,43	40,67 ± 9,35	49,12 ± 8,26	60,88 ± 8,71	53,95 ± 7,31	39,88 ± 3,96	31,17 ± 5,66	16,09 ± 3,54	36,17 ± 3,13	
		Kontrolē	15,11 ± 9,95	-	14,92 ± 3,37	14,46 ± 18,25	-	83,1 ± 3,48	113,88 ± 28,2	97,76 ± 27,81	69,38 ± 3,75	31,32 ± 5,94	15,11 ± 9,95	59,74 ± 16,36	
	Kārkli	Notekūdeņu dūņas	18,88 ± 6,06	16,68 ± 3,66	11,2 ± 7,36	-	89,9 ± 22,94	87,47 ± 9,87	105,7 ± 15,17	72,24 ± 28,95	58,89 ± 23,62	65,83 ± 8,19	21,07 ± 8,45	63,47 ± 13,4	
		Koksnes pelni	10,37 ± 0,13	6,89 ± 0,26	47,74 ± 13,56	-	91,3 ± 13,57	145,53 ± 22,19	-	103,15 ± 33,09	18,34 ± 13,93	61,51 ± 16,83	13,85 ± 0	65,3 ± 17,42	
		Vidēji	14,23 ± 4,48	11,78 ± 5,5	24,62 ± 13,53	14,46 ± 18,25	90,6 ± 9,2	105,37 ± 23,31	108,43 ± 11,18	94,81 ± 16,02	48,87 ± 18,5	55,04 ± 11,64	16,68 ± 3,68	62,94 ± 8,77	
		Kontrolē	15,16 ± 4,3	5,43 ± 3,84	-	18,16 ± 1,97	40,28 ± 2,7	-	45,53 ± 1,53	54,72 ± 7,05	54,85 ± 7,32	21,07 ± 7,37	24,89 ± 4,76	33,12 ± 7,44	
	Bērzs	Notekūdeņu dūņas	15,18 ± 5,97	24,69 ± 6,17	-	14,89 ± 6,59	-	74,78 ± 21,09	91,34 ± 6,6	57,55 ± 12,76	73,59 ± 9,73	50,11 ± 11,31	5,68 ± 5,78	52,38 ± 10,66	
		Koksnes pelni	15,39 ± 11,68	15,48 ± 4,6	6,17 ± 1,57	0	29,68 ± 12	55,97 ± 18,3	54,57 ± 20,23	72,23 ± 3,77	50,69 ± 14,22	43,32 ± 12,91	15,3 ± 18,76	39,76 ± 7,73	
		Vidēji	15,24 ± 7,03	15,2 ± 6,53	6,17 ± 1,57	16,52 ± 2,97	34,98 ± 7,18	65,37 ± 14,08	63,81 ± 16,44	60,51 ± 7,14	60,68 ± 8,35	39,45 ± 9,27	15,29 ± 7,52	42,28 ± 5,21	
		Kontrolē	-10,71 ± 6,03	-8,91 ± 6,79	-18,64 ± 9,07	-26,73 ± 29,74	15,15 ± 53,26	-24,55 ± 10,21	-29,35 ± 7,77	-26,92 ± 8,03	-20,89 ± 9,93	-20,27 ± 4,14	-12,52 ± 5,51	-20,23 ± 4,35	
	Bērzs	Notekūdeņu dūņas	-9,42 ± 5,86	-7,84 ± 8,83	-9,88 ± 3,35	-2,66 ± 14,36	-19,32 ± 5,34	-16,91 ± 10,42	-26,09 ± 13,78	-23,33 ± 4,63	-19,82 ± 16,6	-20,85 ± 14,71	-11,01 ± 2,9	-17,34 ± 3,8	
		Koksnes pelni	-0,83 ± 11,65	1,52 ± 18,73	-8,15 ± 5,12	0	-8,6 ± 4,91	79,97 ± 233,78	-8,83 ± 3,57	-26,67 ± 16,61	-1,41 ± 5,03	-15,65 ± 7,6	-3,18 ± 4,57	-0,84 ± 19,29	

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Gāze	Suga	Mēslojums	Mēnesis												Videji
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12		
		Vidēji	-6,6 ± 5,05	-4,31 ± 7,38	-11,21 ± 3,86	-18,71 ± 20,15	-5,34 ± 11,58	20,31 ± 81,91	-24,3 ± 7,48	-26,04 ± 5,92	-13,18 ± 7,2	-18,69 ± 4,19	-8,9 ± 2,94	-12,6 ± 6,91	
	Melnaļksnis	Kontrole	-6,5 ± 3	-8,35 ± 1,67	-7,73 ± 3,46	-34,25 ± 20,73	-12,32 ± 6,13	-16,74 ± 9,51	93,3 ± 245	-20,15 ± 6,45	-13,06 ± 12,5	-12,27 ± 3,91	-4,65 ± 3,67	-4,21 ± 21,63	
		Notekūdeņu dūņas	-3,69 ± 2,73	-1,73 ± 3,59	-2,75 ± 5,53	-7,67 ± 18,41	-7,25 ± 6,07	-13,89 ± 3,35	28,96 ± 62,82	-10,17 ± 11,49	-49,54 ± 53,05	-11,92 ± 3,68	-5,65 ± 1,86	-8,75 ± 12,52	
		Koksnes pelni	-3,85 ± 3,12	-5,89 ± 4,42	-5,87 ± 2,75	-	15,86 ± 60,24	-12,04 ± 5,08	-6 ± 1,33	-25,94 ± 17,11	-9,32 ± 5,96	-3,92 ± 5,85	-1,81 ± 1,83	-7,15 ± 5,86	
		Vidēji	-4,38 ± 1,91	-4,72 ± 2,4	-5,56 ± 1,91	-25,39 ± 16,36	3,03 ± 26,98	-13,72 ± 2,48	44,58 ± 74,07	-19,86 ± 6,4	-25,34 ± 19,52	-9,05 ± 2,97	-4,03 ± 1,47	-6,71 ± 8,27	
	Alkšņu hibrīds	Kontrole	-14,18 ± 7,05	-24,22 ± 12,03	0,02 ± 3,06	-25,09 ± 31,63	22,81 ± 146,87	-10,01 ± 7,72	-500,33 ± 1488,51	-27,14 ± 12,55	-18,09 ± 11,8	-20,95 ± 11,27	-4,14 ± 4,23	-67,27 ± 124,77	
		Notekūdeņu dūņas	-4,39 ± 4,56	-2,56 ± 4,16	-4,43 ± 3,66	-16,85 ± 65,86	-9,28 ± 2,03	-7,91 ± 3,18	-14,63 ± 20,82	-10,31 ± 10,39	-56,31 ± 51,74	-12,66 ± 5,54	-6,21 ± 4,97	-16,98 ± 9,02	
		Koksnes pelni	-6,71 ± 7,95	-6,14 ± 3,59	-4,77 ± 4,16	-	-5,39 ± 10	-14,46 ± 4,19	-29,36 ± 16,49	-28,1 ± 17,61	-12,23 ± 8,88	-24,32 ± 19,87	-7,28 ± 12,31	-14,97 ± 4,47	
		Vidēji	-7,1 ± 4,44	-8,32 ± 5,14	-3,49 ± 2,32	-22,34 ± 23,42	0,69 ± 23,43	-10,95 ± 2,57	-178,99 ± 416,7	-23,72 ± 8	-30,23 ± 19,53	-20,14 ± 7,85	-5,88 ± 3,8	-32,76 ± 40,34	
	Apšu hibrīds	Kontrole	-23,05 ± 12,36	-29,27 ± 6,38	-8,95 ± 2,22	-31,55 ± 24,76	-27,47 ± 10,96	-10,21 ± 1,6	-401,13 ± 887,01	-26,62 ± 13,45	-24,5 ± 10,61	-32,59 ± 13,67	-16,82 ± 15,4	-64,64 ± 76,98	
		Notekūdeņu dūņas	-10,93 ± 3,97	-8,79 ± 2,15	-12,25 ± 5,36	-7,75 ± 30,87	-21,89 ± 9,88	-19,74 ± 14,61	-20,43 ± 21,57	-34,26 ± 10,89	18,17 ± 48,58	-26,91 ± 18,84	-13,08 ± 5,79	-13,38 ± 8,52	
		Koksnes pelni	-6,89 ± 6,37	-7,95 ± 7,75	-7,62 ± 5,85	-	-9,3 ± 7,98	211,96 ± 330,77	-70,88 ± 177,79	-27,28 ± 17,02	22,31 ± 61,82	-5,63 ± 49,8	-5,82 ± 5	12,99 ± 32,73	
		Vidēji	-12,23 ± 5,34	-12,55 ± 5,5	-9,11 ± 2,9	-23,62 ± 18,41	-16,99 ± 6,58	74,84 ± 126,31	-155,74 ± 255,2	-28,54 ± 7,73	9,05 ± 27,31	-21,06 ± 18,18	-11,91 ± 5,18	-21,08 ± 27,64	
	Pļava	Kontrole	-4,79 ± 1,88	0	-9,29 ± 1,91	-13,7 ± 2,05	-	-18,95 ± 4,56	-126,81 ± 201,99	-29,23 ± 11,53	-16,8 ± 6,47	-14,9 ± 5,84	-4,79 ± 1,88	-29,3 ± 18,74	

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Gāze	Suga	Mēslojums	Mēnesis												Videji
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12		
N ₂ O-N, μg m ⁻² h ⁻¹		Notekūdeņu dūņas	10,75 ± 64,79	32,84 ± 120,56	-9,48 ± 3,93	-	-14,25 ± 2,48	40,36 ± 48,58	-11,55 ± 9,55	-16,73 ± 17,2	-15,75 ± 8,73	-13,12 ± 10,49	-11,35 ± 9,02	-3,06 ± 10,46	
		Koksnes pelni	-1,2 ± 2,9	-4,64 ± 3,78	-12,13 ± 5,67	-	-10,37 ± 1,67	-145,21 ± 368,3	-	-42,51 ± 18,11	23,64 ± 65,8	-12,76 ± 5,77	2,24 ± 2,03	-25,7 ± 26,14	
		Vidēji	4,74 ± 22,77	14,1 ± 46,27	-10,3 ± 1,8	-13,7 ± 2,05	-12,31 ± 2,36	-41,26 ± 98,19	-49,97 ± 60,32	-32,04 ± 9,18	-2,97 ± 20,34	-13,39 ± 3,07	-4,63 ± 4,84	-19,01 ± 11,16	
		Kontrole	-0,36 ± 7,31	-0,2 ± 4,46	-	-54,18 ± 0	85,14 ± 133,02	-	41,02 ± 65	-7,44 ± 3,68	-15,61 ± 15,9	-9,49 ± 13,5	-0,52 ± 10,15	4,84 ± 19,55	
	Kārkli	Notekūdeņu dūņas	-9,07 ± 4,3	-13,1 ± 5,13	-	65,52 ± 67,54	-	1759,28 ± 1227,49	-27,61 ± 16,24	-21,27 ± 8,7	-16,21 ± 6,93	-29,26 ± 16,32	-5,04 ± 3,47	167,48 ± 211,86	
		Koksnes pelni	-5,23 ± 5,78	-4,22 ± 7,23	2,66 ± 11,23	-	-13,95 ± 26,29	-12,68 ± 4,59	-12,71 ± 4,01	-13,95 ± 6,47	-7,67 ± 5,36	-12,8 ± 7,21	-6,25 ± 4,33	-9,28 ± 2,66	
		Vidēji	-4,89 ± 3,93	-5,84 ± 4,77	2,66 ± 11,23	5,67 ± 69,49	35,59 ± 71,51	873,3 ± 1057,41	0,24 ± 27,3	-15,98 ± 5,4	-12,67 ± 4,12	-16,08 ± 6,68	-3,94 ± 3,09	55,57 ± 72,63	
		Kontrole	2,76 ± 10,72	2,18 ± 18,93	-3,54 ± 13,31	-6,16 ± 4,15	1,93 ± 19,66	23,44 ± 9,93	21,51 ± 2,87	13,72 ± 7,62	13,22 ± 33,03	13,74 ± 13,08	3,35 ± 6,07	9,68 ± 4,32	
	Bērzs	Notekūdeņu dūņas	-0,13 ± 8,86	-4,01 ± 11,03	-8,17 ± 21,98	3,67 ± 12,29	18,92 ± 12,75	20,72 ± 7,01	23,62 ± 9,72	19,73 ± 28,16	8,76 ± 17,85	-5,61 ± 20,8	3,74 ± 6,69	9,51 ± 5,09	
		Koksnes pelni	4,25 ± 7,56	5,98 ± 10,84	4,05 ± 8,91	-	18,31 ± 14,65	21,5 ± 13,55	14,28 ± 3,37	7,64 ± 33,95	3,85 ± 16,62	5,94 ± 12,47	2,52 ± 4,28	8,56 ± 5,59	
		Vidēji	2,21 ± 4,31	1,23 ± 6,09	-0,9 ± 6,34	-2,88 ± 5,12	14,37 ± 8,52	21,58 ± 5,18	21,36 ± 4,76	13,03 ± 11,57	8,04 ± 10,45	5,98 ± 7,91	3,2 ± 2,7	9,24 ± 2,86	
		Kontrole	10,24 ± 11,78	11,62 ± 7,16	-6,04 ± 8,33	0,26 ± 3,9	18,11 ± 2,96	26,82 ± 3,98	21,13 ± 19,84	19,92 ± 10,34	-1,98 ± 32,22	5,45 ± 27,81	8,87 ± 14,08	10,69 ± 5,88	
Melnalksnis	Notekūdeņu dūņas	9,16 ± 4,07	7,74 ± 2,26	5,04 ± 5,28	6,63 ± 3,92	138,05 ± 56,28	32,69 ± 7,63	24,19 ± 12,7	-3,04 ± 34,15	6,79 ± 9,38	8,61 ± 22	10,59 ± 5,88	18,73 ± 9,05		

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Gāze	Suga	Mēslojums	Mēnesis											Videji
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	
		Koksnes pelni	2,61 ± 8,6	5,1 ± 11,42	1,51 ± 13,02	-	23,03 ± 6,14	24,95 ± 14,88	6,4 ± 4,95	21,06 ± 11,75	27,04 ± 20,2	6,21 ± 18,57	0,13 ± 5,78	13,94 ± 4,99
		Vidēji	6,99 ± 4,59	7,46 ± 4,15	0,51 ± 6,3	2,38 ± 3,44	50,55 ± 34,31	28,42 ± 5,88	20,21 ± 8,47	15,2 ± 8,94	12,19 ± 10,98	6,52 ± 11,85	6,53 ± 4,97	14,44 ± 3,88
	Alkšņu hibrīds	Kontrolē	14,52 ± 26,69	12,1 ± 32,07	-13,08 ± 26,28	0,36 ± 6,86	16,19 ± 12,26	29,31 ± 2,92	24,02 ± 5,86	22,17 ± 11,85	38,34 ± 41,17	5,6 ± 13,07	16,95 ± 23,31	16,28 ± 5,98
		Notekūdeņu dūņas	2,39 ± 8,88	5,42 ± 5,71	5,73 ± 8,45	0,84 ± 9,59	49,56 ± 14,64	20,91 ± 7,95	29,08 ± 15,82	37,77 ± 24,42	7,68 ± 15,67	5,95 ± 20,04	-0,64 ± 12,05	16,06 ± 5,7
		Koksnes pelni	5,32 ± 8,53	8,78 ± 7,83	4,91 ± 6,46	-	20,48 ± 5,42	18,36 ± 6,11	15,19 ± 4,03	17,2 ± 22,03	11,76 ± 21,85	19,18 ± 16,45	1,85 ± 9,23	13,42 ± 4,86
		Vidēji	7,08 ± 6,85	8,1 ± 5,04	0,62 ± 7,13	0,52 ± 4,55	26,68 ± 9,47	21,57 ± 4,03	25,08 ± 7,74	23,98 ± 9,58	16,88 ± 13,16	10,78 ± 8,44	6,05 ± 8,46	15,22 ± 3,13
	Apšu hibrīds	Kontrolē	7,41 ± 11,43	8,44 ± 16,99	3,63 ± 29,35	5,67 ± 7,44	4,55 ± 6,13	29,23 ± 36,41	24,6 ± 4,54	15,76 ± 10,15	15,15 ± 36,44	29,83 ± 22,55	6,39 ± 8,21	15,89 ± 5,47
		Notekūdeņu dūņas	5,67 ± 8,95	7,56 ± 8,85	-8,43 ± 19,01	6,27 ± 2,44	21,83 ± 23,13	21,63 ± 16,44	7,92 ± 11,21	27,97 ± 9,78	15,34 ± 11,28	9,02 ± 17,9	3,79 ± 9,05	12,07 ± 4,02
		Koksnes pelni	-0,96 ± 8,62	2,98 ± 10,31	7,49 ± 5,13	-	21,82 ± 5,77	11,05 ± 12,76	19,5 ± 0,4	18,96 ± 9,93	16,82 ± 25,35	12,49 ± 14,15	-4,91 ± 6,93	12,06 ± 4,62
		Vidēji	3,83 ± 4,77	5,9 ± 5,06	2,55 ± 7,01	5,87 ± 4,48	17,5 ± 6,51	18,92 ± 8,94	15,41 ± 6,51	19,54 ± 5,66	15,85 ± 11,62	18,12 ± 10,24	1,75 ± 4,51	13,32 ± 2,69
	Pļava	Kontrolē	7,13 ± 3,78	-	5,01 ± 12,19	9,38 ± 5,94	-	40,59 ± 5,27	34,59 ± 8,31	20,68 ± 18,66	-5,31 ± 33,91	-11,98 ± 2,43	7,13 ± 3,78	13,42 ± 7,68
		Notekūdeņu dūņas	-4,73 ± 13,24	5,79 ± 16,44	-6,77 ± 22,12	-	37,33 ± 9,83	44,76 ± 27,54	25,6 ± 19,43	70,75 ± 108,12	23,22 ± 6,38	4,35 ± 72	-15,25 ± 10,04	21,54 ± 12,14
		Koksnes pelni	-2,65 ± 10,33	0,15 ± 17,2	12,86 ± 7,84	-	41,89 ± 6,84	71,39 ± 27,74	-	36,09 ± 18,21	-112,03 ± 212,87	33,53 ± 18,32	-5,46 ± 3,46	14,81 ± 21,64
		Vidēji	-0,78 ± 8,18	2,97 ± 8,74	3,7 ± 8,43	9,38 ± 5,94	39,61 ± 4,82	52,25 ± 13,59	28,59 ± 12,2	36,86 ± 18,22	-31,37 ± 64,23	14,86 ± 18,33	-4,53 ± 7,68	16,7 ± 8,58

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Gāze	Suga	Mēslojums	Mēnesis												Vidēji
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12		
Kārkli	Kontrole	-0,68 ± 19,27	1,16 ± 17,77	-	-4 ± 8,04	17,26 ± 16,52	-	20,44 ± 20,19	20,28 ± 23,45	7,06 ± 48,46	6,71 ± 6,3	-2,52 ± 20,77	8,3 ± 6,03		
	Notekūdeņu dūņas	3,06 ± 22,76	11,29 ± 18,34	-	7,43 ± 7,6	-	39,94 ± 24,82	29,82 ± 6,47	29,7 ± 12,83	20,89 ± 26,48	49,22 ± 87,33	-5,17 ± 27,18	23,37 ± 8,97		
	Koksnes pelni	-4,15 ± 14,18	-3,19 ± 4,91	-7,86 ± 6,16	0	6,4 ± 19,29	17,59 ± 18,58	21,55 ± 8,44	28,3 ± 89,04	16,88 ± 26,65	-2,49 ± 40,76	-5,11 ± 23,45	7,86 ± 9,34		
	Vidēji	-0,59 ± 7,89	3,09 ± 7,21	-7,86 ± 6,16	1,72 ± 7,32	11,83 ± 10,56	28,77 ± 16,22	23,94 ± 5,76	27 ± 14,73	16,52 ± 13,83	12,74 ± 25,69	-4,27 ± 8,57	13,33 ± 5,05		

Tabula 51 Gāzu apmaiņas mērīšanas rezultātu kopsavilkums, vidējās ikgadējās emisijas

Gāze	Suga	Vidējie rādītāji				Vidējā aritmētiskā standartklūda			
		Kontrole	Notekūdeņu dūņas	Koksnes pelni	Vidēji	Kontrole	Notekūdeņu dūņas	Koksnes pelni	Vidēji
Heterotrofā elpošana CO ₂ - C, tonnas ha ⁻¹ gadā	Bērzs	2,87	2,65	2,89	2,80	0,25	0,20	0,27	0,14
	Melnalksnis	2,50	2,56	2,92	2,67	0,22	0,20	0,22	0,12
	Alkšņu hibrīds	2,76	2,77	2,84	2,79	0,25	0,22	0,22	0,13
	Apšu hibrīds	3,00	3,16	3,34	3,17	0,26	0,23	0,23	0,14
	Pļava	5,23	5,56	5,72	5,51	0,70	0,57	0,75	0,39
	Kārkli	2,90	4,59	3,48	3,70	0,32	0,46	0,33	0,23
CH ₄ -C, kg ha ⁻¹ gadā	Bērzs	-1,77	-1,52	-0,07	-1,10	0,19	0,17	0,84	0,31
	Melnalksnis	-0,37	-0,77	-0,63	-0,59	0,95	0,55	0,26	0,37
	Alkšņu hibrīds	-5,89	-1,49	-1,31	-2,87	5,46	0,39	0,20	1,79
	Apšu hibrīds	-5,66	-1,17	1,14	-1,85	3,37	0,37	1,43	1,23
	Pļava	-2,57	-0,27	-2,25	-1,67	0,80	0,45	1,12	0,49
	Kārkli	0,42	14,67	-0,81	4,87	0,83	9,09	0,11	3,20

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Gāze	Suga	Vidējie rādītāji				Vidējā aritmētiskā standartklūda			
		Kontrole	Notekūdeņu dūņas	Koksnes pelni	Vidēji	Kontrole	Notekūdeņu dūņas	Koksnes pelni	Vidēji
N ₂ O-N, kg ha ⁻¹ gadā	Bērzs	0,85	0,83	0,75	0,81	0,19	0,22	0,24	0,13
	Melnalksnis	0,94	1,64	1,22	1,27	0,26	0,40	0,22	0,17
	Alkšņu hibrīds	1,43	1,41	1,18	1,33	0,26	0,25	0,21	0,14
	Apšu hibrīds	1,39	1,06	1,06	1,17	0,24	0,18	0,20	0,12
	Pļava	1,18	1,89	1,30	1,46	0,33	0,52	0,93	0,38
	Kārkli	0,73	2,05	0,69	1,17	0,26	0,38	0,40	0,22
Vidējie rādītāji	HR CO ₂ -C, tonnas ha ⁻¹ gadā	3,03	3,26	3,32	3,21	0,13	0,13	0,13	0,08
	CH ₄ -C, kg ha ⁻¹ gadā	-3,01	0,52	-0,48	-0,96	1,33	0,99	0,36	0,55
	N ₂ O-N, kg ha ⁻¹ gadā	1,12	1,39	1,04	1,18	0,11	0,13	0,13	0,07
Kopā, CO ₂ ekv, tonnas ha ⁻¹ gadā	Bērzs	10,8	10,0	10,9	10,6	1,0	0,8	1,1	0,6
	Melnalksnis	9,5	10,0	11,2	10,3	0,9	0,9	0,9	0,5
	Alkšņu hibrīds	10,5	10,7	10,8	10,7	1,2	0,9	0,9	0,6
	Apšu hibrīds	11,4	12,0	12,7	12,0	1,2	0,9	1,0	0,6
	Pļava	19,6	21,2	21,4	20,8	2,7	2,3	3,2	1,6
	Kārkli	11,0	18,2	13,0	14,2	1,3	2,2	1,4	1,1

Pielikums 5: Koksnes produktu aprēķinu metodika

Tabula 52. Kopīgie aprēķinu pieņēmumi

Nr.	Nosaukums	Vērtējums
[1]	Celulozes iznākums no celulozes šķeldas, tonnas m ⁻³	25%
[2]	Celulozes blīvums, tonnas m ⁻³	45%
[3]	Granulu iznākums no skaidām, tonnas m ⁻³	24%
[4]	Granulu blīvums, tonnas m ⁻³	70%
[5]	Saplākšņa eksports	95%
[6]	Skujkoku zāgmateriālu (5.C) eksports	87%
[7]	Lapkoku zāgmateriālu (5.NC) eksports	52%
[8]	Celulozes šķeldu eksports	100%
[9]	Tehnoloģisko šķeldu eksports	3%
[10]	Kurināmo šķeldu eksports	37%
[11]	Skaidu un citu granulu izejvielu eksports	0%
[12]	Mizu šķeldu eksports	37%
[13]	Malkas eksports	15%
[14]	Celulozes eksports	N/A
[15]	Granulu eksports	95%
[16]	Celulozes ražošanas atlikumu eksports	N/A

Tabula 53. Kopīgie aprēķinu pieņēmumi

Sortiments	Saražotais apjoms, milj. BM m ³	Mizas no saražotā apjoma, %	Saplākšnis (6.2)	Skujkoku zāgmateriāli (5.C)	Lapkoku zāgmateriāli (5.NC)	Celulozes šķelda	Tehnoloģiskās šķeldas	Malka	Kurināmās šķeldas	Skaidas	Uz vietas pārstrādātā koksne
ID	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]
10-13,9	1,0	11%	0%	52%	0%	33%	0%	0%	0%	15%	85%
12-17,9	1,4	12%	0%	0%	40%	0%	0%	0%	0%	60%	61%
14-17,9	0,0	12%	0%	45%	0%	0%	0%	0%	0%	55%	85%
18-23,9	0,1	12%	0%	0%	36%	0%	0%	0%	0%	64%	61%
18-27,9	0,0	11%	0%	52%	0%	33%	0%	0%	0%	15%	85%
24<	0,1	12%	0%	0%	36%	0%	0%	0%	0%	64%	61%
28< (priede)	1,0	10%	0%	60%	0%	25%	0%	0%	0%	15%	100%
28< (egle)	0,0	12%	0%	52%	0%	33%	0%	0%	0%	15%	100%

Sortiments	Saražotais apjoms, milj. BM m ³	Mizas no saražotā apjoma, %	Saplāksnis (6.2)	Skujkoku zāgmateriāli (5.C)	Lapkoku zāgmateriāli (5.NC)	Celulozes šķelda	Tehnoloģiskās šķeldas	Malka	Kurināmās šķeldas	Skaidas	Uz vietas pārstrādātā koksne
ID	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]
6-9,9	0,0	15%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	100%
A 28<	1,0	10%	0%	60%	0%	25%	0%	0%	0%	15%	100%
FIA 18<	1,4	12%	34%	0%	0%	40%	0%	0%	27%	0%	82%
FIB 18<	1,4	12%	34%	0%	0%	40%	0%	0%	27%	0%	82%
Malka	0,0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	76%	0%	24%	85%
PM 7-49,9	0,0	12%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Stabi 18<	0,0	12%	0%	80%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	100%
Zemas kvalitātes zāģbaļķi 18<	1,0	12%	0%	47%	0%	0%	0%	0%	0%	53%	100%

Tabula 54. Koksnes produktu iznākuma aprēķini

Rādītājs	ID	Aprēķins
Latvijā saražotais splāksnis (6.2), milj. m ³	[28]	[28]=[19]*[27]*[17]
Latvijā saražotie skujkoku zāgmateriāli (5.C), milj. m ³	[29]	[29]=[20]*[27]*[17]
Latvijā saražotie lapkoku zāgmateriāli (5.NC), milj. m ³	[30]	[30]=[21]*[27]*[17]
Latvijā saražotās celulozes šķeldas, milj. m ³	[31]	[31]=[22]*[27]*[17]
Latvijā saražotās tehnoloģiskās (nomaļu) šķeldas, milj. m ³	[32]	[32]=[23]*[27]*[17]
Latvijā saražotās kurināmās šķeldas, milj. m ³	[33]	[33]=[25]*[27]*[17]
Latvijā saražotās skaidas, milj. m ³	[34]	[34]=[26]*[27]*[17]
Latvijā saražotās mizu šķeldas, milj. m ³	[35]	[35]=[18]*[27]*[17]
Latvijā saražotā malka, milj. m ³	[36]	[36]=[24]*[27]*[17]

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Rādītājs	ID	Aprēķins
Latvijā saražotā celuloze, milj. tonnas	[37]	$[37]=[31](1-[8])*[1]$
Latvijā saražotie celulozes ražošanas atlikumi, milj. tonnas	[38]	$[38]=[31]*(1-[8])-[37]/[2]$
Latvijā saražotās granulas, milj. tonnas	[39]	$[39]=[34]*(1-[11])*[3]$
Ārpus Latvijas saražotais saplāksnis (6.2), milj. m ³	[40]	$[40]=[17]*(1-[27])*[19]$
Ārpus Latvijas saražotie skujkoku zāģmateriāli (5.C), milj. m ³	[41]	$[41]=[17]*(1-[27])*[20]$
Ārpus Latvijas saražotie Latvijā lapkoku zāģmateriāli (5.NC), milj. m ³	[42]	$[42]=[17]*(1-[27])*[21]$
Ārpus Latvijas saražotās celulozes šķeldas, milj. m ³	[43]	$[43]=[17]*(1-[27])*[22]$
Ārpus Latvijas saražotās tehnoloģiskās (nomaļu) šķeldas, milj. m ³	[44]	$[44]=[17]*(1-[27])*[23]$
Ārpus Latvijas saražotās kurināmās šķeldas, milj. m ³	[45]	$[45]=[17]*(1-[27])*[25]$
Ārpus Latvijas saražotās skaidas, milj. m ³	[46]	$[46]=[17]*(1-[27])*[26]$
Ārpus Latvijas saražotās mizu šķeldas, milj. m ³	[47]	$[47]=[17]*(1-[27])*[18]$
Ārpus Latvijas saražotā malka, milj. m ³	[48]	$[48]=[17]*(1-[27])*[24]$
Ārpus Latvijas saražotā celuloze, milj. tonnas	[49]	$[49]=([31]*[8]+[43])*[1]$
Ārpus Latvijas saražotie celulozes ražošanas atlikumi, milj. m ³	[50]	$[50]=([31]*[8]+[43])-[49]/[2]$
Ārpus Latvijas saražotās granulas, milj. tonnas	[51]	$[51]=([46]+[34]*[11])*[3]$
Latvijā izmantotais saplāksnis (6.2), milj. m ³	[52]	$[52]=[28]*(1-[5])$
Latvijā izmantotie skujkoku zāģmateriāli (5.C), milj. m ³	[53]	$[53]=[29]*(1-[6])$
Latvijā izmantotie lapkoku zāģmateriāli (5.NC), milj. m ³	[54]	$[54]=[30]*(1-[7])$

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Rādītājs	ID	Aprēķins
Latvijā izmantotie zāgmateriāli kopā (5.C+5.NC), milj. m ³	[55]	[55]=[54]+[53]
Latvijā izmantotā celuloze, milj. m ³	[56]	[56]=[37]*(1-[14])
Latvijā izmantotās tehnoloģiskās šķeldas, milj. m ³	[57]	[57]=[32]*(1-[9])
Latvijā izmantotās kurināmās šķeldas, milj. m ³	[58]	[58]=[33]*(1-[10])
Latvijā izmantotās skaidas, milj. m ³	[59]	[59]=[34]*(1-[11])
Latvijā izmantotās mizu šķeldas, milj. m ³	[60]	[60]=[35]*(1-[12])
Latvijā izmantotā malka, milj. m ³	[61]	[61]=[36]*(1-[13])
Latvijā izmantotie celulozes pārstrādes produkti, milj. m ³	[62]	[62]=[31]*(1-[8])-[37]/[2]*(1-[16])
Latvijā izmantotās granulas, milj. tonnas	[63]	[63]=[39]*(1-[15])
Ārpus Latvijas izmantotais saplāksnis (6.2), milj. m ³	[64]	[64]=[40]+[28]*[5]
Ārpus Latvijas izmantotie skujkoku zāgmateriāli (5.C), milj. m ³	[65]	[65]=[41]+[29]*[6]
Ārpus Latvijas izmantotie lapkoku zāgmateriāli (5.NC), milj. m ³	[66]	[66]=[42]+[30]*[7]
Ārpus Latvijas izmantotā celuloze, milj. tonnas	[67]	[67]=[49]+[37]*[14]
Ārpus Latvijas izmantotās tehnoloģiskās šķeldas, milj. m ³	[68]	[68]=[44]+[32]*[9]
Ārpus Latvijas izmantotās kurināmās šķeldas, milj. m ³	[69]	[69]=[45]+[33]*[10]
Ārpus Latvijas izmantotās skaidas, milj. m ³	[70]	[70]=[46]+[34]*[11]
Ārpus Latvijas izmantotās mizu šķeldas, milj. m ³	[71]	[71]=[47]+[35]*[12]
Ārpus Latvijas izmantotā malka, milj. m ³	[72]	[72]=[48]+[36]*[13]
Ārpus Latvijas izmantotie celulozes pārstrādes produkti, milj. m ³	[73]	[73]=[50]+[38]*[16]

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Rādītājs	ID	Aprēķins
Ārpus Latvijas izmantotās granulas, milj. tonnas	[74]	$[74]=[51]+[39]*[15]$