

PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMA 2021. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”
Līguma Nr. 5_5.9.1_0081_101_21_87

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀJS: Dr. Andis Lazdiņš, LVMI Silava vadošais pētnieks

KOPSAVILKUMS

Pētījuma aktualitāti nosaka Latvijas valdības apņemšanās līdz 2050. gadam sasniegt klimata neitralitātes mērķi, tajā skaitā aizstājot lauksaimniecības sektora radītās siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas un līdz 10% no citu sektoru radītajām SEG emisijām, īstenojot klimata pārmaiņu mazināšanas darbības Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektorā. Mežsaimniecība, tajā skaitā organisko augšņu un citu mazāk vērtīgo lauksaimniecības augšņu apmežošana var dot vislielāko ieguldījumu šī mērķa sasniegšanā, tomēr pietrūkst empīrisku datu klimata pārmaiņas mazinošo darbību ietekmes pamatošanai un prognozēšanai mainīga klimata apstākļos, kā arī šo darbību integrēšanai meža apsaimniekošanas sistēmā. Pētījuma mērķis ir arī identificēt un raksturot līdz šim nepietiekoši novērtētus, ar meža apsaimniekošanas risku mazināšanu saistītus SEG emisiju samazināšanas pasākumus, kā arī pasākumus, kas palielina mežaudžu produktivitāti, palielina koksnes produktu ražošanas efektivitāti, kā arī sekmē CO₂ piesaisti zemes izmantošanas maiņas rezultātā. Pētījuma aktualitāti nosaka arī nepieciešamība veikt SEG emisiju un CO₂ piesaistes aprēķinus SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā, tajā skaitā prognozēt SEG emisijas, balstoties uz datiem, kas iegūti ar meža apsaimniekošanas optimizācijas modeļiem. Pētījuma mērķis ir samazināt oglekļa uzkrājuma izmaiņu un SEG emisiju aprēķinu nenoteiktību, izmantojot periodiski iegūstamus meža inventarizācijas datus. Pētījumu programma strukturēta 8 pētnieciskajos uzdevumos.

- 1) Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” (LVM) apsaimniekotajiem mežiem.
- 2) SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana.
- 3) Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana.
- 4) SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā.
- 5) Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti izpēte.
- 6) Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai.
- 7) Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma.
- 8) Oglekļa bilance bioloģiski vecās mežaudzēs.

Pētījuma pirmajā etapā lielākajā daļā no pētnieciskajiem uzdevumiem izstrādātas darba metodikas, kā arī uzsākta izmēģinājumu objektu atlase un ierīkošana. Gāzu apmaiņas mērījumiem un sasaistes nodrošināšanai ar citām oglekļa krātuvēm izstrādāta unificēta metodika (1. pielikums), kas harmonizēta ar LIFE REStore un LIFE OrgBalt pētījumu metodikām, padarot lielāko daļu datu salīdzināmus. Uzsākot pētījumu, apkopota informācija, kas pieejama par klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumiem (2. pielikums), kas īstenojami meža zemēs. Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem nozīmīgākie pasākumi, kas palīdz samazināt SEG emisijas un palielināt CO₂ piesaisti, ir organisko augšņu apmežošana un meža mēslošana, lai gan secināts arī tas, ka lielākajai daļai pasākumu nav pieejamas kvantitatīvas novērtēšanas metodes. Būtiskas izmaiņas pētījuma īstenošanas gaitā var ieviest regulas (EU) 2018/1999 grozījumu stāšanās spēkā, kas būtiski sarežģīs SEG emisiju uzskaiti, ieviešot vairākus desmitus jaunu zemes izmantošanas kategoriju.

Pētījums veikts LVMI Silava un AS “Latvijas valsts meži” 2021. gada 13. septembra sadarbības līguma ietvaros.

SUMMARY

The topicality of the study is determined by the Latvian government's commitment to ensure climate neutrality in 2050. Forest management, including afforestation of organic soils and other low-value agricultural lands, can make the most significant contribution to this goal, but there is a lack of empirical data to justify and predict the impact of climate change mitigation measures in a changing climate and forecast models to integrate these measures into forest management practices. The study also aims to identify and describe GHG emission reduction measures related to the mitigation of forest management risks, which have so far been underestimated; for example, the impact of the root rot on carbon losses and the possible contribution of the root rot control measures to the achievement of climate neutrality goals have not been studied so far, not only in Latvia, but also in other countries, underestimated impact on the carbon losses from living biomass. The topicality of the study is also determined by the need to calculate GHG emissions and CO₂ removals in the GHG inventory and forecasting system, including forecasting of GHG emissions based on data sets obtained from forest management optimization models. The aim of the study is to reduce uncertainty of the calculation of carbon stock changes and GHG emissions using periodically obtained forest inventory data. The research program is structured in 8 research tasks.

1. methodology for calculation of carbon sequestration and storage in forests managed by LVM;
2. improvement of GHG inventory and forecast modelling tools;
3. modelling of the impact of the root rot on carbon stock in living tree biomass;
4. reduction of GHG emissions in forest management in the context of climate change mitigation;
5. investigation of the impact of afforestation and planting of tree plantations in the buffer zones of the drainage system on GHG emissions and CO₂ removals;
6. increasing the efficiency of utilization of forest resources to mitigate climate changes;
7. planning system for management of drainage networks;
8. carbon balance in biologically old forest stands.

In the first stage of the research, working methodologies have been developed for the most of research tasks, as well as the installation of selection the study sites objects has been started. A unified methodology (Annex **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.**) has been developed for the measurement of gas fluxes and interconnection with other carbon pools, harmonized with the LIFE REstore and LIFE OrgBalt research methodologies, making most of the data comparable. At the start of the study, the available information on climate change mitigation measures (Annex **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.**) in forest lands has been compiled. According to initial results, the main measures to improve GHG emissions and increase CO₂ are afforestation of organic soils and forest fertilization, although it is also concluded that quantitative assessment methods are not available for most of the measures. Significant changes in the implementation of the study could be introduced by the amendments to Regulation (EU) 2018/1999, which will complicate GHG accounting by introducing dozens of new land use categories.

The research was conducted within the framework of the cooperation agreement between LVMI Silava and JSC "Latvia's state forests" on September 13, 2021.

SAĪSINĀJUMI UN SIMBOLI

A - apse

AGM - augšanas gaitas modelis

B - bērzs

Ba - baltalksnis

CH₄ - metāns

CO₂ - oglekļa dioksīds

COP - Conference of Parties (dalībvalstu konference)

DOC - izšķīdušais organiskais ogleklis

E - egle

EK - Eiropas Komisija

EP - Eiropas padome

ES - Eiropas Savienība

EVS - elektrovadītspēja (konduktivitāte)

GHG - greenhouse gases (siltumnīcefekta gāzes)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Starpvalstu Klimata pārmaiņu padome)

LVM - AS "Latvijas valsts meži"

LVMI Silava - Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

Ma - melnalksnis

MNKC - Meža nozares kompetences centrs

MRM - Meža resursu monitorings

N₂O - dislāpekļa oksīds

N_{kop.} - kopējais slāpeklis

SEG - siltumnīcefekta gāzes

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (Apvienoto nāciju vispārīgā konvencija par klimata pārmaiņām)

ZIZIMM - zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība

SATURS

Kopsavilkums	1
Summary.....	2
Sāsinājumi un simboli	3
Ievads	7
1. Literatūras apskats un darba metodika.....	13
1.1. Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem.....	13
1.2. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana	16
1.2.1. Pētījuma objektu raksturojums.....	16
1.2.2. Datu apstrāde	17
1.3. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana	19
1.4.	26
1.5. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā	26
1.6.	36
1.7. Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti izpēte.....	36
1.8. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai.....	39
1.9.	42
1.10. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma	42
1.11. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs	50
1.11.1. Empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos	51
1.11.2. Tradicionālo koksnes produktu dzīves cikla analīze	60
2. Sākotnējie rezultāti un datu analīze	66
2.1. Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem.....	66
2.2. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana	68
2.2.1. Universālais modelis	70
2.2.2. Sadalījums pa atsevišķiem aerolāzerskeneriem	72
2.2.3. Salīdzinājums skuju kokiem un lapu kokiem.....	72
2.2.4. Salīdzinājums pa dažādām sugām.....	73
2.2.5. Salīdzinājums pa skuju kokiem un lapu kokiem atkarībā no sezonas	74
2.2.6. Salīdzinājums pa dažādām sugām sezonāli	75
2.2.7. Attālās izpētes datu pielietošana SEG inventarizācijas pilnveidošanai	78
2.2.8. Sākotnējie secinājumi par mežaudžu augstuma modeļu izstrādes rezultātiem	79
2.3. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana	80
2.4. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā	85
2.5. Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti izpēte.....	103
2.6. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai.....	108
2.7. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma	109
2.8. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs	109
2.8.1. Empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos	109
2.8.2. Tradicionālo koksnes produktu dzīves cikla analīze	113
Novērojumi un secinājumi	114
Literatūra.....	117

Attēli

Attēls 1.1. LiDAR datu ievākšanas aerolāzerskeneru pārklājums	17
Attēls 1.2. LiDAR datu sezonālais pārklājums	17
Attēls 1.3. Dažādu LiDAR punktu mākoņa augstuma procentiņu salīdzinājums lineārās progresijas modelī	19
Attēls 1.4. Rezistogrāfa mērījums (kreisā pusē) stumbrā neuzrāda iekrāsojušos koksni, kas ir viena no trupes	

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

sākumstadijām. Rezistogrāfa mērījums (labajā pusē) uzrāda mīkstās trupes klātbūtni stumbrā	21
Attēls 1.5. Blīvuma paraugu novietojums trupējušās (kreisā pusē) un netrupējušās (labajā pusē) stumbra šķēsgriezuma ripās.....	22
Attēls 1.6. Blīvuma mērīšanas process	23
Attēls 1.7. Slapjaiņu un āreņu platība Latvijā atbilstoši Meža resursu monitoringa datiem.....	43
Attēls 1.8. Valdošo sugu platība āreņos un slapjainos.....	44
Attēls 1.9. Shematisks parauglaukumu elementu izvietojums ārenī.....	45
Attēls 1.10. Shematisks parauglaukumu elementu izvietojums slapjainos.....	46
Attēls 1.11. CH ₄ emisiju no augsnes un gruntsūdens līmeņa sakarība (atbilstoši A. Butlera nepublicētiem datiem)	47
Attēls 1.12. Purvaiņu platība valdošās sugas griezumā	48
Attēls 1.13. Pētījumu objektu shematisks raksturojums purvainī.....	50
Attēls 1.14. Atlasītās vecas bērza audzes	53
Attēls 1.15. Izmēģinājumiem atlasīto audžu piemēri.....	55
Attēls 1.16. Parauglaukuma principiālā shēma.....	58
Attēls 1.17. LLI mērīšanas shēma.....	60
Attēls 2.1. Kokaudžu biomasa LVM apsaimniekotajās teritorijās dalījumā pa valdošajām koku sugām	66
Attēls 2.2. Biomasas resursi sadalījumā pa koku sugām LVM apsaimniekotajās teritorijās	67
Attēls 2.3. Modeļu shēma	70
Attēls 2.4. Universālais modelis	71
Attēls 2.5. Taksācijas rādītāju ekstrapolācijas metodes pielietošanas principiālā shēma.....	79
Attēls 2.6. Trupes ietekmētā laukuma mērīšana stumbra šķēsgriezuma ripās.....	81
Attēls 2.7. Reducētā blīvuma izmaiņas melnalkšņa un baltalkšņa stumbros	82
Attēls 2.8. Netrupējušas un trupējušas koksnes vidējo reducētā blīvuma vērtību salīdzinājums	83
Attēls 2.9. Blīvuma izmaiņas baltalkšņu stumbros atkarībā no parauga ņemšanas vietas. a) 0-2 cm no serdes, b) 2-4 cm no serdes, c) 4-6 cm no serdes.....	84
Attēls 2.10. Koksnes oglekļa saturs atkarībā no koku sugas un trupējušas koksnes klasifikācijas.....	85
Attēls 2.11. Izpētes objektu izvietojums	94
Attēls 2.12. Metāna emisijas valdošo sugu, augšanas apstākļu un meža tipu griezumā	96
Attēls 2.13. Dislāpekļa oksīda emisijas valdošo sugu, augšanas apstākļu un meža tipu griezumā	98
Attēls 2.14. Oglekļa dioksīda emisijas valdošo sugu, augšanas apstākļu un meža tipu griezumā.....	99
Attēls 2.15. Augsnes temperatūras un oglekļa dioksīda emisiju sakarība.....	99
Attēls 2.16. Vidējās ikmēneša CO ₂ emisijas no purvaiņu un kūdreņu augsnēm.....	100
Attēls 2.17. 2021. gadā apsekoto apmežošanas parauglaukumu izvietojums	104
Attēls 2.18. Kokaugu stādījuma dizains minerālaugsnē	107
Attēls 2.19. SEG emisiju kopsavilkums vienādos apstākļos novēlotās jaunaudzju kopšanas cirtēs.....	109
Attēls 2.20. Vidējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā vecās bērza audzēs purvaiņu un kūdreņu meža tipos (± 95 % ticamības intervāls).....	110
Attēls 2.21. Vidējais oglekļa uzkrājums atmirušajā koksnē (kritalās, sausokņi, stumbeņi) purvaiņu un kūdreņu meža tipos vecās bērza audzēs (± 95 % ticamības intervāls).....	110
Attēls 2.22. Vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksnē vecās bērza mežaudzēs Nd un kūdreņu (Ks, Kp) meža tipos	111
Attēls 2.23. Vidējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā vecās bērza audzēs ar sausieņu (Dm, Vr), purvaiņu (Nd) un kūdreņu (Ks, Kp) meža tipos (± 95 % ticamības intervāls).....	111

Tabulas

Tabula 1. Pētījumu programmas virzieni un sagaidāmais rezultāts	7
Tabula 2. Pētījumu programmas uzdevumi 2021. gadā	9
Tabula 1.1. Mežu resursu monitoringa (MRM) datubāzē koku sugām piemērotie aprēķina vienādojumi	

kokaudžu biomasas aprēķiniem	14
Tabula 1.2. Regresijas vienādojumu koeficientu vērtības atsevišķu koku biomasas aprēķiniem	15
Tabula 1.3. Trupes ietekmes izvērtēšanai atlasītās baltalkšņa un melnalkšņa audzes	21
Tabula 1.4. Darbību dati SEG emisiju aprēķiniem.....	24
Tabula 1.5. Klimata pārmaiņas mazinošu pasākumu raksturošanas elementi.....	29
Tabula 1.6. Jaunu izmēģinājumu objektu ierīkošanas kopsavilkums.....	31
Tabula 1.7. Kopšanas ciršu izmēģinājumu objekti, kas apsekoti 2021. gadā.....	35
Tabula 1.8. Dažādu degvielu un smērvielu īpašību salīdzinājums atbilstoši (Buendia u.c., 2019) un šajās vadlīnijās izmantotajiem datu avotiem	40
Tabula 1.9. Pieņēmumi SEG emisiju raksturošanai meža darbos	40
Tabula 1.10. Izmēģinājumu objektu atlase āreņos un slapjainos	43
Tabula 1.11. Izmēģinājumu objektu atlase purvainos	48
Tabula 1.12. Izmēģinājumu objektu atlase slapjainos.....	48
Tabula 1.13. Oglekļa satura koeficienti koku biomasā (virszeme/pazeme) dažādām koku sugām Latvijā, g kg ⁻¹ (Bārdule, Liepiņš, u.c., 2021)	56
Tabula 1.14. Sortimentu iznākums, to garums un caurmērs tievgalī	62
Tabula 1.15. Procentuālā daļa gala produktu iznākumam zāģbaļķiem un papīrmalkai	62
Tabula 1.16. Vienādojumos izmantotie sadalīšanās pakāpes un aizstāšanas efekta koeficienti	63
Tabula 1.17. Oglekļa uzkrājums koksnes produktos un ekspozīcijas efekts vecās un pieaugušās audzēs. Pēc viena aprites cikla (pieaugušās audzēs-skujkokiem 90 gadi, bērzam 65 gadi un apsei 40 gadi; vecās audzēs-skujkokiem 180, bērzam 130 un apsei 80).....	64
Tabula 2.1. Oglekļa saturs saimnieciski nozīmīgāko koku sugu biomasā	67
Tabula 2.2. Oglekļa saturs biomasā saimnieciski nozīmīgāko koku sugu dominējošās audzēs.....	68
Tabula 2.3. MRM parauglaukumu skaits pa MRM uzmērīšanas gadiem un LiDAR skenēšanas gadiem.....	68
Tabula 2.4. MRM parauglaukumu skaits ar konkrētu dominējošo sugu.....	69
Tabula 2.5. MRM parauglaukumu skaits pa MRM uzmērīšanas gadiem un LiDAR skenēšanas gadiem.....	70
Tabula 2.6. Universālais mežaudzes augstuma modelis	71
Tabula 2.7. Mežaudžu augstuma modeļi pa dažādiem aerolāzerskeneriem.....	72
Tabula 2.8. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa skuju kokiem/ lapu kokiem.....	73
Tabula 2.9. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa dažādām sugām.....	74
Tabula 2.10. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa skuju kokiem/ lapu kokiem ar sezonālo ietekmi.....	74
Tabula 2.11. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa sugām ar sezonālo ietekmi.....	76
Tabula 2.12. Trupējušo paraugkoku raksturojums	81
Tabula 2.13. LIFE OrgBalt demonstrējumu un references objektos īstenojamās izpētes programmas	87
Tabula 2.14. Izmēģinājumu objektu raksturojums purvainos un kūdreņos.....	94
Tabula 2.15. Augsnes SEG emisiju un ietekmējošo faktoru sakarības ciešums.....	95
Tabula 2.16. Gruntsūdens līmeņa dziļuma ietekme uz augsnes CH ₄ emisijām	97
Tabula 2.17. Ikgadējās augsnes CH ₄ emisijas (kg C-CH ₄ ha ⁻¹ gadā) izmēģinājumu objektos	97
Tabula 2.18. Ikgadējās augsnes N ₂ O emisijas (kg N-N ₂ O ha ⁻¹ gadā) izmēģinājumu objektos	98
Tabula 2.19. SEG emisiju faktori, kas izstrādāti LIFE REstore projektā (kopsavilkums atbilstoši Lazdiņš, Butlers, u.c. (2019)).....	100
Tabula 2.20. 2012. gadā ierīkoto izmēģinājumu objektu pārmērīšanas rezultāti	104
Tabula 2.21. Taksācijas rādītāju kopsavilkums sugu griezumā.....	106

IEVADS

Saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes regulu (ES) 2018/841 par zemes izmantošanā, zemes izmantošanas maiņā un mežsaimniecībā (ZIZIMM) radušos siltumnīcefekta gāzu emisiju un piesaistes iekļaušanu klimata un enerģētikas politikas satvarā laikposmam līdz 2030. gadam, aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes ziņošana 2021.-2030. gadā ir obligāta. Ziņošanas procedūra un iespēja izvēlēties ziņojamās aktivitātes noteikta Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumā Nr. 2/CMP.7.

Eiropas Savienības iekšējo kārtību ziņojumu sagatavošanai par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas kārtību šobrīd nosaka 2013. gada 21. maija Eiropas Parlamenta un Padomes lēmums Nr. 529/2013 (turpmāk – EP un EK regula 529/2013). Šajā lēmumā noteikta ziņojumos iesniedzamās informācijas struktūra, formāts, iesniegšanas un izskatīšanas procedūras. Ziņojumus par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radītajām SEG emisijām un CO₂ piesaisti dalībvalstīm jā sagatavo saskaņā ar 2013. gada 21. maija Eiropas Parlamenta un Padomes regulas Nr. 525/2013 7.pantu un 2014. gada 30. jūnija Komisijas Īstenošanas regulas 749/2014 4. nodaļu, kas nosaka ziņošanu lēmuma Nr. 529/2013/ES izpildei, tajā skaitā 38. pants reglamentē izvairīšanos no dubultas ziņošanas, 39. pants nosaka ziņošanas prasības attiecībā uz aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas sistēmām, 40. pants nosaka ziņošanas prasības attiecībā uz ikgadējiem aprēķiniem par emisijām un piesaisti, ko rada aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošana, bet 41. pants nosaka īpašās ziņošanas prasības. Sākot ar 2021. gadu, ziņošanas kārtību nosaka ZIZIMM regula.

Saskaņā ar līgumslēdzēju pušu lēmumu Nr. 2/CMP.7 un Lēmumu Nr. 529/2013/ES ikgadējie ziņojumi jā sagatavo atbilstoši 2006. gada Labas prakses vadlīnijām Nacionālajai siltumnīcefekta gāzu inventarizācijai (Eggleston u.c., 2006) un 2013. gada pārstrādātajiem papildus metodiskajiem norādījumiem un labas prakses vadlīnijām, kas izriet no Kioto protokola prasībām (Hiraishi u.c., 2013)

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

Pētījuma ietvaros risināsim jautājumus, kas saistīti ar inventarizācijas un prognožu ziņojumu 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 1. etapa īstenošanas gaitā nav konstatēti papildus riski iepriekš noteikto darba uzdevumu īstenošanā. Pētījumu programmas sagaidāmais rezultāts un galvenie pētījumu virzieni apkopoti tab. 1, bet izpildes progress un rezultātu kopsavilkums 2021. gadā – tab. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots..**

Tabula 1. Pētījumu programmas virzieni un sagaidāmais rezultāts

Nr.	Pētījumu virziens	Sagaidāmais rezultāts 2021.-2025. gados
1.	Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS "Latvijas valsts meži" apsaimniekotajiem mežiem	Zinātniskās literatūras analīze par biomasas aprēķina metodēm un oglekļa satura izmaiņām dzīvo koku biomasā. Nacionālā meža resursu monitoringa (MRM) parauglaukumu datu apstrāde un dzīvo koku biomasas aprēķini, balstoties uz Latvijai piemērotiem individuālu koku biomasas vienādojumiem izplatītākajām koku sugām. Kokaudžu līmeņa biomasas aprēķina metodikas izstrāde un testēšana valsts mežos. Izstrādāta metodika kokaudžu biomasas pārrēķināšanai oglekļa vienībās.
2.	SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana	Būtisks SEG inventarizācijas nenoteiktības samazinājums un datu interpolācijas precizitātes palielinājums, modelējot mežizstrādes, atmežošanas un citu zemes izmantošanas veidu maiņas ietekmi uz SEG emisijām, kā arī klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanas un prognozēšanas precizitātes pieaugumu. Pētījumā izmantoti Copernicus, MRM, augstas izšķirtspējas LiDAR dati un valsts uzturētās LPIS (Land parcel information system) datu bāzes, mašīnmācības metodes.
3.	Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana	Metode stumbra trupes ietekmes uz dzīvu koku biomasas raksturošanai, kā arī trupes ietekme uz kokaudžu oglekļa uzkrājumu vienādojumos. Vienādojumi Latvijas SEG inventarizācijas sistēmas un prognožu modeļu pilnveidošanai, raksturojot oglekļa uzkrājumu visās oglekļa krātuvēs un CO ₂ emisijas, kas veidojas dzīvu koku trupēšanas rezultātā.
4.	SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā	Pamatojums klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu īstenošanai meža apsaimniekošanā nacionālo neitralitātes mērķu sasniegšanai. Klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu-SEG emisiju samazināšanas un CO ₂ piesaistes palielināšanas potenciāla un sociāli ekonomiskais novērtējums. Klimata pārmaiņu mazināšanas darbību katalogs.
5.	Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti izpēte	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 CO ₂ piesaisti raksturošanai.
6.	Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai	Mašīnmācības metodes un harvesteru produkcijas failu analīzes rīki kokmateriālu iznākuma algoritmu precizēšanai. Saudzīgu mežizstrādes metožu ietekmes modelēšana bojājumu mazināšanai un vērtīgo sortimentu iznākuma palielināšanai. Kompaktklases tehnikas un citu risinājumu pielietošana atstājamo koku bojājumu samazināšanai kopšanas cirtēs. Pilna

Nr.	Pētījumu virziens	Sagaidāmais rezultāts 2021.-2025. gados
		dzīves cikla analīze dažādos ražošanas etapos patērētās enerģijas un radīto SEG emisiju griezumā. Metode koksnes produktu un padziļinātas koksnes pārstrādes tehnoloģiju iespējamās ietekmes uz SEG emisijām analīzei.
7.	Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma	Izstrādāts un integrēts SEG emisiju modelēšanas rīkos meliorācijas sistēmu ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti prognožu modelis un lēmuma pieņemšanas atbalsta rīks nogabalu un meliorācijas sistēmu līmenim, kas ņem vērā teritorijas reljefu, augsnes īpašības, meteoroloģiskās prognozes, meliorācijas sistēmu nolietojumu un mežaudžu augšanas gaitu.
8.	Oglekļa bilance vecās mežaudzēs	Raksturots oglekļa uzkrājums bioloģiski vecās, saimnieciskās darbības neietekmētās bērza, apses un skuju koku mežaudzēs, iegūstot datus, kas integrējami kopējā mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodikā LVM apsaimniekotajiem mežiem. CO ₂ piesaistes dinamika laikā un atšķirības audzēs ar dažādām augsnēm, detalizētākas rekomendācijas mežsaimniecībai.

Tabula 2. Pētījumu programmas uzdevumi 2021. gadā

Nr.	Pētījumu virziens/Pētījums	Sagaidāmais rezultāts 2021. gadā	Īstenošanas progress
1.	Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem		
1.1.	Biomases un oglekļa uzkrājuma novērtēšanas metodes izstrādāšana	MRM parauglaukumu atlase un aprēķinu vienādojumu sagatavošana	Pabeigts
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	Mežaudžu augstuma modeļu izstrāde	Pabeigts

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Nr.	Pētījumu virziens/Pētījums	Sagaidāmais rezultāts 2021. gadā	Īstenošanas progress
2.2.	Metodikas koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai integrēšana SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā	Nosacījumu definēšana datu interpolācijas un ekstrapolācijas metožu pilnveidošanai	Daļēji īstenots, darba uzdevuma īstenošanu varēs pabeigt pēc regulas 2018/1999 grozījumu stāšanās spēkā
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	Metodikas izstrāde trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšanai. Paraugu ievākšana, baltalkšņa un melnalkšņa audzēs. Ievākto koksnes paraugu analīzes (blīvums, C, N saturs) laboratorijā	Pabeigts
3.2.	Izstrādāt oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes trupes ietekmē pie dažādiem meža apsaimniekošanas scenārijiem	Darba uzdevuma formulēšana trupes ietekmes uz uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšanai, datu specifiku sagatavošana	Pabeigts
3.3.	Novērtēt trupes ierobežošanas pasākumu ietekmi uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti meža zemēs	Metodikas izstrādāšana trupes ierobežošanas pasākumu raksturošanai atbilstoši ES nosacījumiem SEG emisiju mazināšanas pasākumiem	Pabeigts
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	Esošie izpētes objekti un mežsaimnieciskās darbības ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai	Pabeigts
4.2.	Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstenošanas ilgtermiņa un ietekmes novērtēšanai	Detalizētas metodikas izstrāde jaunu izpētes objektu ierīkošanai	Pabeigts
5.	Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO ₂ piesaisti izpēte		

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Nr.	Pētījumu virziens/Pētījums	Sagaidāmais rezultāts 2021. gadā	Īstenošanas progress
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	Līdz 2020 gadam ierīkoto apmežojumu apzināšana. Jaunu eksperimentālo stādījumu vietu atlase, augsnes paraugu ievākšana	Pabeigts, daļēji izpildīti 2022. gada darbi
5.2.	Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskam augsnēm un minerālaugsnēm	Iespējamo izmēģinājumu vietu atlase. Stādījumu dizaina plānošana	Pabeigts
5.3.	Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām	Viens populārzinātnisks raksts, informācija radio un TV, raidierakstu sērija par kokaugu stādījumiem nemeža zemēs	Pabeigts
6.	Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai		
6.1.	Mežizstrādes metožu ietekmes uz SEG emisijām ietekmes novērtēšana modelēšana	Mežizstrādes risinājumu, kas veicina SEG emisiju samazinājumu, identificēšana. Darba metodikas izstrādāšana	Pabeigts
7.	Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma		
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.	Izpētes metodikas izstrādāšana un pētījumu objektu atlase slapjajos un āreņos	Pabeigts
7.2.	Lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu	Metodikas izstrādāšana un objektu atlase dziļvagu tīkla ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai purvainos	Pabeigts

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Nr.	Pētījumu virziens/Pētījums	Sagaidāmais rezultāts 2021. gadā	Īstenošanas progress
	uzturēšanai un modernizēšanai.		
8.	Oglekļa bilance vecās mežaudzēs		
8.1.	Empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos	Pētījuma objektu atlase pēc taksācijas un attālās izpētes datiem, apsekošana, objektu izvēle, parauglaukumu ierīkošana pāraugušās lapkoku audzēs	Pabeigts
8.2.	Tradicionālo koksnes produktu dzīves cikla analīze	Informācijas par vecajām audzēm sagatavošana aprobētās metodes koksnes produktu dzīves cikla analīzei pielietošanai un turpmāko pētījuma etapu detalizētu darba uzdevumu sagatavošana	Pabeigts

1. LITERATŪRAS APSKATS UN DARBA METODIKA

1.1. Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem

Klimata pārmaiņu kontekstā, mežaudžu spēja piesaistīt atmosfērā esošo oglekli un ražot atjaunojamu energoresursu (biomasu) ir kļuvusi par vienu no nozīmīgākajiem vadmotīviem, plānojot dabas resursu apsaimniekošanas stratēģijas visā Eiropā un arī Latvijā. Pieaugošā interese par mežu pareizu apsaimniekošanu klimata pārmaiņu mazināšanas nolūkā, pamato nepieciešamību nepārtraukti aktualizēt informāciju par mežaudžu stāvokli un to attīstību. Informāciju par Latvijas meža platības izmaiņām, meža koksnes resursu struktūru un dinamiku, mežaudžu bojājumiem, atmirušo koksnī un mežaudžu augšanas gaitu pamatā iegūst no valsts meža resursu monitoringa (MRM) datiem. Latvijas MRM pamatā uzkrāj koku mērījumu datus un tos izmanto, lai iegūtu precīzu informāciju par meža resursiem valsts un starptautisko statistikas pārskatu vajadzībām. Tā kā kokaudžu biomasu ir aprēķināma, piemēram, no krājas vai citiem audzes parametriem, un ogleklis veido apmēram pusi no šīs masas, tad tie paši MRM koku mērījumu dati ir izmantojami, lai novērtētu kokaudzēs piesaistītā oglekļa apjomus un izveidotu praktiskus kokaudžu biomasas pārrēķina vienādojumus.

AS „Latvijas valsts meži” (LVM) apsaimniekotajos mežos, CO₂ piesaistes prognozēšanā un ilgtermiņa plānošanā nav iespējams izmantot Latvijai izstrādātos individuālu koku biomasas aprēķina vienādojumus, jo LVM apsaimniekotajos mežos ir pieejama informācija tikai par mežaudžu vidējiem taksācijas rādītājiem. Līdz šim izstrūkstošais posms, šādu praktisku biomasas pārrēķina vienādojumu izveidei, bija baltalkšņu un melnalkšņu biomasas aprēķina vienādojumu neesamība. Priedei, eglei, bērzam un apsei individuālu koku biomasas aprēķina vienādojumi izveidoti 2018. gadā. Līdz ar pētījuma uzsākšanu 2021. gada rudenī, ir publicēti biomasas vienādojumi arī abām alkšņu sugām. Atbilstoši pētījuma kalendārajam plānam, 2021. gada IV. ceturksnī uzsākta šo biomasas vienādojumu sasaiste ar Latvijas MRM ievāktajiem koku mērījumu datiem. Jaunizveidoto datu kopu izmantos, lai pielāgotu biomasas un oglekļa uzkrājuma aprēķina metodiku “Latvijas valsts mežu” vajadzībām, izstrādājot praktiski lietojamus biomasas aprēķina vienādojumus.

Kokaudžu biomasas raksturošanai un vienādojumu izstrādei LVM apsaimniekotajiem mežiem izmantos MRM 2016.–2020. gada rezultātus, ietverot III cikla pēdējo triju gadu uzmērījumus un IV cikla pirmo divu gadu uzmērījumus. Pētījumā datu kopu veidos tikai LVM apsaimniekotajās teritorijās izvietotie MRM parauglaukumi. Paredzēts, ka audžu biomasas aprēķina vienādojumu izstrādei atlasīs tos parauglaukumus un to sektorus, kuru platība ir vismaz 400 m², jo pieņemts, ka šādas platības sektoros ir pieejams adekvāts koku sadalījums, kas nav mazākos sektoros. MRM ierīkotajos pastāvīgajos parauglaukumos uzmērītas visas koku sugas sākot no 2.1 cm diametra. Pēc MRM klasifikācijas, kokaudžu biomasas vienādojumu izstrādei izmantoti tikai parauglaukumu dati par zemes kategorijām 10 (mežs) un 62 (mežs lauksaimniecības zemē). Visiem iepriekšminētajiem kritērijiem MRM datu bāzē atbilst 2961 parauglaukumi, kurus izmantos vienādojumu izstrādē. Savukārt, kokaugu biomasas raksturošanai izmantos visus MRM parauglaukumus kuri izvietoti uzņēmuma apsaimniekotajās teritorijās, kopā tie ir 3258 parauglaukumi. Tā kā biomasas vienādojumi Latvijā izstrādāti tikai sešām saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām (Liepiņš, Lazdiņš, u.c. (2017, 2021)), pārējām parauglaukumos sastopamajām koku un krūmu sugām vienādojumus piemēros atbilstoši tab. 1.1. Pētījumā izmantotie biomasas vienādojumi apkopoti tab. 1.2.

Tabula 1.1. Mežu resursu monitoringa (MRM) datubāzē koku sugām piemērotie aprēķina vienādojumi kokaudžu biomasas aprēķiniem

Suga	Sugu grupa	Sugas kods	Piemērotais vienādojums
priede	skujkoks	1	priede
egle	skujkoks	3	egle
bērzs	lapkoks	4	bērzs
melnalksnis	lapkoks	6	melnalksnis
apse	lapkoks	8	apse
baltalksnis	lapkoks	9	baltalksnis
ozols	lapkoks	10	bērzs
osis	lapkoks	11	bērzs
liepa	lapkoks	12	bērzs
lapegle	skujkoks	13	egles
citas priedes	skujkoks	14	priede
citas egles	skujkoks	15	egle
goba, vīksna	lapkoks	16	bērzs
dižskābardis	lapkoks	17	bērzs
skābardis	lapkoks	18	bērzs
papele	lapkoks	19	apse
vītols	lapkoks	20	apse
blīgzna	lapkoks	21	bērzs
ciedru priede	skujkoks	22	priede
baltegle	skujkoks	23	egle
kļava	lapkoks	24	bērzs
mežābele	lapkoks	51	bērzs
ķirsis	lapkoks	56	bērzs
citas koku un krūmu sugas	lapkoks	–	bērzs

Tabula 1.2. Regresijas vienādojumu koeficientu vērtības atsevišķu koku biomasas aprēķiniem

Suga	Biomasa	Regresijas koeficientu vērtības						
		a	b	c	d	e	m	k
Priede	AGB	-1,4480	8,7399	0	0,5624	0	16	1,009
	SB	-2,8125	7,1368	0,0118	1,1270	0	15	1,005
	BB	-1,6032	14,7696	0	-1,5888	0	11	1,042
	BGB	-3,2937	9,0334	0	0,5353	0	14	1,035
Egle	AGB	-0,5244	8,8563	0	0,3879	0	19	1,013
	SB	-2,5842	7,0769	0,0232	0,9631	0	15	1,002
	BB	0,3300	12,0986	0	-1,0682	0	16	1,012
	BGB	-2,4967	10,8184	0	0	0	14	1,039
Bērzs	AGB	-2,1284	9,3375	0,0221	0,2838	0	11	1,004
	SB	-2,9281	8,2943	0,0184	0,7374	0	11	1,002
	BB	-1,0091	16,9249	0	-2,0462	0	12	1,075
	BGB	-3,6432	0	0	0	2,5127	0	1,006
Apse	AGB	-1,9434	9,7506	0,0337	0	0	11	0,990
	SB	-2,8955	8,3896	0,0226	0,6148	0	11	1,006
	BB	-2,3703	14,3352	0	-1,0849	0	12	1,004
	BGB	-2,3114	10,3644	0	0	0	15	0,992
Baltalksnis	AGB	-2,2207	9,7183	0,0336	0	0	10	1,005
	SB	-2,6141	9,0687	0,0576	0	0	9	0,993
	BB	-2,3445	17,3595	0	-2,2770	0	9	1,079
	BGB	-2,9585	0	0	0	2,1141	0	1,014
Melnalksnis	AGB	-1,6846	9,3412	0,0221	0	0	14	0,996
	SB	-2,4428	8,4713	0,0295	0,5315	0	13	1,007
	BB	-0,4283	15,6239	0	-1,9661	0	15	1,026
	BGB	-2,6672	0	0	0	2,1004	0	1,014

Tab. 1.2 AGB, SB, BB, BGB, attiecīgi, ir kopējā virszemes, stumbra, zaru, kopējā pazemes biomasa. Vienādojums: $Biomasa, kg = k \times \exp\left(a + b \times \left(\frac{D}{D+m}\right) + c \times H + d \times \ln(H) + e \times \ln(D)\right)$, kur a, b, c, d, e - koeficienti, D – krūšaugstuma caurmērs (centimetri), H – koka augstums (metri), m – konstante, k – korekcijas koeficients.

Meža ekosistēmā nozīmīgākās oglekļa krātuves ir stumbra un zaru biomasa (virszemes biomasa), celma un sakņu biomasa (pazemes biomasa), nobiras, kritalas un organiskās vielas augsnē. Fotosintēzes procesā augos un kokos uzņemtais ogleklis nepārtraukti pārvietojas starp šīm piecām oglekļa krātuvēm. Vislielākais piesaistītā oglekļa apjoms ir akumulēts kokaugu virszemes biomasā, kas ir vissvarīgākā un redzamākā no minētajām sauszemes oglekļa krātuvēm (Ravindranath & Ostwald, 2008). Koka sakņu galvenā funkcija globālajā oglekļa aprites ciklā ir oglekļa nogādāšana un tā uzglabāšana augsnē. Nobiru un kritalu kopējā masa sastāda vien nelielu īpatsvaru no kopējā, mežaudzēs akumulētā oglekļa apjoma, tāpēc tai ir neliels īpatsvars kopējā oglekļa bilancē (Ravindranath & Ostwald, 2008). Arī organiskā augsne ir nozīmīga oglekļa krātuve mežā, bet oglekļa piesaiste augsnē, tāpat kā nobirās un kritalās akumulētais ogleklis, ir tiešā mērā atkarīga no augu virszemes un sakņu daļas biomasas (Kumar, Pandey, & Pandey, 2006; Lal, 2005). Skaidrs ir tas, ka

augsnē ogleklis noteikti uzkrājas lēnāk, nekā koksni. Precīza kokaudžu biomasas aprēķināšana noteikti ir priekšnoteikums, lai varētu modelēt nobirās, kritalās un augsnē akumulētos oglekļa apjomus.

Pārrēķiniem no biomasas uz oglekļa masas vienībām izmanto oglekļa satura pārrēķina koeficientus. Novērtējot kokaudžu oglekļa krājumus, zinātniskajā literatūrā un praksē daudzos gadījumos vienkāršoti tiek pieņemts, ka oglekļa saturs koka biomasā ir 50%. Tomēr nesēnākie pētījumi apliecina, ka šis pieņēmums nav gluži precīzs un oglekļa saturs būtiski atšķiras ne vien starp koku sugām, bet arī starp dažādām koka virszemes un pazemes frakcijām. Dažos pētījumos pat ir pierādīts, ka vispārīgi pieņemtais oglekļa satura pieņēmums var radīt vidēji 5% kļūdu kokaudžu oglekļa uzkrājuma aprēķinos. Lai samazinātu kokaudžu oglekļa uzkrājumu aprēķinu nenoteiktību, pētījuma ietvaros izstrādātas Latvijas apstākļiem piemērotas oglekļa satura vērtības priedes, egles, bērza un apses audžu oglekļa uzkrājuma aprēķiniem (Bārdule et al., 2021). Oglekļa satura vērtības iegūtas, analizējot dažādus paraugus (stumbru, dzīvus zarus, sausos zarus, celmu, balstsaknes, sīkās saknes) no 372 paraugkokiem. Šo pašu paraugkoku dati izmantoti arī izstrādājot iepriekšminēto koku sugu biomasas aprēķina vienādojumus, tādā veidā abas datu kopas viena otru papildina. Neparimetriskais Kruskal-Wallis tests izmantots, lai novērtētu vidējo oglekļa satura vērtību atšķirības starp dažādām koka daļām vai koku sugām. Plānots, ka izstrādātās oglekļa satura vērtības turpmāk tiks izmantotas arī nākamajos SEG ziņojumos un statistikas pārskatos par Latvijas mežaudžu oglekļa uzkrājumu un tā izmaiņām.

1.2. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana

Pētījums uzsākts 2021. gada 3. ceturksnī. Risināmie uzdevumi – mežaudžu augstuma modeļu izstrāde; nosacījumu definēšana datu interpolācijas un ekstrapolācijas metožu pilnveidošanai, veicot zemes izmantošanas maiņas un realizējot dažādus saimnieciskās darbības scenārijus, tajā skaitā krājas pieauguma un atmiruma uzskaiti SEG inventarizācijā, izmantojot MRM datus.

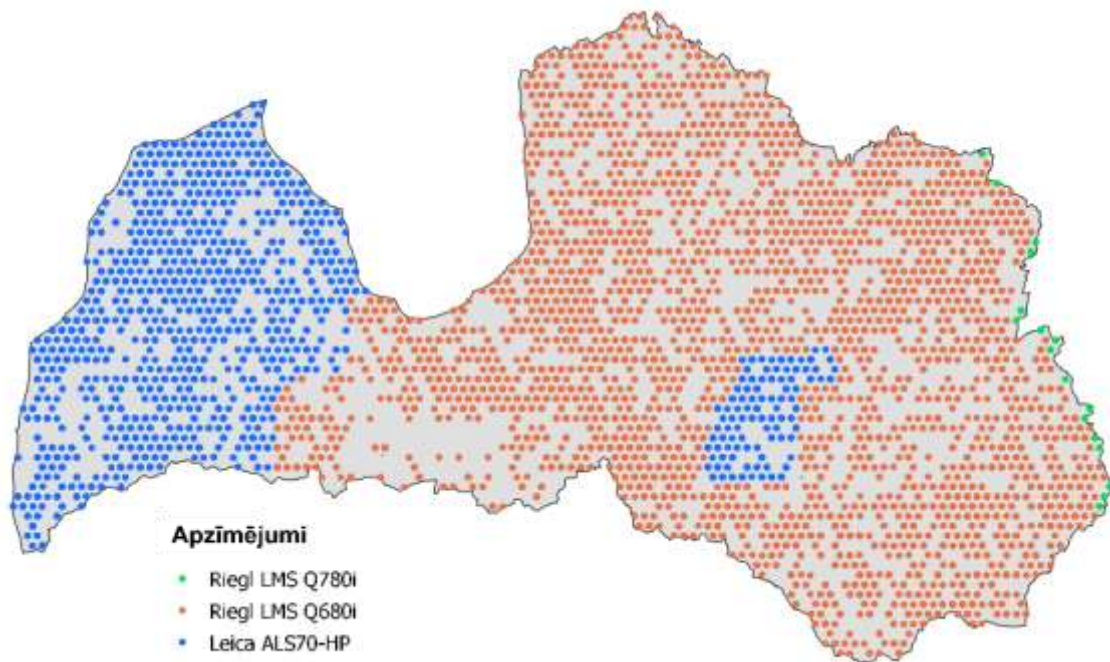
Aerolāzerskenēšana Latvijā ar LiDAR (light detecting and ranging) tehnoloģiju veikta laikā no 2013 līdz 2019. gadam un ar trim dažādiem aerolāzerskenēriem ir iegūta precīza informācija par zemes virsmas reljefu un apaugumu. Meža resursu monitoringa (MRM) parauglaukumos ar piecu gadu ciklu veic mērījumus, lai noteiktu koku augstumu un citus ar mežu saistītos parametrus. Izmantojot MRM parauglaukumus un LiDAR datus, ir iespējams veidot precīzus mežaudžu augstuma modeļus, kurus var attiecināt uz pārējo valsts teritoriju un iegūt precīzu informāciju par mežu augstumu.

Pētījuma mērķis ir izstrādāt mežaudžu augstuma modeļus Latvijas teritorijai, izmantojot LiDAR un MRM parauglaukumu datus. Statistiskie modeļi izstrādāti dažādās detalizācijas pakāpēs, izmantojot 75% no MRM parauglaukumiem, sākot ar universālu visu mežaudžu modeli, beidzot ar sezonāliem individuālu sugu modeļiem. Izstrādātie modeļi validēti pret validācijas datu kopu, kura sastāda 25% no MRM parauglaukumiem.

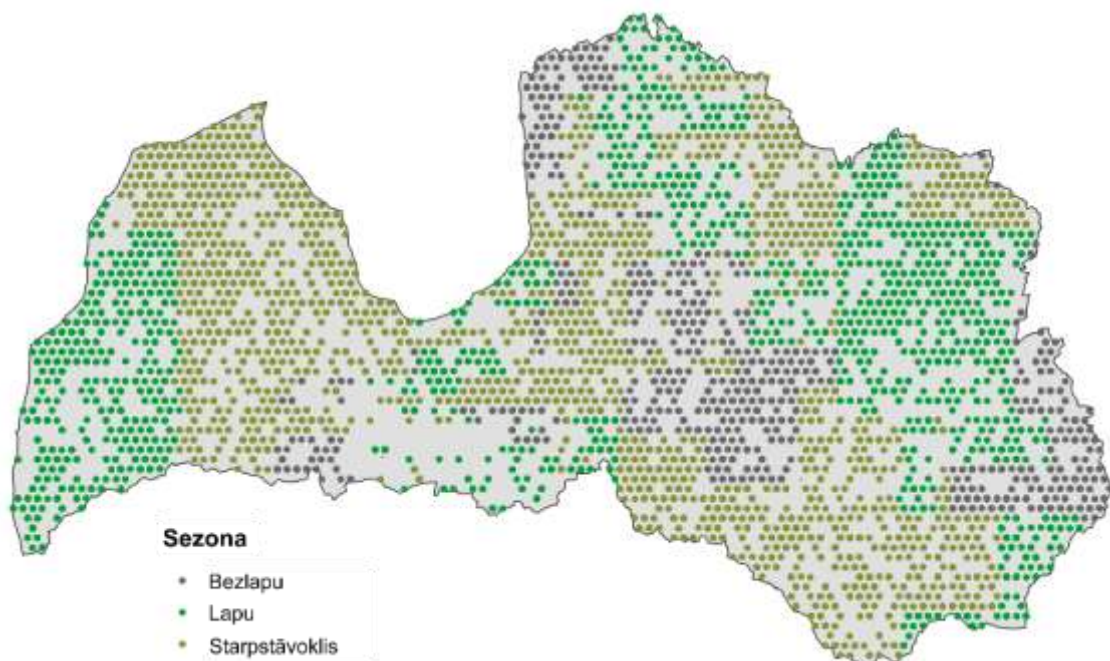
1.2.1. Pētījuma objektu raksturojums

Pētījums apņēma visu Latvijas teritoriju MRM parauglaukumu ietvaros. Pētījuma vajadzībām atlasīti visi meža nedalītie (500 m² lielie) MRM parauglaukumi meža un lauksaimniecības zemēs, kur dominējošās koku sugas ir Priede (*Pinus sylvestris* L.), Egle (*Picea abies*), Bērzs (*Betula pendula* Roth), Melnalksnis (*Alnus glutinosa*), Apse (*Populus tremula* L.) vai Baltalksnis (*Alnus incana*). Kopā pētījuma teritoriju veido 4570 MRM parauglaukumi.

Pilns LiDAR datu pārklājums Latvijā iegūts laika periodā no 2013 - 2019. gadam, izmantojot dažādas aerolāzerskenēšanas sistēmas (att. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.**) un dažādos veģetācijas sezonas periodos (att. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.**), kas attiecīgi norāda uz neviendabīgu datu iegūšanu visā pētījuma teritorijā.



Attēls 1. LiDAR datu ievākšanas aerolāzerskeneru pārklājums



Attēls 2. LiDAR datu sezonālais pārklājums

1.2.2. Datu apstrāde

MRM 4. ciklā (2019.-2023. gads) parauglaukumu centriem veikta GPS koordinātu pārmērīšana, izmantojot augstas izšķirtspējas GPS aparātu. Koordinātu mērīšanai izmantots Topcon GRS-1 uztvērējs ar Trimble R1 ārējo antenu un datu pēcapstrāde veikta GPS Pathfinder Office programmā, izmantojot LatPos bāzes staciju tīklu, tādējādi iegūstot precizitāti, kas ir 1 metra robežās. Uz datu apstrādes laiku precīzo koordinātu dati bija pieejami 2 no 5 MRM cikla gadiem.

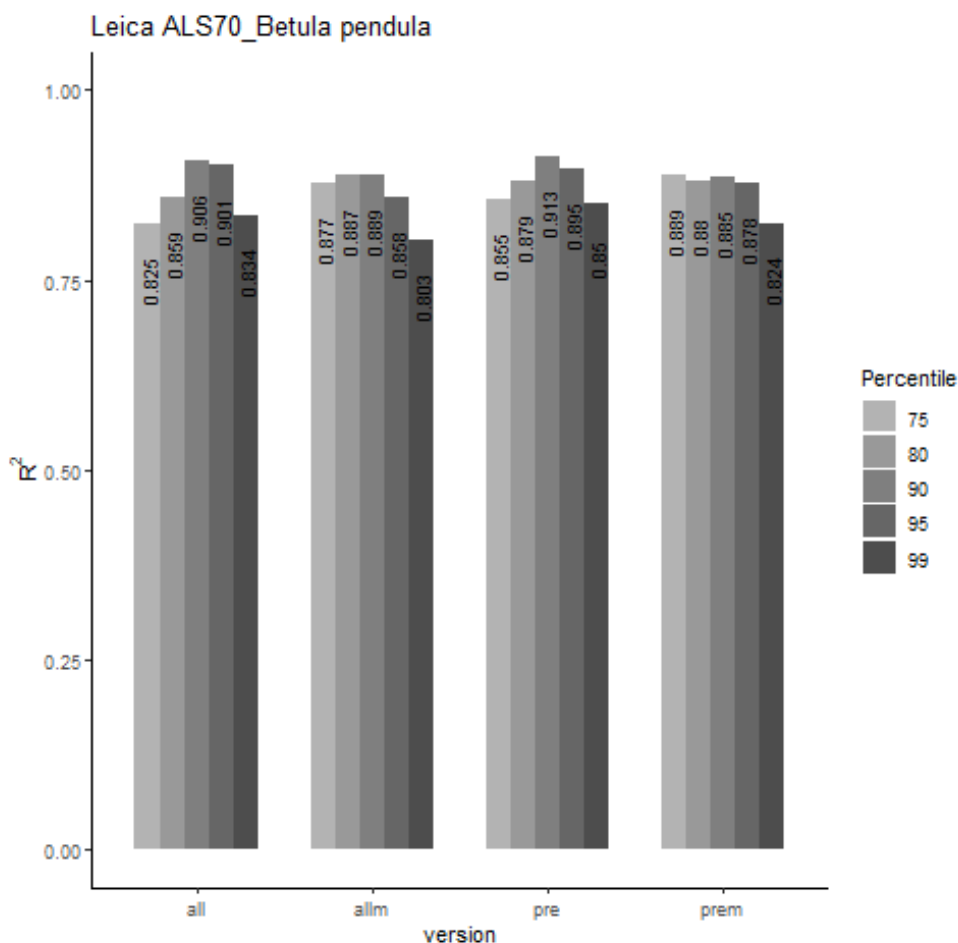
Pētījumam nepieciešamie LiDAR dati un to metadatu slānis iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās Informācijas aģentūras. Izmantojot FUSION/LDV programmatūru, veikta LiDAR punktu mākoņu

izgriešana pa MRM parauglaukumu robežām. MRM parauglaukumiem, kuriem ir zināmas precizētas koordinātas, LiDAR punktu mākoņa izgriešana veikta apļa formā, ar apļa rādiusu 12,62 m. Savukārt visiem MRM parauglaukumiem, LiDAR punktu mākoņa izgriešana veikta ar 14,62 m rādiusu. LiDAR punktu mākoņa izgriešanas laikā punktu mākonis normalizēts pret digitālo reljefa modeli. Nākamajā solī, izmantojot *CloudMetrics* rīku, iegūta statistiskā informācija par LiDAR punktu mākoņa punktu izvietojumu vertikālā griezumā. Papildus veikta LiDAR punktu mākoņa vertikālā izvietojuma statistikas iegūšana, atsijājot punktus, kuri ir līdz 1.5 m augstumā virs zemes.

Izmantojamai datu kopai atlasīti MRM parauglaukumi no 2., 3. un 4. MRM cikla, kuri ir ± 2 gadu robežās ar LiDAR uzmērījumiem. MRM parauglaukumu informācijai pievienoti dati par LiDAR punktu mākoņa vertikālā sadalījuma augstumu pa 75, 80, 90, 95 un 99 percentili un LiDAR datu uzmērīšanas laiks, par pamatu ņemot LĢIA uzturēto LiDAR metadatu slāni. Tādējādi iegūta savstarpēji salīdzināma datubāze ar informāciju par dominējošo koku sugu, koku augstumu, LiDAR punktu augstuma percentilēm visos MRM parauglaukumos un LiDAR punktu augstuma percentilēm precizētajos MRM parauglaukumos.

Sezonālās atšķirības definētas pēc principa – lapu periods, bezlapu periods, vai starpstāvoklis. MRM parauglaukuma piederība kādai no sezonām definēta pēc nedēļas numura gadā. Bezlapu periodā iekļauta 0-15 un no 43-52 nedēļa, starpstāvoklī iekļauta 16-21 un 41-43 nedēļa, bet lapu periodā, attiecīgi, 22-40 nedēļa.

Datu statistiskā analīze veikta R programmā, kur MRM parauglaukumi atlasīti pēc dažādiem parametriem (izmantotais aerolāzerskeneris, skuju koki vai lapu koki, veģētācijas sezona, dominējošā koku suga u.c.) Atlasītie dati tālāk sadalīti lineārās regresijas modeļa izstrādes un validācijas datu kopās ar attiecību 3:1. Lineārās regresijas modeļi katrā kategorijā izstrādāti uz visām LiDAR punktu mākoņa vertikālā augstuma percentilēm un tālākai rezultātu analīzei izmantota tikai tā augstuma percentile, kura uzrādījusi augstāko determinācijas koeficientu. Piemērs dažādu augstuma percentiļu salīdzinājumam lineārās regresijas modeļos atainots att. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.** Kolonnu apzīmējumi “all” un “pre” norāda attiecīgi uz visiem un precīzi uzmērītajiem MRM parauglaukumiem, savukārt “allm” un “prem” norāda attiecīgi uz visiem un precīzi uzmērītajiem parauglaukumiem, kuriem atlasīti punkti līdz 1,5 m augstumā virs zemes. Izvēloties augstuma percentiļu versijas ar augstāko R^2 vērtību, veikta modeļu validācija, par pamatu ņemot validācijas datu kopu.



Attēls 3. Dažādu LiDAR punktu mākoņa augstuma percentiļu salīdzinājums lineārās progresijas modelī

Pētījuma ietvaros turpinās Starpvalstu klimata pārmaiņu padomes 2006. gada labas prakses vadlīniju (IPCC 2006) 2019. gada papildinājumu (IPCC 2019) analīze, identificējot galvenās izmaiņas, kas saistītas ar jauno vadlīniju ieviešanu (kopsavilkums angļu valodā pievienots 4. pielikumā), kā arī regulas (EU) 2018/841 un 2018/1999 papildinājumu (melnraksts publicēts 2021. gada 14. jūlijā) piedāvātās izmaiņas klimata politikas īstenošanā un SEG emisiju uzskaitē. Regula papildināta ar pielikumu, kurā 3 lappusēs uzskaitītas politikas, stratēģijas un regulas, kas, galvenokārt, saistītas ar SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaiti dabas aizsardzības prasību noteikto saimnieciskās darbības ierobežojumu ietekmētajās platībās. Šī dokumenta ietekme uz SEG emisiju uzskaiti un klimata politikas īstenošanu ZIZIMM sektorā Latvijā vēl ir jānovērtē.

1.3. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana

Aprēķinot Latvijas kokaudžu biomasu un oglekļa uzkrājumus, tiek pieņemts, ka visi koki ir veseli, bez bojājumu pazīmēm. Realitātē, jo īpaši vecās mežaudzēs, ir trupējuši un dobumaini koki, kas var nozīmēt, ka oglekļa uzkrājums tiek sistemātiski pārvērtēts. Pirmajā pētījuma īstenošanas gadā, stumbra biomasas un oglekļa uzkrājuma samazinājumu plānots novērtēt baltalkšņa un melnalkšņa koksnes paraugos. Galvenās 2021. gadā plānotās pētījuma darbības ir metodikas izstrāde stumbra trupes ietekmes uz dzīvu koku biomasu izvērtēšanai, kā arī blīvuma izmaiņu raksturojums melnalkšņu un baltalkšņu stumbros. Alkšņi ir vienīgās no Latvijā izplatītākajām koku sugām, kurām

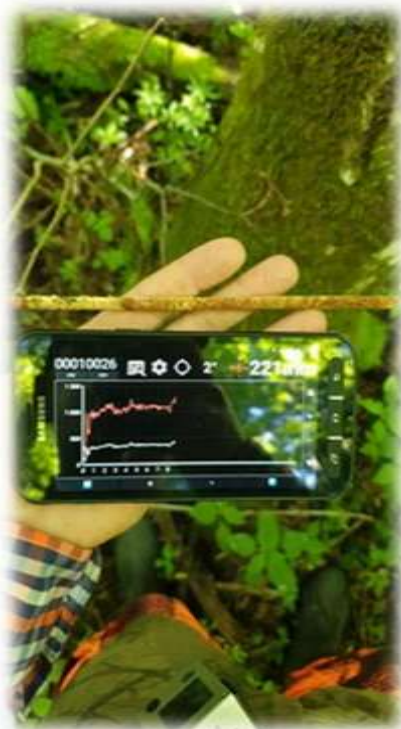
Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

nav izstrādātas blīvuma izmaiņu kartes, lai varētu modelēt blīvuma samazinājumu trupējušajā stumbra daļā.

Koksnes blīvums ir viens no galvenajiem koksnes kvalitātes rādītājiem, jo tas netieši raksturo arī citas fizikālās un mehāniskās koksnes īpašības un tas ir galvenais mainīgais, aprēķinot koku stumbra biomasu ar Latvijā izstrādātajiem biomasas vienādojumiem. Biomasas aprēķināšanai izmanto reducēto jeb bāzes blīvumu (angļu val. *basic density*), kas raksturo sausas koksnes masu piebriedušas koksnes tilpuma vienībā. Koksnes blīvums netieši raksturo arī oglekļa uzkrājumu un lielāks koksnes blīvums norāda uz lielāku oglekļa uzkrājumu.

Trupei iespējamās dažādas attīstības stadijas, sākot no iekrāsojušās koksnes un beidzot ar pilnībā sadalījušos koksni. Progresējot trapes attīstības stadijai, samazinās koksnes blīvums un, iespējams, izmainās arī oglekļa saturs. Latvijā ir veikti pētījumi par trapes izplatību un ietekmi uz kokmateriālu iznākumu, taču trūkst empīriski dati par koksnes blīvuma un oglekļa satura izmaiņām, kā arī nav izstrādāta metode trapes radīto oglekļa zudumu modelēšanai.

Pētījuma īstenošanas pirmais gads ir plānots kā pilot pētījums, lai izstrādātu metodiku un novērtētu stumbra trapes ietekmi uz pieaugušu alkšņu biomasu un pēc tam izstrādātu metodiku pielietotu plašākā mērogā un citām koku sugām. Šim mērķim pētījumā atlasītas un uzskaitītas 9 baltalkšņa un 7 melnalkšņa audzes (tab. 1.3). Trapes sastopamība atlasītajās audzēs mērīta, urbjot kokus celma daļā ar mehāniskās pretestības mērīšanas ierīci (rezistogrāfu) un paralēli arī ar Preslera pieauguma svārpstu. Konstatēts, ka ar šādiem nedestruktīviem paņēmieniem, koku stumbros iespējams konstatēt mīkstās trapes klātbūtni un izmērus, kā arī koksnes iekrāsojumu. Secināts, ka ar rezistogrāfu nav iespējams izmērīt koksnes iekrāsojuma izplatību (cietā trupe), bet savukārt ar Preslera svārpstu nav iespējams iegūt mīkstās trapes paraugus un noteikt trapes diametru (att. 4). Tas apstiprina, ka nosakot trapes sastopamību un izplatību alkšņu audzēs ar nedestruktīviem paņēmieniem, ir nepieciešams kombinēt abas šīs metodes.



Attēls 4. Rezistogrāfa mērījums (kreisā pusē) stumbrā neuzrāda iekrāsojušos kokus, kas ir viena no trupes sākumstadijām. Rezistogrāfa mērījums (labajā pusē) uzrāda mīkstās trupes klātbūtni stumbrā

Tabula 1.3. Trupes ietekmes izvērtēšanai atlasītās baltalkšņa un melnalkšņa audzes

Valdošā suga	Koordinātes (x)	Koordinātes (y)	Audzes vecums, gadi	D, cm	H, m	M, m ³ ha ⁻¹	Trupējušo koku īpatsvars ¹ , %
Ba	56,66934	29,02429	54	20,8	23,6	212,0	27,5
Ba	56,65994	25,91459	40	20,0	24,4	437,9	17,7
Ba	56,46180	22,96610	40	17,0	18,1	159,3	31,7
Ba	57,32965	26,06109	70	31,0	24,1	341,9	80,9
Ba	57,32305	25,90196	55	21,8	21,2	348,2	23,0
Ba	56,49918	22,81327	37	20,7	21,6	274,9	2,3
Ba	57,29353	25,85263	44	17,8	19,2	283,9	28,5
Ba	56,46400	23,00055	37	20,0	21,5	370,8	28,3
Ba	57,23522	22,63566	56	20,0	20,0	127,9	9,0
Ma	56,66149	25,83614	98	31,7	25,3	647,8	45,4
Ma	56,53052	22,93029	87	31,2	26,7	591,2	43,3
Ma	56,51105	22,9417	122	32,3	23,7	227,5	50,0
Ma	57,22719	22,7875	111	32,5	25,3	307,0	93,3
Ma	57,28779	25,92864	65	23,3	26,1	419,0	17,9
Ma	57,28703	25,94496	74	20,5	24,1	286,1	13,5
Ma	56,46227	23,00912	72	23,1	22,7	418,4	6,6

Trupes izplatības un ietekmes uz stumbra biomasu raksturošanai, katrā atlasītajā audzē nozāģēts līdz pieciem trupējušiem kokiem. Lai izmērītu stumbra trupējušās daļas tilpumu un iegūtu bojātās koksnes paraugus, nozāģēto koku stumbri sadalīti 1m garos nogriežņos un iegūtas stumbra šķērsriezuma ripas. Pēc līdzīgas metodikas sagatavoti arī netrupējušu koku šķērsriezuma ripu paraugi. Pētījumā, atbilstoši Arhipova u.c. (2011b, 2011a) izveidotajai klasifikācijai, izdalīti sekojošas trupējušās koksnes pakāpes:

- 1) iekrāsojums – raksturīgas nelielas koksnes mehānisko īpašību izmaiņas;

¹ Trupējušo koku īpatsvars aprēķināts pēc rezistogrāfa mērījumu datiem un raksturo mīkstās trupes klātbūtni kokos.

- 2) mīkstā trupe – sadalījusies koksne, kura ir saspiežama ar pirkstiem;
- 3) dobums.

Iepriekšminētā trupējušās koksnes klasifikācija izvēlēta, lai būtu iespējams pētījumā iegūtos datus sinhronizēt un papildināt ar iepriekš veikto pētījumu datiem. No stumbra šķērsriezuma ripām laboratorijā, sekojot iepriekš izstrādātai shēmai, iegūti nelieli koksnes paraugi kuriem noteikts blīvums un oglekļa saturs (att. 5).



Attēls 5. Blīvuma paraugu novietojums trupējušās (kreisā pusē) un netrupējušās (labajā pusē) stumbra šķērsriezuma ripās.

Blīvuma segmentu platums virzienā no ripas centra uz mizu ir 2 cm. Segmenta biezums bija vienāds ar ripas biezumu, bet tā garums nepārsniedza 3 cm. Pirms koksnes un mizas segmentu blīvuma mērīšanas tie uz 24 stundām iemērkta ūdenī, lai to neuzsūktu mērīšanas procesā (Ilic et al., 2000). Paraugu blīvums mērīts ar Precisa XB 220A laboratorijas svāriem, kas aprīkoti ar Precisa blīvuma mērīšanas komplektu (att. 6). Pirms katra atkārtējuma paraugs nosusināts ar mīkstu papīru. Laboratorijā katrs trapes paraugs žāvēts 103 – 105 °C temperatūrā, līdz sasniegta nemainīga parauga masa. Pēc žāvēšanas katrs paraugs nosvērts ar laboratorijas svāriem un aprēķināts tā reducētais blīvums. Oglekļa satura mērījumiem katrs paraugs sagriezts mazos gabaliņos un samalts viendabīgā pulverī. Samaltajam paraugam analizēts negaistošā oglekļa saturs un slāpekļis, izmantojot Elementar EL Cube analizatoru. Katrai trapes attīstības stadijai un koku sugai oglekļa saturu plānots noteikt vismaz 100 koksnes paraugiem.



Attēls 6. Blīvuma mērīšanas process

Pētījumā uzsākta Metodikas izstrādāšana trapes ierobežošanas pasākumu raksturošanai atbilstoši ES lēmuma 529/2013/EU 10. panta nosacījumiem ZIZIMM sektora SEG emisiju mazināšanas pasākumiem, taču sakarā ar regulas 2018/1999 un 2018/841 grozījumu stāšanās spēkā aizkavēšanos un diskusijām par klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu novērtēšanai būtisku nosacījumu ietveršanu regulās, šis darbs vēl turpinās. Pasākumu novērtēšanas pamatprincipi apkopoti tab. 1.5.

Lai nodrošinātu harmonizētu pieeju trapes ietekmes uz SEG emisijām aprēķinos no 1990. gada darba uzdevuma 3.2 īstenošanai, pētījumā izmantota Krumšteds u.c. (2019) izstrādātā pieeja zemes izmantošanas maiņas aprēķiniem, sasaistot MRM telpiskos datus un taksācijas rādītāju novērtējamu vairākos secīgos MRM parauglaukumu apsekojumos. Situācijas raksturošanai pirms 2004. gada izmantoti Meža references līmeņa modelēšanas rezultāti (Lazdiņš, Lupiķis, u.c., 2019). SEG prognozēšanai izmantosim AGM modeli, kurā integrēti biomasas un oglekļa aprēķinu vienādojumi, tajā skaitā korekcijas faktori trapes ietekmes raksturošanai. Šobrīd modeli integrēti biomasas aprēķinu vienādojumi atbilstoši Liepiņš u.c. (2017, 2021) un oglekļa saturs koksnē atbilstoši Bārdule, Liepiņš, u.c. (2021). Aprēķinu darbību datu specifikācijas dotas tab. 1.4. Papildus iedalījumu zemes kategorijās var noteikt regulas 2018/1999 grozījumu 5. pielikuma 3. daļa, kas prasa izdalīt vēl vairākus desmitus zemes izmantošanas apakškategoriju. Stājoties spēkā šiem grozījumiem, MRM parauglaukumu tīkla blīvums var būt nepietiekošs, lai korekti ziņotu SEG emisijas, tāpēc pēc grozījumu stāšanās spēkā ir papildus jāvērtē MRM tīkla paplašināšanas nepieciešamība, iekļaujot papildus novērojumu punktus regulas 2018/1999 5. pielikuma 3. daļā uzskaitītajās zemes izmantošanas kategorijās.

Tabula 1.4. Darbību dati SEG emisiju aprēķiniem

Kategorija	Nosaukums	Paskaidrojumi
Platība (ha)	Meža zemes, kurās mežs aug vairāk nekā 20 gadus	Valdošo sugu un edafisko rindu griezumā
	Meža zemes, kurās mežs aug ne vairāk kā 20 gadus	Valdošo sugu un edafisko rindu, kā arī iepriekšējo zemes izmantošanas veida griezumā
	Aramzeme, ko kultivē vairāk nekā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu griezumā, nodalot atsevišķu koku grupas un joslas, kā arī organiskās augsnes un minerālaugsnes ²
	Aramzeme, ko kultivē ne vairāk kā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu un iepriekšējā zemes izmantošanas veidu griezumā, nodalot atsevišķu koku grupas un joslas, kā arī organiskās augsnes un minerālaugsnes
	Zālājs, ko apsaimnieko vairāk nekā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu griezumā, nodalot atsevišķu koku grupas un joslas, kā arī organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu un paaugstinātu gruntsūdens līmeni
	Zālājs, ko apsaimnieko ne vairāk kā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu un iepriekšējā zemes izmantošanas veidu griezumā, nodalot atsevišķu koku grupas un joslas, kā arī organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu un paaugstinātu gruntsūdens līmeni
	Apbūves objekti, ko apsaimnieko vairāk nekā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu griezumā, nodalot atsevišķu koku grupas un joslas, kā arī organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu un paaugstinātu gruntsūdens līmeni
	Apbūves objekti, ko apsaimnieko ne vairāk kā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu un iepriekšējā zemes izmantošanas veidu griezumā, nodalot atsevišķu koku grupas un joslas, kā arī organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu un paaugstinātu gruntsūdens līmeni
	Mitrzeme, ko apsaimnieko vairāk nekā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu griezumā, atsevišķi organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu, paaugstinātu gruntsūdens līmeni ³

² Iespējams, ka būs nepieciešama arī mitruma režīma izdalīšana aramzemēs, ja pieaugs kultivētu zālāju ar paaugstinātu gruntsūdens līmeni platība.

³ Appludinātas platības šajā gadījumā nav ietvertas aprēķinā, jo tajās nav kokaugu apauguma.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Kategorija	Nosaukums	Paskaidrojumi
	Mitrzeme, ko apsaimnieko ne vairāk kā 20 gadus, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu un iepriekšējā zemes izmantošanas veidu griezumā, atsevišķi organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu un paaugstinātu gruntsūdens līmeni
	Neapsaimniekota mitrzeme, kurā nekad nav veikta saimnieciskā darbība, ar kokaugu apaugumu	Valdošo sugu griezumā, atsevišķi organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu, paaugstinātu gruntsūdens līmeni un ūdenskrātuves, kuru krastos var augt koki, kas neietilpst citās zemes izmantošanas kategorijās
	Mitrzeme, kurā ir pārtraukta saimnieciskā darbība un ir izveidojies kokaugu apaugums	Valdošo sugu un iepriekšējā zemes izmantošanas veidu griezumā, atsevišķi organiskās augsnes un minerālaugsnes ar optimālu mitruma režīmu, paaugstinātu gruntsūdens līmeni un ūdenskrātuvēs, kuru krastos var augt koki
Oglekļa uzkrājuma izmaiņas	Bruto krājas pieaugums	Krājas pieaugums naturālajās un oglekļa vienībās zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā. Šajā kategorijā vēl neņem vērā trupes ietekmi
	Dabiskais atmirums	Dabiskais atmirums naturālajās un oglekļa vienībās zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā. Šajā kategorijā ņem vērā trupes ietekmi, attiecīgi, organiskā oglekļa saturs atmirušajā koksnē samazināsies proporcionāli trupes radītajām emisijām
	Mežizstrāde	Mežizstrāde naturālajās (kopējā krāja, lietkoksnē un sadalījums sortimentos) un oglekļa vienībās zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā. Šajā kategorijā ņem vērā trupes ietekmi, attiecīgi, organiskā oglekļa saturs nozāgētajā koksnē samazināsies proporcionāli trupes radītajām emisijām
	Oglekļa zudumi no dzīvās biomasas trupes rezultātā	Ikgadējās CO ₂ emisijas (oglekļa zudumi no dzīvās biomasas) trupes ietekmē zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu,

Kategorija	Nosaukums	Paskaidrojumi
		edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā. Oglekļa uzkrājuma raksturošanai dabiskā atmiruma rezultātā trupes radītie oglekļa zudumi attiecināmi kā vidējie rādītāji, bet, pilnveidojot aprēķinu modeli, kā caurmēra pakāpei atbilstošu rādītāju. Tāda pati pieeja izmantojama mežizstrādes ietekmes raksturošanai
Koku stāva raksturojums	Šķērslaukums	Zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā
	Kopējā krāja	Zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā, tajā skaitā potenciāli iegūstamā lietkoksne. Trupes ietekme šajā gadījumā nosaka mazāk vērtīgo kokmateriālu veidu iznākumu
	Biomasa (stumbra, virszemes, pazemes, vainaga), ņemot vērā zudumus trupes ietekmē	Zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā. Šajā kategorijā ņem vērā trupes ietekmi, proporcionāli oglekļa zudumiem samazinot virszemes un pazemes biomasu
	Oglekļa uzkrājums dzīvajā kokaugu biomasā	Zemes izmantošanas kategoriju un apakškategoriju, valdošo sugu, edafisko rindu (meža zemēs), augšņu (minerālaugsnes un organiskās augsnes ar optimālu mitruma režīmu un pārmitras platības) griezumā. Šajā kategorijā ņem vērā trupes ietekmi, proporcionāli oglekļa zudumiem samazinot oglekļa uzkrājumu virszemes un pazemes biomasā

1.4. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā

Pētījuma ietvaros 2021. gadā uzsākta metodikas izstrādāšana un esošo izpēti objektu apzināšana; tajā skaitā meža selekcijas un adaptācijas darbības, meža meliorācijas sistēmu

apsaimniekošana, organisko augšņu apsaimniekošana, meža ieaudzēšana, augsnes ielabošana; metodika ietver ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti un sociāli-ekonomiskā efekta analīzi. 2021. gada 4. ceturksnī uzsāksim metodikas izstrādi jaunu izpētes objektu ierīkošanai; tajā skaitā, maza biežuma stādījumi intensīvai mežsaimniecībai meža zemēs; meliorācijas sistēmu modernizēšana kūdreņos un āreņos, dziļvagu tīkla ierīkošana CH₄ emisiju samazināšanai purvainos un slapjainos; degradētu kūdras atradņu rekultivēšana; jaunaudžu kopšanas cirtes; saudzīga mežizstrāde, novēršot risu veidošanos un CH₄ emisijas; izlases cirtes egles audzēs āreņos, kūdreņos un slapjainos, kā arī bērza audzēs purvainos; trupes izplatības ierobežošana; selekcionēta stādmateriāla izmantošana un jauni risinājumi meža atjaunošanā, augsnes ielabošana.

SEG emisiju samazināšanas darbības meža apsaimniekošanā iedalītas 4 grupās:

- darbības, kas palielina produktivitāti esošajos mežos, tajā skaitā veicot meža atjaunošanu un nomainot mazvērtīgas mežaudzes;
- darbības, kas saistītas ar zemes izmantošanas maiņu, tajā skaitā apmežošana un agromežsaimniecības risinājumi;
- darbības, kas saistītas ar dabisko traucējumu un ar tiem saistīto SEG emisiju mazināšanu. Šajā grupā iekļautas arī darbības, kas saistītas ar augsnes radīto SEG emisiju mazināšanu, ja vien tās nav tieši vērstas uz meža produktivitātes palielināšanu;
- koksnes resursu izmantošanas efektivitātes palielināšanas risinājumi, tajā skaitā mežizstrādes negatīvās ietekmes mazināšanas paņēmieni, piemēram, izmantojot saudzīgāku tehniku un tehnoloģisko karšu sagatavošanas metodes, kas ņem vērā iespējamo ietekmi uz SEG emisijām.

Pētījumā identificētie mežaudžu produktivitātes palielināšanas risinājumi, ko padziļināti vērtēsim turpmākajos pētījuma etapos:

1. meža atjaunošana ar koku sugām, kurām ir lielāks CO₂ piesaistes potenciāls, tajā skaitā koksnes produktos;
2. stādmateriāla pielāgošanās spēju un ģenētisko īpašību uzlabošana;
3. jaunaudžu kopšanas cirtes, lai uzlabotu sugu sastāvu, palielinātu augšanas ātrumu un samazinātu rotācijas ilgumu;
4. minerālmēsli izmantošana, lai palielinātu pieaugumu un koksnes produktu iznākumu un samazinātu rotācijas ilgumu;
5. koksnes pelnu izmantošana mežā (pelni organiskās augsnēs un maisījumā ar N mēslojumu minerālaugsnēs), lai mazinātu dabisko traucējumu risku, kā arī palielinātu audžu produktivitāti, samazinātu rotācijas ilgumu;
6. meliorācija un meža apsaimniekošanas intensificēšana mežos ar auglīgām pārmitrām augsnēm;
7. esošo meliorācijas sistēmu uzturēšana un modernizācija pēc atjaunojošās cirtes;
8. pagaidu meliorācijas sistēmas, kas veicina mežu atjaunošanos pārmitrās augsnēs pēc atjaunojošās cirtes;
9. apsaimniekošanas intensificēšana un rotācijas saīsināšana mežos uz sausām minerālaugsnēm, lai palielinātu koksnes produktu iznākumu un palielinātu aizstāšanas efektu;

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

10. mazvērtīgu mežaudžu rekonstrukcija, lai palielinātu CO₂ piesaisti, koksnes produktu iznākumu un aizstāšanas efektu;
11. meža atjaunošana pēc dabiskiem un antropogēniem traucējumiem;
12. apūdeņošana (divu virzienu meliorācijas sistēmas) un citi adaptīvie pasākumi, lai izvairītos no sausuma izraisītas augšanas palēnināšanās;
13. mazvērtīgu nosusinātu mežu renaturalizācija dabas aizsardzības mērķu īstenošanai, turpinot saimniecisko darbību produktīvās mežaudzēs;
14. augšanu un noturību veicinošas augsnes skarifikācijas metodes un stādāmā materiāla kvalitātes uzlabošana, lai saīsinātu meža atjaunošanas periodu;
15. CH₄ emisiju karsto punktu likvidēšana – pārmitro ieplaku nosusināšana organiskās un mitrās minerālaugsnēs, meliorācijas sistēmu uzturēšana.

SEG emisiju mazināšanas darbības, kas saistītas ar zemes izmantošanas maiņu:

1. marginālu lauksaimniecības zemju ar minerālaugsnēm apmežošana;
2. mērķtiecīga organisko augšņu apmežošana;
3. pārmitru zālāju (aluviālo augšņu) pārveidošana par kokaugu paludikultūrām kokmateriālu un biodegvielas ražošanai (baltalksnis un citas mitrumizturīgas sugas);
4. intensīvi kultivēts īsas aprites mežaudzes lauksaimniecībā izmantojamās zemēs;
5. ģirtsētas plantācijas notekūdeņu dūņu un koksnes pelnu izmantošanai.

SEG emisiju mazināšanas darbības, kas vērstas uz dabisko un antropogēno risku mazināšanu:

1. ugunsgrēka riska novēršana – mineralizētas jostas, agrīnās brīdināšanas sistēmas, labāk aprīkots personāls, uguns aizsardzības riski ņemti vērā meža atjaunošanas plānošanā;
2. vējgāžu un snieglaužu riska novēršana, saīsinot rotāciju un veidojot izturīgāku audzes sastāvu, tajā skaitā savlaicīgi veicot kopšanas cirtes;
3. kaitēkļu izplatīšanās riska samazināšana, palielinot mežaudžu noturību, piemēram, profilaktiska koksnes pelnu ienešana kūdras augsnē un meliorācijas sistēmu uzturēšana;
4. meliorācijas sistēmu pielāgošana optimālam gruntsūdeņu dziļumam, lai mazinātu CH₄ un CO₂ emisijas;
5. izvairīšanās no dabisko virszemes ūdens apmaiņas traucējumiem kopšanas un atjaunojošās cirtēs, pilnveidojot cirsmu plānošanas risinājumus;
6. trupes izplatīšanās palēnināšana (celmu apstrāde, celmu izstrādāšana, sugu maiņa, tajā skaitā sektorāla 1 audzes robežās);
7. dinamisku ūdens režīma karšu ieviešana mežsaimniecībā, lai uzlabotu mežu apsaimniekošanas plānošanu.

Darbības “Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īsterniņā un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai” izstrādāta detalizēta metodika gāzu apmaiņas un papildus datu ieguvei, kas pievienota 1. pielikumā, kā arī atbilstoši tab. 1.5 sagatavotajai klimata pārmaiņu mazināšanas darbību raksturošanas sistēmai, sagatavots sākotnējais klimata pārmaiņu mazināšanas darbību raksturojums, kas pievienots 2. pielikumā. Balstoties uz sākotnējo pasākumu novērtējumu,

izraudzīti pasākumi, kurus padziļinātu novērtēšanu veiksīm pētījumu programmas ietvaros, kā arī piesaistot papildus finansējumu.

Tabula 1.5. Klimata pārmaiņas mazinājošu pasākumu raksturošanas elementi

Nr.	Nosaukums	Pasākuma apraksts
1.	Pasākumu grupa	Dominējošā ietekmes joma, piemēram, meža produktivitātes palielināšana vai koksnes izmantošanas efektivitātes palielināšana
2.	Nosaukums	Vienkāršs un īss nosaukums, kas apraksta pasākuma būtību
3.	Ietekmes pamatojums	Pasākuma ietekmes apraksts, raksturojot galvenos iedarbības mehānismus, kā arī sagaidāmo ietekmi un priekšnosacījumus sekmīgai pasākuma efekta nodrošināšanai
4.	vietās izvēles kritēriji	Kritēriji pasākuma īstenošanai piemērotu vietu izvēlei, lai nodrošinātu sagaidāmo efektu
5.	Ietekmētās oglekļa krātuves un SEG emisijas	Kādas oglekļa krātuves un SEG emisijas pasākums ietekmē, tajā skaitā negatīvas ietekmes raksturojums
6.	Metodes un modeļi, ko izmanto ietekmes novērtējumam vietējā un valsts līmenī	Pieejamās aprēķinu metodes un modeļi, tostarp pieņēmumi pasākuma ietekmes raksturošanai lokālā un valsts mērogā
7.	Kā jāuzlabo esošās zemes vienību uzskaites un citas monitoringa sistēmas, lai raksturotu un prognozētu ietekmi	Esošie un nepieciešamie (šobrīd nav pieejami) darbību datu un papildus informācijas avoti par oglekļa uzkrājuma izmaiņām, kurus var izmantot aprēķinos. Kādi uzlabojumi, tajā skaitā sistēmiskas izmaiņas valsts uzturētās monitoringa sistēmās, nepieciešami darbību datu ieguvei
8.	Ietekmes ilgums un papildu pasākumi ietekmes uzturēšanai	Pasākuma ietekmes ilgums gados, papildu aktivitātes, kas jāīsteno, lai saglabātu sasniegto klimata pārmaiņu mazināšanas efektu vai nodrošinātu, lai plānotā ietekme tiktu sasniegta un saglabāta, piemēram, meža aizsardzības pasākumi
9.	Kvantitatīvs īstenošanas potenciāls valsts līmenī	Kvantitatīvās ietekmes novērtējums – tonnas CO ₂ ekv ha ⁻¹ lokālā un valsts līmenī – uz dažādām oglekļa krātuvēm un SEG emisiju avotiem, raksturojot oglekļa krātuves, par kurām ir vai nav pieejama informācija

Nr.	Nosaukums	Pasākuma apraksts
10.	Atbilstība ilgtspējības kritērijiem	Atbilstība ZIZIMM regulā ietvertajiem ilgtspējas kritērijiem
11.	Izmaksu un ieguvumu attiecības novērtējums	Informācija par īstenošanas izmaksām (tiešajām un netiešajām, īstenojot papildus uzturēšanas vai aizstāšanas pasākumus) un iespējamo finansiālo ieguvumu, pārdodot koksni (krājas papildpieauguma gadījumā)
12.	Interferences un sinerģija ar citām nozarēm, zemes izmantojumu un politiku	Sasaiste – sinerģija vai pretējs efekts – ar citiem pasākumiem un ietekme uz citiem sektoriem, piemēram, lauksaimniecību vai enerģētikas sektoru, ja iespējams, sniedzot kvantitatīvu vērtējumu
13.	Statuss valsts politikā, esošās atbalsta shēmas	Tiešie un netiešie atbalsta mehānismi pasākuma īstenošanai, kā arī normatīvu prasības, kas ierobežo pasākuma īstenošanu
14.	Piemērojamība citās ES valstīs	Pasākuma īstenošana citās valstīs; esošo atbalsta mehānismu raksturojums
15.	Zināšanu robi, kas jāaizpilda, nepieciešama sadarbība	Jomas, kurās pietrūkst zināšanu. Nepieciešamie pētījumi augsta līmeņa metožu izstrādāšanai
16.	Atsauces	Zinātniskajā, pelēkā literatūrā un nepublicētajos datos pieejamā informācija par pasākumu

Darba uzdevuma “Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai” uzdevums 2021. gadā ir metodikas izstrādāšana jaunu izpētes objektu ierīkošanai, tajā skaitā, maza biežuma klonu stādījumi intensīvai mežsaimniecībai meža zemēs; meliorācijas sistēmu modernizēšana kūdreņos un āreņos, degradētu kūdras atradņu rekultivēšana; jaunaudžu kopšanas cirtes; saudzīga mežizstrāde, novēršot risu veidošanos un CH₄ emisijas no augsnes; izlases cirtes egles audzēs āreņos, kūdreņos un slapjainos, kā arī bērza audzēs purvainos CH₄ emisiju ierobežošanai un oglekļa ieneses augsnē palielināšanai; trupes izplatības ierobežošanas pasākumi, tajā skaitā celmu apstrāde ar pergamentsēnes suspensiju un urīnvielas šķīdumu pēc kopšanas un atjaunošanas cirtes, kā arī atcelmošana; selekcionēta stādmateriāla izmantošana un jauni risinājumi meža atjaunošanā (pacilas, augšanas veicinātāji), augsnes ielabošana ar minerālmēslojumu un koksnes pelniem. Kur tas iespējams, izpētes objektus ierīkosim sadarbībā ar citu pētījumu programmu īstenošanai, novēršot darbību pārklāšanos. Plānoto darbību saskaņošana ar MPS un LVM.

Jaunu izmēģinājumu objektu ierīkošanas darba plāns 2022.-2025. gadam apkopots tab. 1.13. Šajos objektos mērījumu uzsākšana plānota gan laika posmā no 2022. līdz 2025. gadam, gan pēc tam.

Tabula 1.6. Jaunu izmēģinājumu objektu ierīkošanas kopsavilkums

Nr.	Pasākuma nosaukums	Darbību raksturojums	Mērījumu programma pētījumu ietvaros
1.	Maza biežuma klonu stādījumi intensīvai mežsaimniecībai meža un nemeža zemēs	Šajā klimata pārmaiņu mazināšanas darbībā ierīkojamo izmēģinājumu objektu dizainu meža zemēs izveidosim turpmākajos etapos, pielāgojot adaptācijas un selekcijas pētījumu programmas izmēģinājumu plānojumam. LVM, no jauna apmežojot platības ar organiskajām augsnēm, veido četru saimnieciski nozīmīgāko koku sugu mozaīkveida stādījumus ar dažādu koku blīvumu stādījumus (2000 – kontrole, 1500, 1000, 500 koki uz ha). Ierīkojot mazāka blīvuma stādījumus, jāstāda citādos attālumos un citādi jāizvieto stādvieta. 2022.-2023. gadā jāveic augsnes/stādvieta sagatavošana, marķēšana, ja iespējams, stādīšana, kuru pabeidz 2023. gadā. Līdz 2024. gada beigām jāpabeidz stādījuma ierīkošana.	Maza blīvuma kokaugu stādījumos mērījumu uzsākšana plānota pēc 2025. gada. Sekosim koku saglabāšanās rādītājiem, SEG emisijām no augsnes un oglekļa uzkrājuma izmaiņām visās oglekļa krātuvēs. Sakņu un vainagu konkurenci, kas nav novērojama pirmajos 3-4 gados pēc stādījumā ierīkošanas, tajā skaitā mēslojuma ietekmē, varēs vērtēt 2025.-2030.gada pētījumu programmā.
2.	Degradētu kūdras atradņu rekultivēšana	Pētījuma īstenošanai izmantosim LIFE REstore ietvaros ierīkotos izmēģinājumu objektus, tajā skaitā apmežotās platības, saimnieciskās darbības neskartās teritorijas (augstos un pārejas purvus), kā arī degradētās teritorijas, kurās ilgāku laiku nenotiek saimnieciskā darbība. Renaturalizācijas ietekmes raksturošanai izmantosim LIFE PeatRestore projekta ietvaros Latvijā ierīkotos izmēģinājumu objektus (kopā 21 objekts)	Šajās platībās nav veikti augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi, tāpēc pētījuma ietvaros 24 mēnešu periodā visos pētījumu objektos novērtēsim augsnes heterotrofo elpošanu, katrā objektā ierīkojot 5 mērījumu punktus. Paralēli sekosim gruntsūdens līmenim, augsnes temperatūrai un mitruma saturam augsnes virskārtā. Pārējiem parametriem nav ciešas korelācijas ar augsnes elpošanas rādītājiem CO ₂ emisijām vai arī tie jau ir novērtēti iepriekš īstenotajos pētījumos, tāpēc tos pētījumā nenoteiksim. Darba metodika atbilstoši pārskata 1. pielikumam. Datu iegūvi veiks pakāpeniski, sadalot objektus grupās atbilstoši to

Nr.	Pasākuma nosaukums	Darbību raksturojums	Mērījumu programma pētījumu ietvaros
			izvietojumam, lai 2025. gadā pabeigtu augsnes elpošanas mērījumus visos izpētes objektos
3.	Jaunaudžu kopšanas cirtes	Pētījuma ietvaros atkārtoti apsekosim 2011.-2015. gadā ierīkotos dažādas intensitātes kopšanas ciršu parauglaukumus, nosakot mežaudžu taksācijas rādītājus, radiālo pieaugumu pirms un pēc kopšanas cirtes un zemesdzies augu biomasu	Jaunaudzes, kas apsekotas 2021. gadā, uzskaitītas tab. 1.7. Šajos objektos, izmantojot Meža resursu monitoringa metodiku, noteiksim mežaudžu taksācijas rādītājus katrā no parauglaukumiem, atsevišķās audzēs ievāksim radiālā pieauguma urbumu skaidas no valdošās sugas kokiem. 2022. gadā turpināsim 2012.-2015. gadā ierīkoto kopšanas ciršu parauglaukumu apsekošanu. Uz šo brīdi apsekoti ap 30% izpētes objektu.
4.	Saudzīga mežizstrāde, novēršot risu veidošanos un CH ₄ emisijas no augsnes	Pētījuma ietvaros iegūsim datus par SEG emisijām, kas veidojas risēs atjaunošanas cirtēs skujkoku audzēs ar organiskām augsnēm, tajā skaitā pētījumā ietversim platības ar dabiski mitrām augsnēm un kūdreņus. Izmēģinājumiem purvaiņos izmantosim kontroles platības dziļvagu ietekmes uz SEG emisijas izmēģinājumos (tab. 1.11), izmēģinājumiem kūdreņos ierīkosim jaunus izmēģinājumu objektus mētru kūdrenī priedes audzē un platlapju kūdrenī bērza audzē. Audžu atlasī mainīsim, ja izraudzītajos izmēģinājumu objektos neveidosies risas (izstrāde ziemā pa sasalušu augsni). Kopā izmēģinājumam nepieciešamas 2 audzes purvaiņos un 2 audzes kūdreņos. Papildus izmēģinājumu objektus, tajā skaitā āreņos un slapjainos, ierīkosim, piesaistot papildus finansējumu	Izmēģinājumu platībās ierīkosim 3 apakšparauglaukumus katrā audzē, raksturojot katrā apakšparauglaukumā risas, platību starp risēm un tehnikas neskarto platību. Visos izmēģinājumu objektos veiksime veģetācijas raksturojumu (projektīvais segums); noteiksim SEG emisijas no augsnes ar necaurspīdīgo kameru metodi; ievietosime gruntsūdens līmeņa mērījumu aku un sekosime gruntsūdens līmenim; noteiksim augsnes temperatūra (periodiski mērījumi) un augsnes mitrumu (periodiski mērījumi) SEG mērījumu laikā.
5.	izlases cirtes egles audzēs āreņos, kūdreņos un slapjainos, kā arī bērza audzēs purvaiņos	Izlases ciršu ietekmi kūdreņos (priedes un egles audzes) plānots veikt LIFE OrgBalt ietvaros ierīkotajos izmēģinājumu objektos, nodrošinot 24 mēnešu mērījumu ciklu; izlases cirtes egles audzēs āreņos un slapjainos un	Kūdreņos (LIFE OrgBalt objekti), tajā skaitā kontroles platībās, kur veikta vienlaidus cirte, mērījumus plānots turpināt 2023. gadā, pārējos izmēģinājumu objektos – 2022. gada laikā

Nr.	Pasākuma nosaukums	Darbību raksturojums	Mērījumu programma pētījumu ietvaros
	CH ₄ emisiju ierobežošanai un oglekļa ieneses augsnē palielināšanai	bērza audzēs purvaiņos ierīkosim MPS apsaimniekotajos mežos, izraugoties meža tipus, kur sagaidāmas lielākas SEG emisijas – 1 izpētes objektu egles audzē Ap un Vrs meža tipā un bērza audzi Vrs vai Grs meža tipā. Izlases cirte veicama līdz minimāli pieļaujamajam šķērslaukumam. Kontroles platībās veicama atjaunošanas cirtes ar vienlaidus cirtes metodi. Papildus finansējuma pieejamības gadījumā ierīkosim izmēģinājumu objektus arī citos meža tipos, lai iegūtu ietekmes uz SEG emisijām gradientu visā augšanas apstākļu diapazonā	veiksīm atlasī un kokaudzes stāva raksturojumu, bet 2023. gadā uzsāksim gāzu apmaiņas mērījumus references datu iegūšanai, 2023. gada ziemā veicama mežizstrāde un 2024.-2025. gada veģetācijas sezonās – gāzu apmaiņas monitorings. Izpētes objektos īstenošim šādas mērījumu programmas: veģetācijas raksturojums (projektīvais segums); koku stāva raksturojums pirms un pēc mežizstrādes; augsnes elpošana; SEG emisijas no augsnes; gruntsūdens līmenis (periodiski mērījumi); augsnes temperatūra (periodiski mērījumi); augsnes mitrums (periodiski mērījumi).
6.	Trupes izplatības ierobežošanas pasākumi, tajā skaitā celmu apstrāde ar pergamentsēnes suspensiju un urīnvielas šķīdumu pēc kopšanas un atjaunošanas cirtes, kā arī atcelmošana	Pētījumu veiksīm sadarbībā ar pētījumu “Heterobasidion izraisītās sakņu trupes ierobežošana egļu audzēs, mežos ar kūdras augsnēm – ķīmisko aizsardzības līdzekļu pielietošanas iespējas” un pētījumu programmu “Sakņu trupes izplatību ierobežojošo faktoru izpēte”, izmantojot šajos pētījumos un oglekļa aprītes pētījumu programmas ietvaros iegūtos datus ietekmes uz dzīvo biomasu raksturošanai. Atcelmošanas ietekmes uz augsnes oglekļa uzkrājumu raksturošanai izmantosim pētījumu “Multifunkcionālas celmu izstrādes un augsnes pacilu sagatavošanas iekārtas prototipa izveidošana un testēšana” un “Metodes un tehnoloģijas meža kapitālvērtības palielināšanai” ietvaros ierīkotos izmēģinājumu objektus, kopā 7 audzes	Pētījuma ietvaros veiksīm kokaudzes stāva raksturojumu atjaunotajās platībās, noteiksīm zemsedzes projektīvo segumu galveno augu grupu griezumā un zemsedzes augu biomasu 18 parauglaukumos, ievāksīm augsnes paraugus oglekļa uzkrājuma izmaiņu raksturošanai.

Nr.	Pasākuma nosaukums	Darbību raksturojums	Mērījumu programma pētījumu ietvaros
7.	Augsnes ielabošana ar minerālmēslojumu un koksnes pelniem	Izmēģinājumu objektu ierīkošana plānota koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programmas ietvaros, turpinot novērojumus jau ierīkotajos izmēģinājumu objektos, kā arī no jauna ierīkojamajos izmēģinājumu objektos, kuros paredzēts novērtēt SEG emisijas no augsnes mēslotajās platībās, kā arī veikt augšanas gaitas monitoringu un noteikt oglekļa uzkrājumu zemesdzīves biomasā mēslotajās un kontroles platībās	Mērījumus plānots veikt koku augšanas apstākļu pētījumu programmas ietvaros
8.	Jauni risinājumi meža atjaunošanā	Pētījums īstenojams sadarbībā ar pētījumu programmu "Darba metodes un tehnoloģijas mežaudžu atjaunošanai, ieaudzēšanai, kopšanai un aizsardzībai, raksturojot SEG emisijas no augsnes platībās, kur izmantota pacilošanas metode kūdreņos, slapjainos un āreņos. Sakņu attīstības izpēti veiksīm 2018. gadā stādītās audzēs Dms (604-175-13) un Ks (604-342-8) meža tipos pieejamas 4 sugas, katrai 2 stādu veidi, 2 augsnes sagatavošanas veidi (2x4x2x2 = 32 varianti vienā atkārtojuma, ja divos, tad 64 saknes. Augsnes elpošanu raksturosim Ks meža tipa parauglaukumos.	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi mežaudzēs, kur izmantoti dažādi stādvieta sagatavošanas paņēmieni. Koku sakņu attīstības izpēte ar nedestruktīvām metodēm. Uz pacilām un vagās stādītu priežu, egļu, bērzu un melnalkšņu sakņu attīstības monitorings slapjainos un kūdreņos (48 caurules). Plastikāta (akrila) cilindru ievietošana augsnē, sakņu sistēmas attīstības monitorings – skenēšana ar cilindriskiem skeneriem (https://cid-inc.com). Iegūst attēlu, kuru analizējot var aprēķināt sakņu garumus, diametrus, atzarošanās leņķus, tilpumu. Laukumu, visi parametri izmantojami nedestruktīvai augsnē piesaistītā C aprēķināšanai.

Tabula 1.7. Kopšanas ciršu izmēģinājumu objekti, kas apsekoti 2021. gadā

Atslēga	Platība, ha	Valdošā suga	Meža tips	Audzes formula
67-03-43-022-46-11	1,9	Egle	Ap	10E 11
67-03-43-022-41-19	2,2	Egle	Ks	10E 51
67-03-43-022-41-20	2,3	Egle	Kp	10E 57
67-03-43-022-43-6	0,9	Egle	Dm	10E 4
67-03-43-022-43-5	0,2	Apse	Vrs	6A3B1E 94
67-03-43-022-46-13	1,2	Egle	Vr	10E 15
67-03-43-022-49-4	2,4	Egle	Vr	8E2B 79
67-03-43-022-51-6	4,6	Egle	Vrs	10E 13
67-03-43-022-56-13	3,7	Egle	Vr	10E 7
67-03-43-022-59-1	1,8	Apse	Vr	-
67-03-43-022-64-3	0,2	Egle	Vr	10E 60
67-03-43-022-67-10	1,5	Egle	Vr	10E 8
67-03-43-022-67-6	0,8	Egle	Vr	10E 8
67-03-43-022-67-11	0,3	Apse	Vr	5A64 3B64 2E84
67-03-43-022-77-4	4,5	Egle	Vr	10E 13
67-03-43-022-77-5	1,6	Bērzs	Vr	8B1E1A 109
67-03-43-022-77-8	1,8	Egle	Vr	10E 13
67-03-43-022-77-11	1,5	Egle	Vr	10E 9
67-03-43-022-81-9	2,5	Egle	Vr	10E 20
67-03-43-022-81-13	2,4	Egle	Vrs	10E 17
67-03-43-022-81-14	1,5	Bērzs	Vr	5B5E 12
81-06-43-022-90-4	1,4	Egle	Vr	10E 7
67-03-43-022-10-22	0,4	Egle	Vr	10E 4
67-03-43-022-10-21	0,5	Egle	Dm	10E 4

Atslēga	Platība, ha	Valdošā suga	Meža tips	Audzes formula
67-03-43-022-10-19	1,3	Egle	Vr	10E 4
67-03-43-022-21-4	1,7	Apse	Grs	4A4Ba1Os1Oz 24
67-03-43-022-39-7	2,8	Egle	Vr	9E1M 8

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

Lauksaimniecības zemju ar organiskām augsnēm apmežošana ir pasākums ar lielāko klimata pārmaiņu mazināšanas potenciālu, kas, īstenojot pilnā apjomā, var nodrošināt enerģētikas sektora emisijām līdzvērtīgu emisiju samazinājuma efektu. Meža augšanas gaitas modeli var izmantot, lai novērtētu oglekļa uzkrājuma izmaiņas dzīvajā un nedzīvajā biomasā, kā arī koksnes produktos. Aprēķinos var izmantot augstākajām bonitātēm raksturīgās vērtības; tomēr meža atjaunošanas periods ir atkarīgs no augsnes sagatavošanas kvalitātes, stādāmā materiāla un agrotehniskās kopšanas. Vislielākā nenoteiktība apmežošanas ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai raksturīga pirmajām 2 desmitgadēm pēc apmežošanas. Otrā līmeņa metodes (nacionālos emisiju faktoros) var izmantot, lai novērtētu ietekmi uz augsnes oglekļa krāju izmaiņām un SEG emisijām. Neto SEG samazināšanas potenciāls 70 gadus ilgas aprites gadījumā ir līdz 1855 t CO₂ ekv. ha⁻¹ (vidēji 26 t CO₂ ha⁻¹ gadā⁻¹). Neto SEG samazināšanas potenciāls 40 gadus ilgas aprites gadījumā ir vidēji 1218 t CO₂ ekv. ha⁻¹ (30 t CO₂ ha⁻¹ gadā⁻¹, Bērziņa u.c., 2018).

Pasākumam ir ilgtermiņa ietekme; dzīvajai un atmirušai koksnei, nobirām un koksnes produktiem tas ir 71-91 gads atbilstoši dažādām sugām raksturīgam aprites garumam, saīsinātas rotācijas plantācijas mežos tas ir 40-50 gadi. Ietekme uz augsni ir atkarīga no oglekļa uzkrājuma augsnē, attiecīgi, to nosaka sadalīšanās ātruma atšķirības minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs. Aprēķinos ņemtā organisko augšņu platība ir 152 kha. Tradicionālo egles vai priedes apsaimniekošanas sistēmu izmantošana palielinātu CO₂ piesaisti un samazinātu SEG emisijas par 79 milj. tonnu CO₂ visās oglekļa krātuvēs 20 gadu laikā. Intensificēta apsaimniekošana un aprites saīsināšana radītu 90 milj. tonnu CO₂ piesaisti 20 gadu laikā. Jāpiebilst, ka SEG emisijas no augsnes aramzemē un zālajos šobrīd var būt pārvērtētas, līdz ar to potenciālais SEG emisiju samazinājums, iespējams, ir mazāks. SEG emisijas no auglīgām organiskām augsnēs meža zemēs var būt mazākas par prognozētajām, kas arī ietekmēs SEG emisiju samazināšanās ātrumu.

Apmežošana ir meža ekosistēmas atjaunošana iepriekš atmežotajās zemēs un barības vielām bagātos zemajos purvos, tāpēc apmežošana veicina Latvijai raksturīgu ekosistēmu atjaunošanu.

SEG emisiju samazināšanas izmaksas, ņemot vērā 20 gadu aprēķina periodu un 5% diskonta likmi, ekstensīvas apsaimniekošanas gadījumā 2016. gada cenās ir 6 € t⁻¹ CO₂. Kopējās investīcijas faktiskajās cenās ir 264-282 milj. €, atkarībā no izvēlēta scenārija (1740-1860 € ha⁻¹). Emisiju samazināšanas izmaksas var mainīties, atkarībā no faktiskajām emisijām no augsnes aramzemē, zālajos un meža zemēs (Bērziņa u.c., 2018).

Papildu apaļkoksnes un meža biokurināmā izlaide radīs ieguldījumu enerģētikā un kokapstrādes rūpniecībā. Apmežotās organiskās augsnēs var izmantot koksnes pelnus. Lielu organisko augšņu platību apmežošana ietekmēs lauku saimniecības ražošanas potenciālu, tomēr lielākā daļa organisko augšņu ir ar barības vielām nabadzīgas un ekstensīvi izmantotas.

Latvijā nav speciāla atbalsta organisko augšņu apmežošanai; taču tas nav aizliegts un organiskās augsnes var apmežot Lauku attīstības programmas klimata pārmaiņu mazināšanas

pasākumu ietvaros. Maksimālais atbalsts gan aptver ne vairāk kā 10% no visām organiskajām augsnēm pat, ja pieņem, ka apmežo tikai organiskās augsnes.

Pārmitro zālāju pārveide par meža paludikultūrām apaļo kokmateriālu un biokurināmā ražošanai ir organiskām augsnēm specifisks pasākums, ko var īstenot arī apgabalos ar minerālaugsnēm. Pasākuma ietekmi nevar pietiekami precīzi novērtēt, izmantojot pašlaik pieejamās zināšanas. Trūkst dati CO₂ piesaistes aprēķināšanai dzīvajā biomasā un citās oglekļa krātuvēs paludikultūrās, tajā skaitā pārmitrās minerālaugsnēs; tomēr aprēķinos var izmantot mežu augšanas gaitas un atmiruma vienādojumus dabiski mitrām minerālaugsnēm un organiskām augsnēm raksturīgajiem meža tipiem. Atkarībā no prognozētā augu barošanās un ūdens režīma, augšanas gaitas prognozēm, var izvēlēties piemērotāko bonitāti. Aprēķinu nenoteiktību palielina liels dabisko traucējumu risks (piemēram, applūšana, kas izraisa koku slimības vai kaitēkļu invāziju). Pagaidām nav pieejami dati, lai novērtētu ietekmi uz SEG emisijām no augsnes (Līcīte u.c., 2019).

Esošie Meža valsts reģistra un MRM dati satur nepietiekamu informāciju par augsnes tipu, meliorācijas sistēmu nolietojumu, kā arī ūdens un barības režīmu zālajos; līdz ar to īstenošanas potenciāla izvērtēšana valsts mērogā nav iespējama. Tāpat, lai īstenotu pasākumu vietējā mērogā, nepieciešams izvērtēt katru gadījumu atsevišķi. Meža valsts reģistra un MRM dati jāpapildina ar informāciju par meliorācijas sistēmu nolietojumu, gruntsūdeņu līmeņa dinamiku un nodrošinājumu ar barības vielām. Jāizstrādā nacionālā mērogā un lokāli piemērojami instrumenti meliorācijas sistēmu stāvokļa izmaiņu ietekmes novērtēšanai, lai renaturalizācijas plānošanu (piemēram, apzinātu teritorijas, kurās pēc pilnīgas meliorācijas sistēmu nolietošanās teorētiski iespējama meža augšana un kur sagaidāma purvu ekosistēmu atjaunošanās vai applūšana).

Pasākuma ietekmes ilgums ir vismaz viena pilna koku aprīte; turpmāka SEG emisiju samazināšanās vai palielināšanās ir atkarīga no apsaimniekošanas prakses, ko piemēro nākamās paaudzes kokiem. Ietekme uz augsnes SEG emisijām ir nepārtraukta, taču ietekmes "zīme" un mērogs vēl nav novērtēts. Pastāv liela varbūtība, ka renaturalizācija var palielināt augsnes SEG emisijas. Šī pasākuma kvantitatīvā ietekme Latvijā vēl nav novērtēta, jo trūkst ticamu darbības datu un augsnes emisiju faktoru.

Purvaini veido vērtīgus biotopus un veicina dabiskajiem mitrājiem raksturīgas veģetācijas atjaunošanos barības vielām bagātās augsnēs. Tāpēc pasākums atbilst ilgtspējības kritērijiem.

Pasākuma izmaksas nav novērtētas. Ņemot vērā meža atjaunošanas izmaksas, purvainu ierīkošana 2016. gada cenās var izmaksāt līdz 2000 €, ha⁻¹, ņemot vērā tikai meža atjaunošanas izmaksas (Līcīte u.c., 2019).

Koksnes piegādes no purvainiem var kļūt par ievērojamu biokurināmā un apaļkoksnes avotu, taču lielākas ražošanas izmaksas padara šo koksnes avotu mazāk konkurētspējīgu, salīdzinājumā ar citiem meža tipiem.

Pasākumu tieši neatbalsta valsts klimata politikas finanšu instrumenti; tomēr pasākumu var īstenot apmežošanas darbības ietvaros.

Īsirtmeta kokaugu stādījumi ar barības vielām bagātās augsnēs ir pasākums, kas īstenojams galvenokārt ar barības vielām bagātās minerālaugsnēs, taču to var īstenot arī organiskajās augsnēs, būtiski palielinot tā efektu. Latvijā šim pasākumam ir nozīmīgs klimata pārmaiņu mazināšanas potenciāls.

Kokaugu stādījumu augšanas gaitas modeļi un plantāciju ražības modeļi, lai novērtētu CO₂ piesaisti dzīvā biomasā, aizstāšanas efektu un piesaisti koksnes produktos pagaidām nav izstrādāti. Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas var novērtēt, izmantojot emisijas faktorus; tomēr zināšanu bāze šo faktoru pielietošanai, kā arī informācija par CO₂ piesaisti virszemes un pazemes nobīrās ir nepietiekama. Aprēķinā jāņem vērā oglekļa ienese ar notekūdeņu dūņām. Augsnes oglekļa krājumu

izmaiņām lokālā mērogā var būt ievērojama nenoteiktība atšķirīgu sākotnējo apstākļu rezultātā. CO₂ piesaiste dzīvajā biomasā īscirtmeta plantācijās biokurināmā ieguvei atkarīga no mēslojuma lietošanas un kultūraugu apsaimniekošanas. Īscirtmeta kokaugu stādījumos šī nenoteiktība ir mazāk kritiska, tomēr apsaimniekošanas ietekme ir lielāka, salīdzinot ar tradicionālajiem apmežojumiem vai plantāciju mežiem.

Pašreizējās zemes uzskaites sistēmas ir pietiekamas, lai nodrošinātu valsts mēroga aprēķinus. MRM var būt pārāk garš periods starp diviem mērījumu cikliem, kā rezultātā valsts mēroga īscirtmeta plantāciju aplēsēs var būt liela nenoteiktība. Zemes izmantošanas sistēma ir jāpapildina ar informāciju par papildu pasākumiem, jo īpaši par mēslojumu un biomasas ieguvi. Attālināti iegūstamos datus, piemēram, no satelītattēliem iegūtus veģetācijas indeksus un radara datus var izmantot, lai uzlabotu kokaugu stādījumu un īscirtmeta plantāciju augšanas ātruma novērtējuma precizitāti (Līcīte u.c., 2019).

Kokaugu stādījumiem un īscirtmeta plantācijām ir nepārtraukta ietekme, ko nodrošina selekcijas rezultātu ieviešana un jaunu klonu stādīšana (pēc 2-3 aprītēm īscirtmeta kokaugu stādījumiem un 4-5 aprītēm – īscirtmeta plantācijām). Lielākā daļa papildu CO₂ piesaistes notiek 20-25 gadu laikā pēc stādīšanas, turpmākajos 20-25 gados lielākā daļa CO₂ piesaistes notiek augsnē, sadaloties atmirušajai koksnei un nobirām, kā arī, pateicoties SEG emisiju samazinājumam no augsnes, ja pasākums īstenots organiskā augsnē. Īscirtmeta plantācijās lielākā daļa oglekļa krājumu izmaiņu, kas ietekmē ZIZIMM sektoru, izņemot organiskās augsnes, notiek 5-10 gadu laikā, pateicoties piesaistei dzīvajā biomasā un augsnē. Nākamajās desmitgadēs īscirtmeta plantācijas nodrošina ar fosilā kurināmā aizstāšanu saistītu SEG emisiju samazinājumu. Kokaugu stādījumu izveide 100 kha platībā nodrošinātu CO₂ piesaistes pieaugumu par aptuveni 29 milj. tonnām CO₂ visās oglekļa krātuvēs, neskaitot augsni, 20 gadu laikā. Īscirtmeta plantāciju izveide 30 kha platībā nodrošinātu 2 milj. tonnu CO₂ piesaisti 20 gadu laikā ZIZIMM sektorā. Papildu klimata pārmaiņu mazināšanas efektu nodrošina fosilā kurināmā aizstāšanu. Kopējais papildu CO₂ piesaistes apjoms ZIZIMM sektorā un aizstāšanas efekts enerģētikas sektorā no 30 kha īscirtmeta plantāciju biokurināmā ieguvei 20 gados sasniegtu 7,2 milj. tonnas CO₂, neskaitot augsni. Aprēķinos ņemti vērā ražošanas zudumi un SEG emisijas biomasas sadedzināšanas rezultātā. Aprēķinos izmantotais alternatīvais kurināmais ir dabasgāze. Ietekme uz SEG emisiju uzskaiti atkritumu sektorā nav ņemta vērā (Līcīte u.c., 2019).

Ģenētiski vienveidīga materiāla izmantošanu lielās platībās var palielināt traucējumu risku, piemēram, kaitēkļu izplatīšanās vai slimību izplatīšanās risku; tādēļ abos gadījumos jānodrošina klonu ģenētiskā daudzveidība un rūpniecisko klonu nepārtraukta uzlabošana.

Papildu CO₂ piesaistes izmaksas kokaugu stādījumos, neskaitot SEG emisiju samazinājumu augsnē, 2016. gada cenās ir 17 € t⁻¹ CO₂, ja tiek ņemts vērā 20 gadu aprēķina periods un 5% diskonta likme. Papildu CO₂ piesaistes izmaksas ZIZIMM sektorā īscirtmeta plantācijās ir 46 € t⁻¹ CO₂; tomēr, ja ņem vērā aizvietošanas efektu, īscirtmeta plantācijas ir visefektīvākais klimata pārmaiņu mazināšanas pasākums. Īscirtmeta plantācijām un kokaugu stādījumiem ir milzīgs aizvietošanas potenciāls enerģētikas nozarē un šķiedru ražošanā. Īscirtmeta plantācijas var būtiski samazināt SEG emisijas atkritumu sektorā, izmantojot notekūdeņu dūņas un citus organiskos atlikumus (Līcīte u.c., 2019).

Pasākumu tieši neatbalsta valsts klimata politikas finanšu instrumenti, tomēr īscirtmeta plantācijām saglabā platību maksājumu, ja aprītes ilgums nepārsniedz 5 gadus, savukārt, kokaugu stādījumu var izveidot kā plantāciju mežu, attiecīgi, īpašnieki var ietaupīt īpašuma nodokli. Par īscirtmeta plantācijām ir jāmaksā visi nodokļi (Lazdiņš, 2018; Saleniece u.c., 2019).

1.6. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai

Pētījuma ietvaros identificēti mežizstrādes risinājumu, kas veicina SEG emisiju samazināšanos, kā arī uzsākta metodikas izstrādāšana ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai un regulas (EU) 2018/841 papildinājumu 3. pielikumā uzskaitīto ierobežojumu iespējamās ietekmes analīzei. Regulas (EU) 2018/841 papildinājumu 3. pielikumā uzskaitīto ierobežojumu ietekmi uz mežizstrādes un koksnes produktu izmantošanas darbību atbilstību ilgtspējas kritērijiem vērtēsim nākošajos pētījuma etapos, kad regulas papildinājumi būs stājušies spēkā to galīgajā redakcijā. 2021. gadā definēsim kritērijus mežizstrādes tehnoloģiju un to ietekmes uz SEG emisijām ZIZIMM un enerģētikas sektorā raksturošanai un sociāli-ekonomiskajam novērtējumam.

Pētījumā identificētās darbības SEG emisiju samazināšanai un CO₂ piesaistes palielināšanai mežizstrādē:

1. mežizstrādes atlieku, celmu un mazu dimensiju koksnes izmantošana enerģētikā – aizstāšanas efekta nodrošināšana;
2. saudzīgas mežizstrādes tehnoloģijas koksnes bojājumu samazināšanai un koksnes produktu iznākuma palielināšanai (padeves veltņi, lielāka mežizstrādes mašīnu specializācija);
3. saudzīgas mežizstrādes tehnoloģijas augsnes bojājumu samazināšanai un CH₄ emisiju avotu veidošanās novēršanai;
4. uzlaboti sortimentācijas algoritmi, lāzerskenēšanas un attēlu analīzes tehnoloģijas koksnes produktu iznākuma palielināšanai;
5. mežizstrādes u.c. meža apsaimniekošanas operāciju elektrifikācija;
6. automatizācijas risinājumi netiešo, ar roku darbaspēka izmantošanu saistīto SEG emisiju samazināšanai;
7. koksnes ķīmiskā pārstrāde un koksnes produktu iznākuma palielināšana (no ~ 20% līdz vismaz 30%).

Darbību raksturošanas kritēriji un satura elementi ir līdzīgi visām SEG emisiju mazināšanas darbībām:

- pasākuma ietekmes pamatojums;
- atlases kritēriji pasākuma ietekmētās platības vai ražošanas procesa identificēšanai;
- ietekmētās oglekļa krātuves un SEG emisiju avoti;
- modelēšanas instrumenti un vienādojumi pasākuma ietekmes prognozēšanai;
- pieejamās monitoringa sistēmas un atbalsta dati un tiem nepieciešamie uzlabojumi, lai pasākumu ietekme būtu identificējama;
- ietekmes ilgums un papildus īstenojamās darbības, lai nodrošinātu ietekmes saglabāšanos;
- teorētiskais pasākuma ieviešanas ietekmes potenciāls nacionālā līmenī (līdz 2030., 2050. gadam un 21. gs. 2. pusē);
- atbilstība meža apsaimniekošanas ilgtspējas kritērijiem (vēl definējami atbilstoši regulas (EU) 2018/841 papildinājumu 3. pielikumam);
- izmaksu un ekonomisko ieguvumu novērtējums – 1 tonnas CO₂ piesaistes vai SEG emisiju samazinājuma izmaksas;

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

- sinerģija vai pretējs efekts citiem pasākumiem, iespējamie konflikti ar spēkā esošajiem normatīviem un atbalsta sistēmām;
- aizpildāmie zināšanu robi un pētījuma piedāvātie risinājumi zināšanu papildināšanai.

Pasākumu ietekmes raksturošanai izmantosim tab. 1.5 doto shēmu, kā arī SEG inventarizācijā izmantoto metodi koksnes produktu radīto SEG emisiju aprēķināšanai (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2021) un papildināsim 2017. gadā izstrādāto modeli meža tehnikas darba stundas izmaksu aprēķiniem, iekļaujot tajā SEG emisiju noteikšanas metodi (Kalēja u.c., 2017), izmantojot IPCC 2019. gada vadlīniju papildinājumu (Buendia u.c., 2019).

Tehnoloģiju aprakstā iekļaujamas SEG emisijas, ko rada degvielas patēriņš, motoreļļa un citas smērvielas. Degvielas īpašību raksturojums, kas izmantots modelēšanā, dots tab. 1.8. Pieņēmumi par degvielas patēriņu meža darbos, ja nav pieejami vienādojumi degvielas patēriņa aprēķiniem, apkopoti tab. 1.9.

Tabula 1.8. Dažādu degvielu un smērvielu īpašību salīdzinājums atbilstoši (Buendia u.c., 2019) un šajās vadlīnijās izmantotajiem datu avotiem

Parametrs	Zemākā siltumspēja			Blīvums		SEG emisijas			
	MJ L ⁻¹	MJ m ⁻³	MJ kg ⁻¹	kg L ⁻¹	kg m ⁻³	CO ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
						t t ⁻¹	t TJ ⁻¹	Kg TJ ⁻¹	Kg TJ ⁻¹
Benzīns	32,0		43,4	0,7			69,3	170,0	0,4
Dīzeļdegviela bezceļu transportā	36,0		42,6	0,8			74,7	5,5	28,0
Dīzeļdegviela ceļu transportā	36,0		42,6	0,8			74,8	2,8	2,8
Smērvielas			41,9			0,6			
Motoreļļa	39,2		39,5	1,0					
Mazuts	38,2		39,0	1,0					
Dabassgāze		36,6	47,1		0,8				

Tabula 1.9. Pieņēmumi SEG emisiju raksturošanai meža darbos

Darbu veidi	Mērvienība	Degvielas patēriņš uz 1 vienību		Smērvielu patēriņš uz vienību, g
		dīzeļdegviela, L	benzīns, L	
Meža atjaunošana un kopšana				

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Darbu veidi	Mērvienība	Degvielas patēriņš uz 1 vienību		Smērvielu patēriņš uz vienību, g
		dīzeļdegviela, L	benzīns, L	
Augsnes gatavošana ar disku arklu	ha	55,0		100,3
Augsnes gatavošana ar ekskavatora kausu	ha	105,0		328,1
Augsnes gatavošana ar rotējošo pacilotāju (lauks. traktors)	ha	45,0		140,6
Mašinizētā meža stādīšana	ha	74,0		231,3
Agrotehniskā kopšana	ha		18,0	
Minerālmēslu izkliešana	ha	6,7		12,2
Koksnes pelnu izkliešana	ha	20,4		37,2
Jaunaudžu kopšana ar rokas motorinstrumentiem	ha		18,0	
Mineralizēto joslu ierīkošana	km	28,0		51,0
Mežizstrāde				
Krājas kopšanas cirte, zāģēšana ķēdes zāģi	m ³		0,7	
Krājas kopšanas cirte, zāģēšana ar harvesteru	m ³	1,2		2,7
Krājas kopšanas cirte, pievešana	m ³	1,5		2,8
Atjaunošanas cirte zāģēšana ķēdes zāģi	m ³		0,2	
Atjaunošanas cirte zāģēšana ar harvesteru	m ³	0,7		1,6
Atjaunošanas cirte pievešana	m ³	1,0		1,8

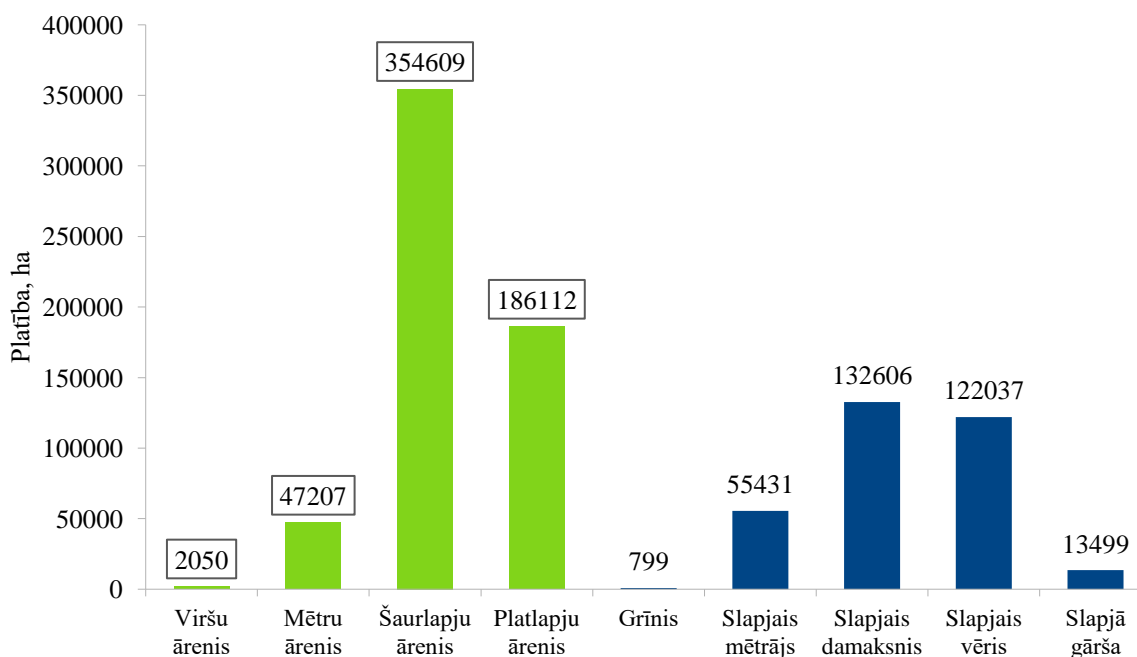
Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Darbu veidi	Mērvienība	Degvielas patēriņš uz 1 vienību		Smērvielu patēriņš uz vienību, g
		dīzeļdegviela, L	benzīns, L	
Sanitārā cirte, zāģēšana ķēdes zāģi	m ³		0,4	
Sanitārā cirte, zāģēšana ar harvesteru	m ³	1,4		3,1
Sanitārā cirte, pievešana	m ³	1,4		2,6
Krājas kopšanas cirte, mežizstrādes atlieku pievešana	ber. m ³	0,8		1,5
Atjaunošanas cirte mežizstrādes atlieku pievešana	ber. m ³	0,8		1,5
Mežizstrādes atlieku šķeldošana augšgala krautuvē	ber. m ³	0,6		0,9
Mežizstrādes atlieku transportēšana (85 ber. m ³) ar puspiekabi	82 km	85,3		
Kokmateriālu transportēšana (32 m ³)	100 km	104,0		

1.7. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma

2021. gada uzdevums, īstenojot šo darbību, ir izpētes metodikas izstrādāšana un pētījumu objektu atlase slapjajos un āreņos. Kopējā āreņu platība Latvijā ir 590 tūkst. ha, bet slapjaiņu kopplatība ir 324 tūkst. ha. Lielākā daļa āreņu atrodas vidēji auglīgās līdz auglīgās zemā purva kūdras augsnēs. Arī lielākā daļa slapjaiņu ir auglīgas augsnes (att. 7).

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 7. Slapjainu un āreņu platība Latvijā atbilstoši Meža resursu monitoringa datiem

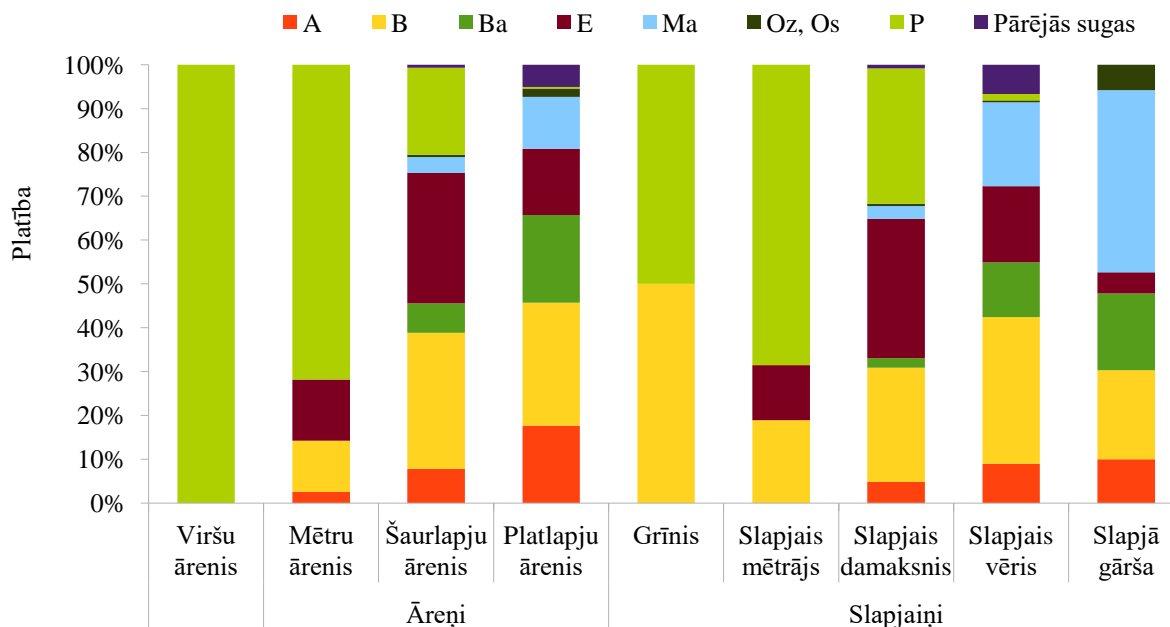
Lai raksturotu mazāk auglīgas un optimāli ar barības vielām nodrošinātas augsnes, izmēģinājumu objekti āreņos izraudzīti vidēja vecuma (40-60 gadus vecās) optimāli apsaimniekotās – priedes audzēs mētru ārenī un bērza audzēs platlapju ārenī, bet slapjainos – 40-60 gadus vecās priedes audzēs slapjajā mētrājā un bērza audzēs slapjajā vērī. Priede un bērzs izraudzīti, jo šīs sugas dominē attiecīgajos meža tipos (att. 8). Audžu atlasē kritēriji un prognozējamais darba apjoms raksturots tab. 1.10. Turpmākajos pētījuma etapos, piesaistot papildus sabiedrisko finansējumu, plānots aptvert pārējās saimnieciski nozīmīgākās koku sugas un mežaudžu vecuma grupas, lai uzlabotu SEG emisiju prognožu vienādojumu precizitāti. Kopā 2021. gadā uzsākta 4 izpētes objektu aprikošana. Parauglaukumu atlasī varēsīm pabeigt 2022. gada pavasarī, kad pabeigsim augšņu analīzes sākotnēji atlasītajos objektos.

Tabula 1.10. Izmēģinājumu objektu atlase āreņos un slapjainos

Meža tips	Valdošā suga, audzes vecums	Prasības objekta atlasē	Darba apjoma plānojums
Am	P, 40-60 gadi	Platība vismaz 1 ha, valdošās sugas krāja vismaz 70%, platība tieši pieguļ pastāvīgi uzturētiem ceļiem, zemsedzes veģetāciju veido meža tipam raksturīgās augu sugas, kūdras slāņa biezums nepārsniedz 20 cm	Mērījumu uzsākšana 2022. gada pavasarī, turpinot mērījumus 24 mēnešu periodā. Katrā objektā ierīkosim 3 apakšparauglaukumus ar 3 heterotrofās elpošanas un SEG emisiju mērījumu punktiem katrā. Darba metodika atbilstoši 1. pielikumā aprakstītajai metodikai.
Ap	B, 40-60 gadi		
Mrs	P, 40-60 gadi		
Vrs	B, 40-60 gadi		

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

	sugas, kūdras slāņa biezums nepārsniedz 30 cm	
--	--	--

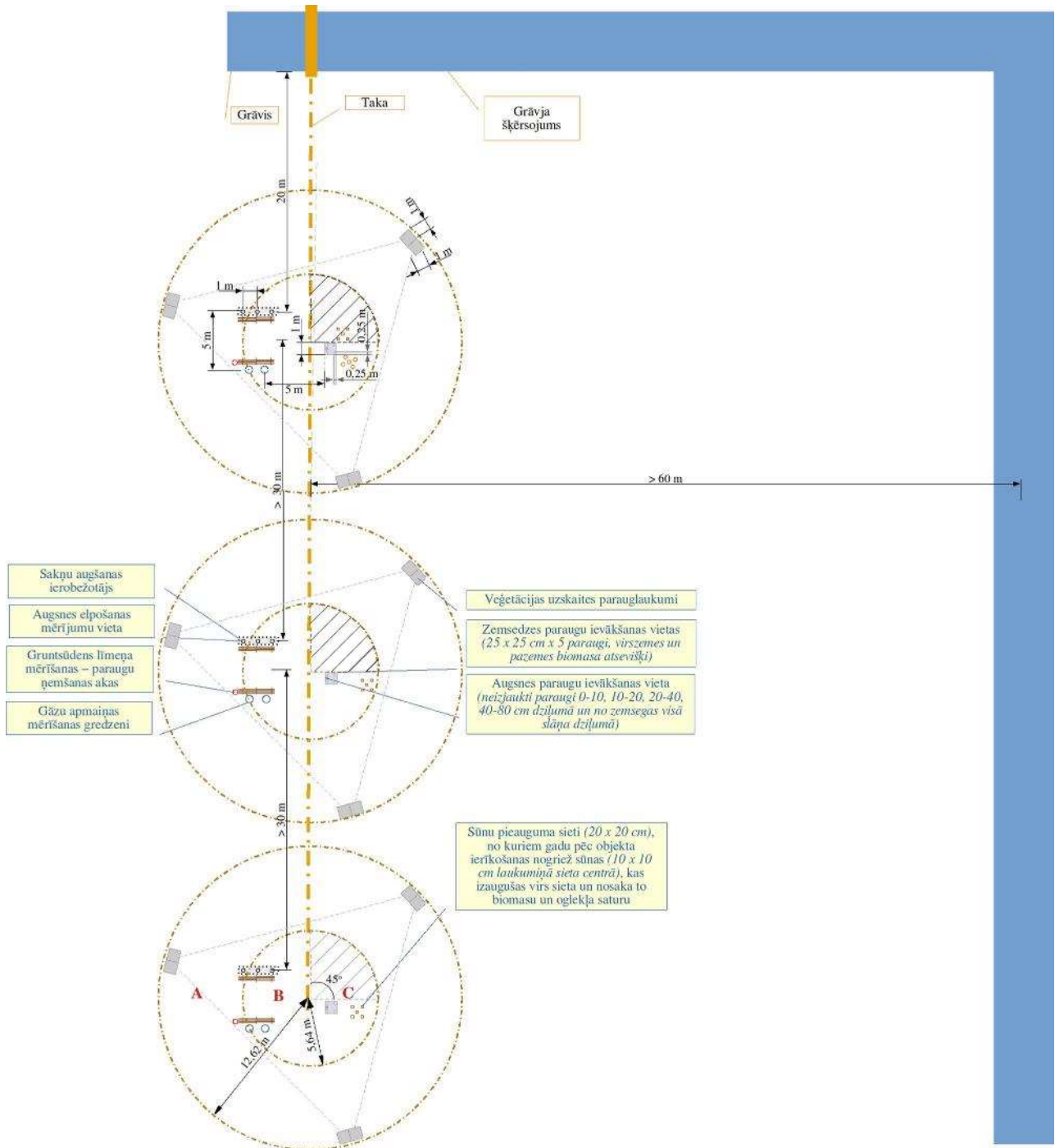


Attēls 8. Valdošo sugu platība āreņos un slapjajos

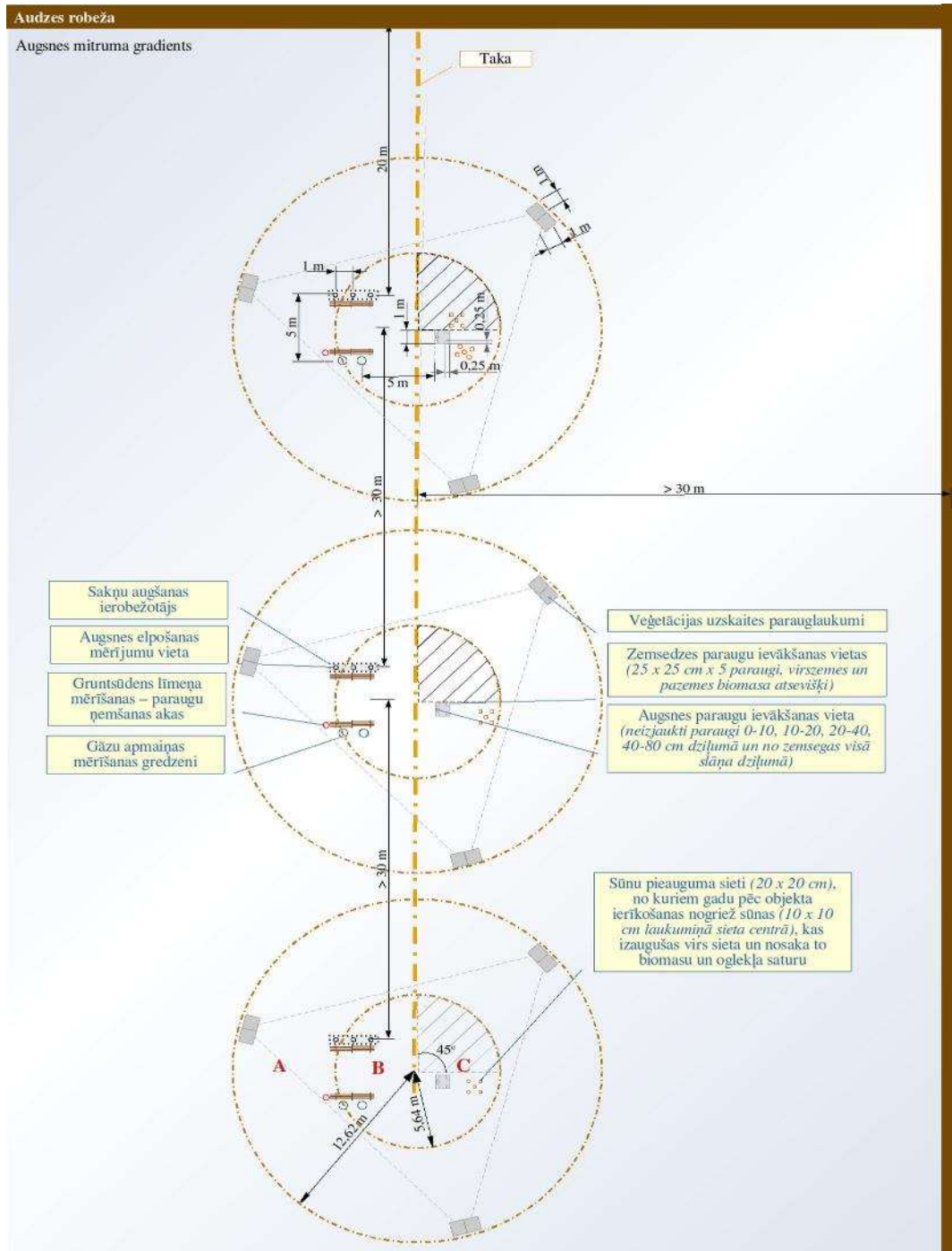
Novērojumu programmas, ko īstenosim parauglaukumos āreņos un slapjajos atbilstoši 1. pielikumā pievienotajai metodikai:

1. mazās nobiras piltuvveida savācējos;
2. rupjās nobiras zemes uztvērējos;
3. veģētācijas raksturojums (projektīvais segums);
4. zemsedzes veģētācijas biomasa (virszemes un pazemes biomasa augu grupu griezumā);
5. koku stāva raksturojums;
6. augsnes elpošana;
7. SEG emisijas no augsnes;
8. sūnu stāva pieaugums;
9. gruntsūdens līmenis (periodiski mērījumi);
10. augsnes temperatūra (periodiski mērījumi);
11. augsnes mitrums (periodiski mērījumi).

Parauglaukumu shematiskais attēlojums, tajā skaitā provizorisks mērījumu vietu izvietojums āreņos parādīts att. 9, bet purvaiņos – att. 10.



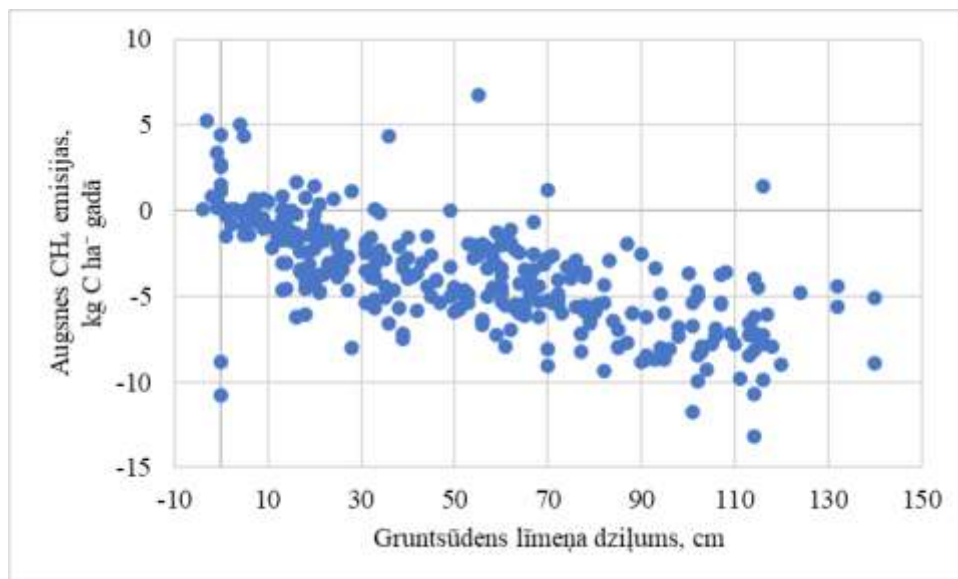
Attēls 9. Shematisks parauglaukumu elementu izvietojums ārenī



Attēls 10. Shematisks parauglaukumu elementu izvietojums slapjainos

Darbības “Lēmuma pieņemšanas atbalsta rīka izstrādāšana meliorācijas sistēmu uzturēšanai un modernizēšanai” ietvaros 2021. gada darba uzdevums ir metodikas izstrādāšana un objektu atlase dziļvagu tīkla ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai purvainos.

SEG emisiju mērījumi purvainos pētījuma “Modelēšanas instrumentu un rekomendāciju izstrādāšana siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanai mežaudzēs uz auglīgām organiskām augsnēm” ietvaros konstatēts, ka CH₄ emisijas purvainos būtiski pieaug, it īpaši izcirtumos, ja gruntsūdens līmenis ir augstāks par 20 cm (att. 11), izņemot ziemas periodu, kad emisijas ierobežo zemā augsnes temperatūra. Rezultātā neto SEG emisijas no purvaiņiem ir būtiski lielākas nekā neto emisijas no kūdreņiem.



Attēls 11. CH₄ emisiju no augsnes un gruntsūdens līmeņa sakarība (atbilstoši A. Butlera npublicētiem datiem)

Iegūtie rezultāti apstiprina to, ka pat seklu (līdz 30 cm) dziļvagu tīkls var būtiski samazināt SEG emisijas no augsnes purvaiņos, ja ar dziļvagām izdodas samazināt pārmitro ieplaku platību un ātrāk pazemināt gruntsūdens līmeni pavasarī. Vienlaicīgi šāda darbība palielinās CO₂ piesaisti dzīvajā biomasā un pārējās oglekļa krātuvēs.

Pētījumā plānots ierīkot 4 izmēģinājumu objektus, kas raksturo edafiskās rindas mazāk auglīgos un auglīgākos meža tipus purvaiņos ar katram meža tipam raksturīgāko koku sugu, tajā skaitā veiksīm pētījumus pieaugušās priežu audzēs niedrājā un pieaugušās bērza audzēs dumbrājā. Darbību raksturojums izmēģinājumu objektos dots tab. 1.11. Sugu izvēli izmēģinājumos pamato valdošo sugu sadalījums purvaiņos, attiecīgi, niedrājā izplatītākā valdošā suga ir priede, bet dumbrājā – bērzs (att. 12).

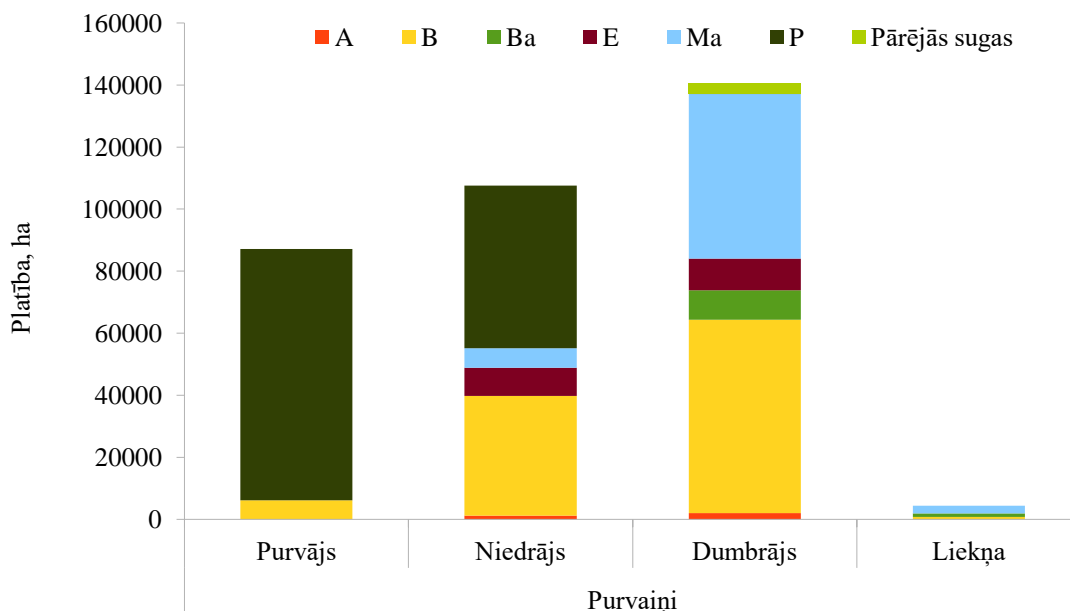
Visās izmēģinājumu platībās plānots veikt SEG mērījumus 2022. gadā, iegūstot references datus pirms mežizstrādes, tad 2022.-2023. gada ziemā veikt atjaunošanas cirti un 2023. gada vasarā pusē no platībām veikt augsnes sagatavošanu ar ekskavatoru, paralēli ierīkojot dziļvagu tīklu hidroloģiskā režīma uzlabošanai, un 2024. gada pavasarī iestādīt, attiecīgi, priedi un bērzu. Visu šo laiku no 2022. gada līdz 2024. gada rudenim, to ieskaitot, veiksīm gāzu apmaiņas mērījumus, tajā skaitā pēc augsnes sagatavošanas mērījumus veiksīm uz pacilām, augsnes apstrādes neskartajā platībā un bedrēs, kas palikušas pēc pacilu gatavošanas. Kontroles platībās pēc atjaunošanas cirtes imitēsīm dabisko atjaunošanos, līdz 2024. gada rudenim neveicot augsnes gatavošanu. Arī šajā platībā veiksīm SEG emisiju monitoringu līdz 2024. gadam.

Vēl 4 izmēģinājumu objektus plānots ierīkot slapjainos, kas raksturo edafiskās rindas mazāk auglīgos un auglīgākos meža tipus ar katram meža tipam raksturīgāko koku sugu, tajā skaitā veiksīm pētījumus pieaugušās priežu audzēs slapjajā mētrājā un pieaugušās bērza audzēs slapjajā vērī (tab. 1.12). Sugu izvēli izmēģinājumos pamato valdošo sugu sadalījums slapjainos. Šajās platībās SEG emisiju novērojumus veiksīm, piesaistot ārēju finansējumu.

Dziļvagu plānošanu veiksīm ar LVMI Silava izstrādāto rīku (Melniks u.c., 2019), iezīmējot vietas, kur ekskavatora operatoram ir jāievelk dziļvagas pārmitro ieplaku nosusināšanai, novadot ūdeni uz pašām dziļākajām ieplakām vai tuvējām ūdenskrātuvēm.

Tabula 1.11. Izmēģinājumu objektu atlase purvaiņos

Meža tips	Valdošā suga, audzes vecums	Prasības objekta atlasei	Darba apjoma plānojums
Nd	P, >100 gadi	Platība vismaz 1 ha, valdošās sugas krāja vismaz 60%, platība tieši pieguļ pastāvīgi uzturētiem ceļiem, zemsedzes veģetāciju veido meža tipam raksturīgās augu sugas, kūdras slāņa biezums pārsniedz 30 cm	Mērījumu uzsākšana 2022. gada pavasarī, turpinot mērījumus 36 mēnešu periodā. Katrā objektā ierīkosim 3 apakšparauglaukumus ar 3 heterotrofās elpošanas un SEG emisiju mērījumu punktiem katrā. Darba metodika atbilstoši 1. pielikumā aprakstītajai metodikai.
	P, >100 gadi		
Db	B >70 gadi		
	B, >70 gadi		



Attēls 12. Purvaiņu platība valdošās sugas griezumā

Tabula 1.12. Izmēģinājumu objektu atlase slapjajņos

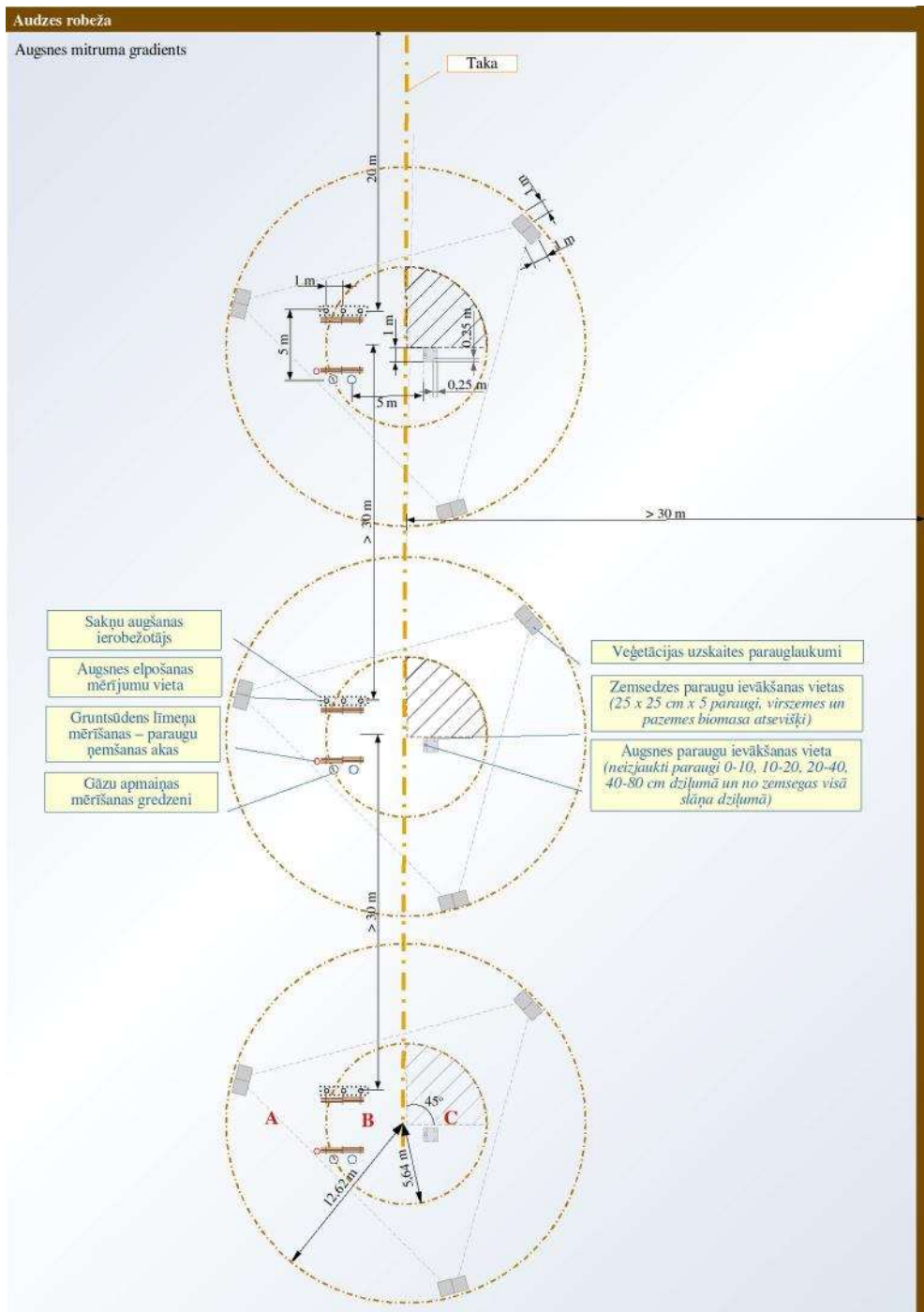
Meža tips	Valdošā suga, audzes vecums	Prasības objekta atlasei	Darba apjoma plānojums
Mrs	P, >100 gadi	Platība vismaz 1 ha, valdošās sugas krāja vismaz 60%, platība tieši pieguļ pastāvīgi uzturētiem ceļiem, zemsedzes veģetāciju veido meža tipam raksturīgās augu sugas, kūdras	Mērījumu uzsākšana 2023. gada pavasarī, turpinot mērījumus 36 mēnešu periodā, ja būs pieejams ārējs finansējums. Katrā objektā ierīkosim 3 apakšparauglaukumus ar 3 heterotrofās elpošanas un SEG emisiju mērījumu punktiem katrā. Darba metodika
	P, >100 gadi		
Vrs	B >70 gadi		
	B, >70 gadi		

Meža tips	Valdošā suga, audzes vecums	Prasības objekta atlasei	Darba apjoma plānojums
		slāņa biezums nepārsniedz 30 cm	atbilstoši 1. pielikumā aprakstītajai metodikai.

Novērojumu programmas, ko īstenošim parauglaukumos āreņos un slapjainos atbilstoši 1. pielikumā pievienotajai metodikai:

1. veģetācijas raksturojums (projektīvais segums);
2. zemsedzes veģetācijas biomasa (virszemes un pazemes biomasa augu grupu griezumā, atkārtoti pēc atjaunošanas circes un atjaunošanas);
3. koku stāva raksturojums;
4. augsnes elpošana;
5. SEG emisijas no augsnes;
6. gruntsūdens līmenis (periodiski mērījumi);
7. augsnes temperatūra (periodiski mērījumi);
8. augsnes mitrums (periodiski mērījumi).

Papildus šajās platībās pēc augsnes sagatavošanas noteiksim skarificēto laukumu, nodalot pacilas un bedres, un faktisko dziļvagu izvietojumu. Mērījumu apakšparauglaukumu izvietojums shematiski atbilst att. 13. Katrā parauglaukumā viens no mērījumu punktiem mērķtiecīgi atjaunotajā platībā ir uz pacilas, otrs – padziļinājumā, un trešais – neskartajā platībā.



Attēls 13. Pētījumu objektu shematisks raksturojums purvainī

Šobrīd turpinās izpētes objektu atlase, kas prasīja vairāk laika, nekā sākotnēji plānots sakarā ar Meža valsts reģistra datu par meža tipu un valdošo sugu neatbilstību reālajai situācijai. Aprīkojums gāzu apmaiņas mērīšanai un papildus datu ieguvei ir sagatavots.

1.8. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs

Pētījuma uzdevums ir empīrisko datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprītes un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos. 2021. gadā īstenotās darbības ir pētījumu objektu atlase, atbilstoši taksācijas un attālās izpētes datiem, kā arī apsekošana un objektu izvēle; parauglaukumu ierīkošana oglekļa uzkrājuma raksturošanai pāraugušās lapkoku

audzēs un parauglaukumu ierīkošana oglekļa bilances raksturošanai nākamajos pētījuma etapos (nobiras, saknes, augsnes emisijas) bērza audzēs.

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

Eiropas Savienības (ES) bioloģiskās daudzveidības un klimata pārmaiņu mazināšanas politikas ietvarā, kā arī nacionālās dalībvalstu politiku mērķu sasniegšanai ir nepieciešams iegūt zinātniski pamatotus datus ne tikai par oglekļa uzkrājumiem un to bilanci mežā, kā arī par citiem ar mežu saistītajiem aspektiem. ES bioloģiskās daudzveidības stratēģija 2030 paredz noteikt stingru aizsardzības statusu visiem ES dabiskajiem (primary) un veciem (old-growth) mežiem (O'Brien u.c., 2021). Tajā pašā laikā, arī klimata pārmaiņu mazināšanas mērķi ES paredz, ka vecie meži ir nozīmīgs elements klimata pārmaiņu mazināšanai, ņemot vērā, ka daļa veco mežu uzkrāj nozīmīgu oglekļa apjomu (Kun u.c., 2020; O'Brien u.c., 2021). Kaut arī Eiropā ir pieejamas dažādas publikācijas par oglekļa krātuvēm, kā arī oglekļa dinamiku mežā – gan dzīvo koku biomasā, gan augsnē, kā arī atmirušajā koksne un zemsegā (Gundersen u.c., 2021). Tomēr, tieši empīriskie pētījumi vecās mežaudzēs Eiropā ir maz, kā arī tajos vecie meži nereti definēti atšķirīgi, kā rezultātā nav iespējams iegūt salīdzināmus rezultātus par oglekļa uzkrājumu tieši vecās audzēs (Gundersen u.c., 2021; O'Brien u.c., 2021). Līdz šim Latvijā ir izdevies nozīmīgi papildināt informāciju par veco mežaudžu oglekļa uzkrājumu minerālaugsnēs (Ķēniņa u.c., 2020), kā rezultātā ir iegūti references dati, kurus var izmantot turpmākos pētījumos un lēmumu pieņemšanas procesos, kas saistīti ar veco mežaudžu lomu klimata pārmaiņu mazināšanā. Iegūtie rezultāti apstiprina, ka vecās mežaudzes, kurās dominējošais meža elements ir vecā kokaudze, ir būtiska oglekļa krātuve, taču ikgadējā oglekļa piesaiste var būt augstāka pieaugušās audzēs saimnieciskajos mežos (Molina-Valero u.c., 2021). Papildus, plašas mežu teritorijas Eiropā atrodas organiskajās augsnēs, kā rezultātā interese par oglekļa bilanci un uzkrājumu organiskajās, un īpaši meliorētās audzēs pieaug, jo organiskās augsnes tiek uzskatītas par nozīmīgu siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju avotu (Tubiello u.c., 2016), kaut arī ir publicēti arī atšķirīgi rezultāti tieši boreālajā reģionā (Butlers & Lazdins, 2020; Lohila u.c., 2007). Ņemot vērā dažādos rezultātus atkarībā no reģiona Eiropā, un to, ka veco mežu loma un īpatsvars dažādu faktoru ietekmē Eiropā turpinās pieaugt, nepieciešams iegūt empīriskos datus par oglekļa uzkrājumu un dinamiku organiskajās augsnēs, tajā skaitā meliorētās kūdras augsnēs dažāda vecuma mežaudzēs dalībvalstu līmenī, jo situāciju valstu līmenī būtiski atšķiras, sākot no sugu sastāva un mežaudzes vecuma, kā arī meža augšanas apstākļiem un klimatiskajiem apstākļiem konkrētajā vietā (Pregitzer & Euskirchen, 2004). Iegūtie rezultāti nozīmīgi uzlabotu izpratni par oglekļa uzkrājumu mežaudzēs ar organiskajām augsnēm, kā arī ļaus precīzāk novērtēt šābrīža un potenciālo veco mežaudžu lomu klimata pārmaiņu mazināšanā (Gundersen u.c., 2021; Högbom u.c., 2021; Kun u.c., 2020).

Hemiboreālajā reģionā, vēl npublicētā pētījumā par oglekļa uzkrājumu vecās lapu koku audzēs Latvijā (Ķēniņa et al. manuskripts), konstatēts, ka bērza un apses vecās mežaudzes ir tik pat nozīmīgas oglekļa krātuves kā vecās skujkoku audzes. Tas apliecina, ka ne tikai skuju koku audzēs (parastās priede un parastās egle), bet arī lapu koku audzēs, īpaši Latvijā, kur bērzs ir izplatītākā koku suga (pēc MSI datiem aizņem 28% no meža platības), ir nepieciešams iegūt empīrisku datu materiālu par oglekļa uzkrājumu dažādās oglekļa krātuvēs un oglekļa bilanci dažāda vecuma mežaudzēs organiskajās augsnēs, kas pēc Meža statistiskās inventarizācijas datiem (MSI) aizņem 22% no meža platības. Pēc MSI datiem, purvaini aizņem 10% no kopējās mežu platības (Nd aizņem 32% no kopējās purvainu platības), bet kūdreņi veido 12% no kopējās mežu platības (Ks un Kp kopā aizņem 79% no kūdreņu platības). Īpaši mežaudzes auglīgās organiskās augsnēs ir saimnieciski nozīmīgas, tāpēc nepieciešami precīzi dati par oglekļa uzkrājumu (iekļaujot visas galvenās oglekļa krātuves – dzīvo koku biomasu, atmirušā koksni, zemsegu, augsni) un bilanci (CO₂ un CH₄ bilance organiskajās augsnēs) šādās mežaudzēs saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām – parastā priede, parastā, egle, bērzs, jo līdz šim šādi dati nav iegūti.

Organiskās augsnes ir nozīmīgs zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektora siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju avots mērenās klimata joslas reģionos Eiropā. Lai iegūtu precīzus datus par oglekļa bilanci par vecām audzēm ar organiskajām augsnēm, nepieciešami dati ne tikai par laikā fiksētu oglekļa uzkrājumu, bet nepieciešami dati par augsnes oglekļa (SEG emisiju) bilanci no kūdras augsnēm, kas tiek uzskatīta par nozīmīgu SEG emisijas avotu (Bārdule, Petaja, u.c., 2021; Lupiķis & Lazdins, 2017).

Veicot meža meliorācijas sistēmas uzlabošanu mainās gruntsūdens līmenis augsnē, līdz ar to uzlabojas kokaudzēs augšanas apstākļi un mainās arī oglekļa uzkrājums dzīvajā koku biomasā un augsnē, kā arī pieaug sakņu blīvums, palielinoties kokaugu rezistencei pret vēja noturību. SEG daudzumu augsnē galvenokārt nosaka gruntsūdens līmenis, koku vainagu proporcijas un temperatūra, taču veicot kādas mežsaimnieciskās darbības vai meliorācijas sistēmas uzlabošanu oglekļa uzkrājums augsnē var mainīties (Laine u.c., 2019). Lai arī pēc meliorācijas sistēmu uzlabošanas ir novērota koku pieaugumu palielināšanās, taču pastāv arī riski, ka pēc meža platības nosusināšanas oglekļa un citu SEG tuvējās ūdenstilpēs varētu palielināties vairāk, nekā citu mežsaimniecisko darbu rezultātā (Finér u.c., 2021). Saskaņā ar SEG inventarizācijas datiem, meža zemju nosusināšana organiskās augsnēs ir liels siltumnīcefekta gāzu emisiju avots. Tāpēc, ir svarīgi salīdzināt oglekļa uzkrājumu minerālaugsnēs un organiskās augsnēs, lai varētu pētīt to ietekmi klimata pārmaiņu mazināšanā (Bārdule, Petaja, u.c., 2021). Minerālaugsnēs pēc meliorācijas veikšanas samazinās organisko vielu slānis, taču auglība pieaug, bet organiskās augsnēs palielinoties nobiru slānim, palielinās arī augsnes auglība, kam ir pozitīva ietekme uz biomasas, līdz ar to arī oglekļa uzkrājuma pieaugumu kokaudzē (Bārdule, Liepiņš, u.c., 2021). Pēc meliorācijas izveidošanas mainās arī organisko vielu slānis (O horizonts, zemsega), kurā uzkrājas lapas, skujuas, zari, sūnas un ķērpji. Pētījumā secināts, ka visaugstāko oglekļa piesaisti meža nobirās uzrāda audzes, kurās valdošā koku suga ir priede slapjās organiskās augsnēs, tikai nedaudz atpaliekot bērzam, kur savukārt lielāks oglekļa uzkrājums ir novērots tieši meliorētās organiskās augsnēs (Butlers & Lazdins, 2020).

Līdz šim Latvijā ir veikti maz pētījumi par meliorācijas sistēmu ietekmi uz oglekļa uzkrājumu un oglekļa piesaisti mežaudzēs galvenajās oglekļa krātuvēs (Bārdule, Liepiņš, u.c., 2021; Butlers & Lazdins, 2020; Lupiķis & Lazdins, 2017). Tomēr iegūtie rezultāti apliecina, ka audzēs ar organiskajām augsnēm, oglekļa uzkrājums ne tikai dzīvo koku biomasā, bet arī atmirušajā koksnē, zemsegā, nobirās, kā arī augsnē ir nozīmīgi atšķirīgi un to ietekmē konkrētās vietas apstākļi – gruntsūdens līmeņa svārstības un citi, īpaši vecās mežaudzēs. Tāpēc šajā pētījumā posmā iegūti dati par oglekļa uzkrājumu vecās bērza audzēs auglīgās organiskās augsnēs, lai iegūtu salīdzināmus references datus par galvenajām oglekļa krātuvēm. Kā arī pētījuma turpinājumā plānots analizēt oglekļa bilanci vecās bērza audzēs dabiskās organiskās augsnēs, kā arī meliorētās organiskās augsnēs, lai novērtētu meliorācijas ietekmi ne tikai uz kokaudzēs produktivitāti, bet arī SEG emisijām no augsnes.

Objektu atlase, apsekošana, izvēle, rezultātu apkopojums, aprēķini

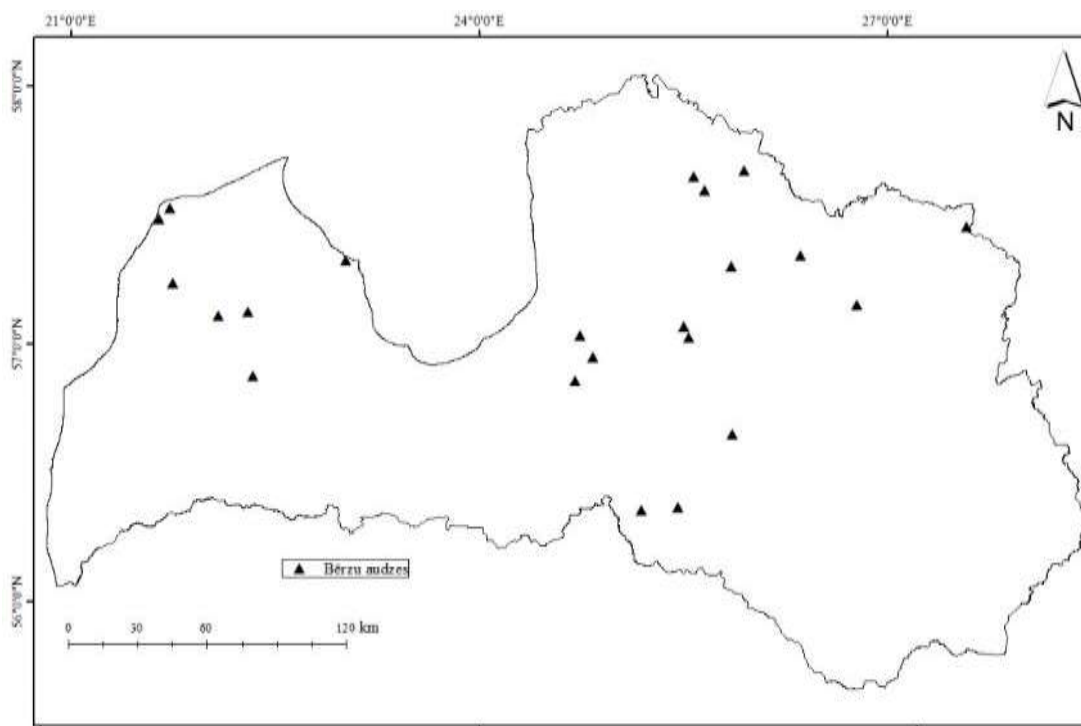
Pētījuma periodā notika veco bērzu (*Betula pendula* Roth un *Betula pubescens* Ehrh.) audžu atlase pēc taksācijas datiem un to apsekošana niedrāja (Nd), šaurlapju kūdreņa (Ks) un platlapju kūdreņa (Kp) meža tipos. Niedrājs (*Caricosa-phragmitosa*) ir purvainu meža tips, kam raksturīgs vismaz 30 cm biezs kūdras slānis. Pētījumā iekļautas arī bērza audzes ar nosusinātām kūdras augsnēm – kūdreņiem, kuros kūdras slānis veido līdz 20 cm biezumu. Pēc Nd nosusināšanas visbiežāk veidojas vidēji auglīgs Ks (*Myrtillosa turf.mel.*). Pētījumā atlasītas arī bērza audzes, kas aug auglīgā Kp (*Oxalidosa turf. mel.*). Pēc MSI datiem, bērza audzes Latvijā purvainos aizņem 30% no kopējās purvainu platības, bet kūdreņos 38% no kopējās kūdreņu platības. Salīdzinot nozīmīgākās un izplatītākās koku sugas Latvijā (egle, priede un bērzs), bērzam ir lielāks koksnes blīvums, respektīvi arī lielāks oglekļa uzkrājums dzīvajā biomasā (Pukkala, 2014).

Tāpat kā pētījumā ar vecajām audzēm minerālaugsnes, arī šī pētījuma ietvaros ar jēdzienu **veca (pāraugusi) kokaudze** apzīmē audzi, kurā valdošās sugas koki pārsnieguši noteikto ciršanas vecumu par vairāk nekā divām vecumklasēm. Savukārt, **vecs mežs** attiecināms uz ilgstoši (vismaz divas valdošās koku sugas vecumklases) antropogēni maz traucētu mežu. Vecā mežā nav veikta krājas kopšanas un galvenā cirte, un to veido vai nu veca kokaudze, vai dabisko traucējumu ietekmē (piem., vējgāzes, ugunsgrēki, dendrofāgo kukaiņu savairošanās) izveidojusies jauna audze. Tātad, veca kokaudze var būt vecs mežs, bet ne visi vecie meži sastāv no vecām kokaudzēm – kuras tiek analizētās pētījuma ietvarā.

Sākotnēji tika atlasīta vecas bērza audzes, kuras atbilda konkrētajiem kritērijiem: 1) valdošā suga - bērzs, 2) audzes vecums > 110 gadi,; 3) meža tips (Nd, Ks, Kp); 4) valdošās sugas īpatsvars audzes sugas sastāva formulā (> 60% no pirmā stāva šķērslaukuma); 5) nav pieejama dokumentāla informācija par saimniecisko darbību audzē; 6) attālas vietas (vismaz 5 km no ciematiem un 1 km no ceļiem); 7) nogabala lielums vismaz 0,5 ha (4-6 parauglaukumiem (PL)).

Atlasītās mežaudzes pēc taksācijas rādītājiem tika apsekotas dabā, lai pārliicinātos par atbilstību faktiskajai situācijai. Tikai tās audzes, kuras atbilda visiem atlasē kritērijiem tika uzmērītas. Pēc datu bāzē atlasītām vairāk kā 100 audzēm, dabā apsekoja 82 audzes. Kopumā 26 audzes atbilda visiem kritērijiem.

Pētījumā ievākti un sāka analīze par 8 bērzu audzēm Nd meža tipā (kopā 48 PL) un 8 bērzu audzēm kūdreņos (4 audzes Ks un 4 audzes Kp; kopā 48 PL) visā Latvijas teritorijā (att. 14, 15).



Attēls 14. Atlasītās vecas bērza audzes

Oglekļa aprite meža ekosistēmā





Attēls 15. Izmēģinājumiem atlasīto audžu piemēri⁴

Oglekļa uzkrājuma uzmērīšana

Metodikas pamatā ir vispārīgās labas prakses vadlīnijas, kas apkopotas 1. pielikumā. Metodikas apraksts sniegts, lai iezīmētu konkrētajam pētījumam specifiskos risinājumus, kā arī tāpēc, ka šajā darbībā empīrisku datu ieguve uzsākta vēl pirms harmonizētas metodikas izstrādāšanas. Datu ieguves metodes 1. pielikumā un turpmākajās apakšnodaļās nodrošina savstarpēji savietojamu datu ieguvi.

Lauka darba metodika

Katrā izvēlētajā audzē tika ierīkoti 6 parauglaukumi vienmērīgā tīklā atbilstoši audzes konfigurācijai. Parauglaukumi izvietoti regulārā tīklā, bet tā, lai izvairītos no netipiskām ieplakām, paaugstinājumiem u.t.m. Katrā parauglaukumā ($R=12,62$ m) tika ievākts empīriskais datu materiāls, pēc tādas pašas metodikas, kā visās vecajās audzēs minerālaugsnēs, lai būtu iespēja salīdzināt iegūtos rezultātus. Katram kokam (koku caurmērs $D > 6,1$ cm) fiksē krūšaugstuma caurmēru, bet daļā PL ($R=5,64$ m; 0° - 90° sektorā) fiksē kokus ar $D \geq 2,1$ cm. Katram kokam fiksē atrašanās vietu, sugu, stāvu, Krafsta klasi, bojājumus, kā arī marķē – piešķir numuru. Četros mazākos apļveida laukumos ($R=0,80$ m) 2 m no centra uz katra kardinālā virziena – uzskaita visus kokus, kuri mazāki par 1,3m (nosakot sugu un vidējo augstumu). Katram meža elementam (valdošajam elementam 5 kokiem, pārējiem 2 dažādu dimensiju kokiem) tiek uzmērīts koku augstums (H , m) un vainaga sākuma augstums (H_v , m), kā arī ievākts pieauguma urbums. Uzmēra arī nedzīvos sausstāvošos kokus ($D > 6,1$ cm un daļā PL $D \geq 2,1$ cm) – stumbeņus (st) un sausokņus (sa) (nosakot D un H) un kritālas (kr), kuru $D > 14$ cm ($D > 6$ cm daļā PL) un garums > 1 m (nosakot D , garumu) Visiem atmirušajiem kokiem nosaka sadalīšanās pakāpi (saskaņā ar Sandström u.c., 2007).

Ārpus PL trīs atkārtojumos tika ievākti arī augsnes un zemsegas paraugi, lai noteiktu oglekļa uzkrājumu. Augsnes paraugus ievāca četros dziļumos (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-80 cm)

⁴ Foto – Ā. Jansons

ķīmisko analīžu veikšanai un fizikālo īpašību raksturošanai. Zemsegas (O horizonts) paraugi (10 x 10 cm; 100 cm³) arī ievākti trīs atkārtojumos un nogādāti laboratorijā tālākai analīzei.

Kamerālo darbu metodika

Pētījumā analizēts oglekļa **uzkrājums** (*carbon stock*), kas ir oglekļa masa, kas uzkrāta oglekļa **krātuvē** (*carbon pool*).

Uzkrātais oglekļa daudzums dzīvajā koksnes biomasā tika aprēķināts no individuāla koka biomasas (tilpums × blīvums), izmantojot Latvijas apstākļiem izstrādātus biomasas modeļus galvenajām koku sugām (Liepiņš, Ivanovs, u.c., 2017). Koku sugām, kurām nav izstrādāti atsevišķi parametri biomasas aprēķināšanai, izmantoti parametri no tās koka sugas, kurai ir vislīdzīgākais koksnes blīvums. Izmantojot Latvijā veiktā pētījuma oglekļa satura koksne koeficienta vērtības galvenajām koku sugām – parasto priedi, parasto egli, bērzu, apsi (Bārdule, Liepiņš, u.c., 2021) aprēķināts oglekļa uzkrājums stumbra biomasā, zaru biomasā, pazemes biomasā un atsevišķi arī sīko sakņu biomasā (tab. 1.13).

Tabula 1.13. Oglekļa satura koeficienti koku biomasā (virszeme/pazeme) dažādām koku sugām Latvijā, g kg⁻¹ (Bārdule, Liepiņš, u.c., 2021)

Koka daļa	Parastā egle	Parastā priede	Bērzs	Parastā apse
Virszemes daļa	524,4	530,4	520,6	510,2
Pazemes daļa	529,9	531,5	527,9	507,4
Koks	526,5	533,2	521,4	509,0

Uzkrātais oglekļa daudzums nedzīvās koksnes biomasā (sa, st, kr) aprēķināts, izmantot koksnes blīvumu pa 5 sadalīšanās pakāpēm un koksnes tilpuma vērtības atbilstoši oglekļa koncentrācijas vērtībām pa sadalīšanās pakāpēm un koku sugām. Izmantotas Igaunijā noteiktas parametru vērtības (Köster u.c., 2015), bet Latvijā pārbaudītas koksnes blīvuma un oglekļa koncentrācijas vērtības (Ķēniņa u.c., 2019).

Augsnes un zemsegas paraugi sagatavoti tālākai analīzei Latvijas Valsts mežzinātnes institūta Silava Meža vides laboratorijā atbilstoši LVS ISO 11464 standarta prasībām. Augsnes kopējais oglekļa daudzums tiks noteikts ar kalibrētu oglekļa elementanalizatoru Vario ElCube.

Parauglaukumu ierīkošana oglekļa bilances uzmērīšanai

Organiskās augsnes ir nozīmīgs zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektora siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju avots mērenās klimata joslas reģionos Eiropā. Lai iegūtu precīzus datus par oglekļa bilanci par vecām audzēm ar organiskajām augsnēm, nepieciešami dati ne tikai par laikā fiksētu oglekļa uzkrājumu, bet nepieciešami dati par augsnes oglekļa (SEG emisiju) bilanci no kūdras augsnēm, kas tiek uzskatīta par nozīmīgu SEG emisijas avotu (Bārdule, Petaja, u.c., 2021; Lupiķis & Lazdins, 2017).

Lai to realizētu, pētījumā ierīkos PL, kur uzmērīs oglekļa uzkrājums kokaudzei, kā arī veiks augsnes oglekļa monitorings – fiksējot CO₂ un CH₄ gāzu apmaiņas no augsnes – nosakot heterotrofo elpošanu (CO₂, CH₄), kopējo elpošanu un kopējo metāna apmaiņas mērījumus (CO₂, CH₄). Tāpat ievāks datus par nobirām (lapas, skuju, sīki zari, mizas gabali u.c.), fiksēts gruntsūdens līmenis, noteikts augsnes pH un ūdens konduktivitāte, augsnes temperatūra un augsnes mitrums. Lai raksturotu temperatūras un gruntsūdens līmeņa svārstību ietekmi uz SEG gāzu plūsmām, jau ziemas

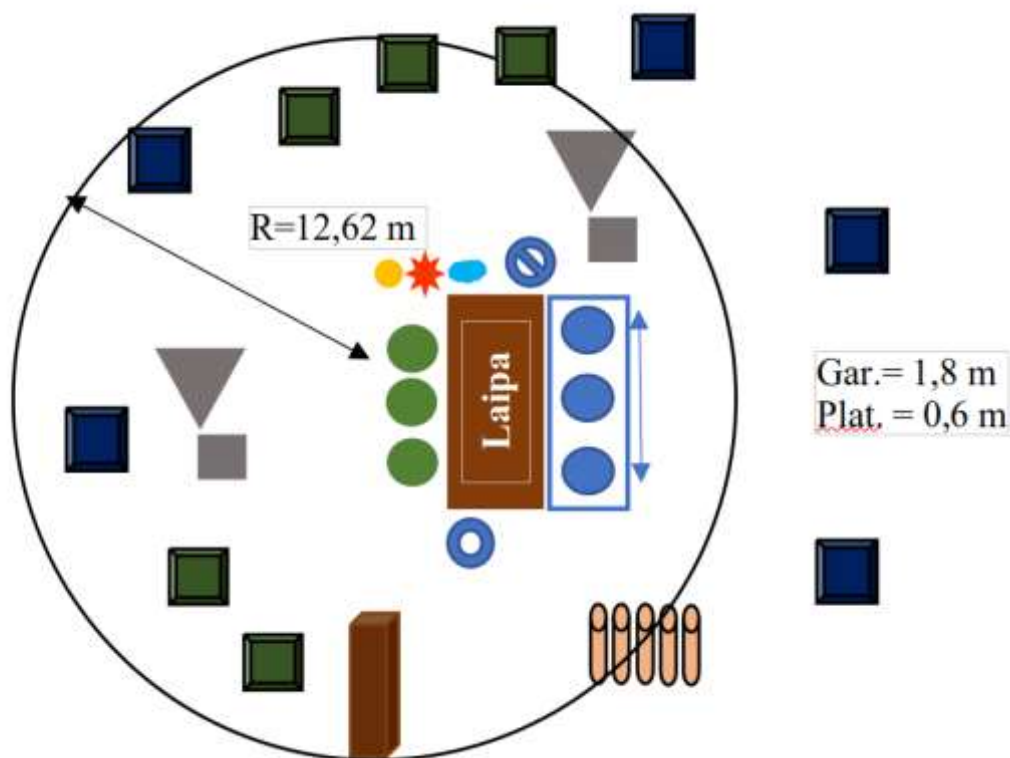
Oglekļa aprite meža ekosistēmā

sezonā un turpmāk visas veģetācijas garumā plānots veikt augsnes temperatūras monitoringu (10 un 40 cm dziļumā) un gruntsūdens līmeņa monitoringu. Visos PL tiks ņemti augsnes paraugi, oglekļa uzkrājuma raksturošanai – paraugi tiks nodoti laboratorijā turpmākai apstrādei un analīzei. Sīko sakņu biomasas noteikšanai, pieredzes apmaiņā pie Igaņu zinātniekiem (Veiko Uri vadībā, sadarbībā ar Kristina Aun) iegūta informācija par sīko sakņu paraugu iegūšanu, tālāku apstrādi (Aun u.c., 2021). Plānots ievākt sīko sakņu augsnes paraugus (10 paraugi katrā PL no 10-40 cm dziļumam) pirms aktīvas veģetācijas sezonas – aprīlis, maijs, veģetācijas sezonas kulminācijā - augusts un pēc aktīvās veģetācijas sezonas beigām – oktobris, kā arī kontroles paraugi tiks ievākti nākamajā pavasarī – maijā, lai konstatētu sadalīšanās dinamiku ziemas periodā un varētu novērtēt sīko sakņu produktivitāti. Iegūtie sīko sakņu paraugi laboratorijā tālāk tiks mazgāti, šķiroti, žāvēti un svērti, lai noteiktu to biomasu un oglekļa uzkrājumu. Veģetācijas sezonas kulminācijā (jūlijs, augusts) plānots ievākt arī lapu laukuma indeksa parametrus visos parauglaukumos. Lai raksturotu zemsedzes oglekļa uzkrājumu, veģetācijas sezonā plānots ievākt arī zemsedzes virszemes paraugus, kopējai zemsedzes biomasas noteikšanai. Vasarā plānots noteikt arī veģetācijas procentuālo segumu visos PL. Sūnu biomasas noteikšanai katrā PL pirms veģetācijas sezonas sākuma izvietoti 5 sūnu biomasas sieti, sūnu biomasas noteikšanai. Augsnes oglekļa uzkrājuma raksturošanai, visos PL tiks ievākti augsnes paraugi 5 dziļumos (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 cm).

PL dizains pielāgots un ierīkošana veikta balstoties uz OrgBalt pētījuma metodiku, ko ir izstrādājusi LVMI Silava sadarbībā ar starptautiskajiem partneriem no Somijas, Igaunijas, Lietuvas. Vācijas, ar mērķi iegūt savstarpēji salīdzināmus datus un līdz ar to iespēju novērtēt SEG dinamiku atkarībā no audzes vecuma.

Pārskata periodā saskaņā ar plānu veikta parauglaukumu ierīkošana un noslēdzošie darbi tiks veikti pavasarī pirms pirmo mērījumu uzsākšanas 2 Ks un 2 Nd audzēs. Lai iegūtu salīdzināmus rezultātus, tiks atlasītas divas audzes, kurās ir līdzīgs mitruma režīms, kokaudzes sastāvs, kūdras biezums.

Katrā objektā plānots ierīkot 3 PL (12,62 m = 500 m²), kuru centri sakrīt ar kokaudzes uzmērīšanas centriem (att. 16).



Attēls 16. Parauglaukuma principiālā shēma.

PL ierīkošana jāvērtē dabā pēc principiem:

- lai iet perpendikulāri grāvim (ja tāds ir), bet vienveidīgi izvietojot laipas, aploces;
- ja nav grāvis, tad pieņem vienu malu, pret kuru liek transektu;
- ja PL nav uz viena transekta, tad ierīko pēc trīsstūra principa – arī saglabājot dizainu.

Atrod PL centru.

Ierīko laipu, kur paredzēts likt aploces.

Laipa

Heterotrofā elpošana – CO₂ un CH₄

Katrā PL izvieto 3 aploces augsnē, kurā nodrošināti heterotrofī apstākļi – nav zemsedze, zemsega, apzāģētas saknes, ievietots ģeotekstils, lai nenotiktu sakņu augšana. Kopā objektā plānots izvietot 9 aploces.

Ar tumšajiem kambariem tiks mērīta CO₂ un CH₄ gāzu apmaiņa ar augsni (lai noteiktu vai augsne ir piesaistes vai emisiju avots un kāds ir piesaistes vai emisiju apjoms). Tumšo kambaru metodi jau iepriekš tikusi izmantota CO₂ un CH₄ pētījumos par augsni (Villa u.c., 2020; Zhu u.c., 2020). CO₂ tiks noteikts, izmantojot *Vaisala Oyj* gāzu analizatoru, temperatūras un mitruma sensoru, kas savienots ar tumšo kambari un datu analizatoru (Zhu u.c., 2020). Mērījuma ilgums 5 minūtes ar 5 sekunžu intervālu starp mērījumiem. CO₂/CH₄ mērījums veikts, izmantojot pārnēsājamu gāzu analizatoru (spektroskopu) *Picarro*, kas arī savienots ar tumšo kambari (Villa u.c., 2020). Mērījuma ilgums 5 minūtes ar 2 sekunžu intervālu.

Kopējā elpošana – CO₂, CH₄

Netraumējot veģētāciju, iespējž aploces (D=20 cm) līdzīgos attālumos (~30-40 cm) vienu no otra. Aploces noblīvē ar augsni gar malām, lai tie nekustas, nenotiek gāzu apmaiņa. Katrā PL izvieto 2/3 aploces – kopā objektā plānots izvietot 6/9 aploces.

CO₂/CH₄ mērījums kopējās elpošanas noteikšanai tiks veikts izmantojot pārnēsājamu gāzu analizatoru (spektroskopu) Picarro, kas arī savienots ar tumšo kambari (Villa u.c., 2020).

Gruntsūdens līmeņa noteikšana, paraugu ņemšana

Gruntsūdens akas ierīko – vienu paraugu ņemšanai, otru līmeņa mērīšanai.

Līmeņa akā plānots izvietot arī automātisku gruntsūdens līmeņa sensoru, lai spētu analizēt gruntsūdens svārstību ietekmi uz gāzu emisijām (*lag effect*). Kopā objektā plānots ierīkot 3 līmeņa un 3 paraugu ņemšanas akas.

Augsnes temperatūras mērīšana

Augsnes temperatūras mērījumiem, lai novērtētu, katrā PL ievietos augsnes temperatūras sensorus divos dziļumos (10 un 40 cm). Papildus katru reizi veicot mērījumus tiks nolasīta augsnes temperatūra un augsnes mitrums. Kopā objektā plānots izvietot 3 temperatūras stieņus.

Nobiru uztvērēji

Nobiru uztvērējus vietās, kur nav tieši zem koku vainagiem vai klajākās vietās. Katrā PL uzstāda 2 nobiru uztvērējus – kopā objektā uzstāda 6 uztvērējus. Uztvērējā visu veģētācijas sezonu tiks vāktas lapas, skujuas, sīkos zariņus, mizas gabalus un citas nobiras, kas nonāks uztvērējā.

Sūnu biomasas rāmji

Lai fiksētu sūnu biomasas produktivitāti, katrā PL tiks izvietoti 5 sūnu sieti, kuri nākamajā veģētācijas sezonā tiks ņemts biomasas pieaugums, lai noteiktu oglekļa bilanci sūnu biomasā. Izvietojot rāmjus tiks meklētas daudzveidīgas sūnu sugas, lai raksturotu dažādu sūnu biomasas veidošanos. Katrā objektā plānots izvietot 15 sūnu rāmjus.

Zemsedzes biomasas

Lai noteiktu zemsedzes biomasu un oglekļa uzkrāju, veģētācijas sezonas kulminācijā, tiks ievākti zemsedzes paraugi – gan virszemes, gan pazemes daļas. Laboratorijā plānots atdalīt pazemes biomasu (zemsedzes saknes) no koku saknēm un pēc tam noteikta biomasu. Katrā PL tiks iegūti 4 paraugi, objektā kopā plānots ievākt 12 paraugus.

Sīko sakņu biomasu

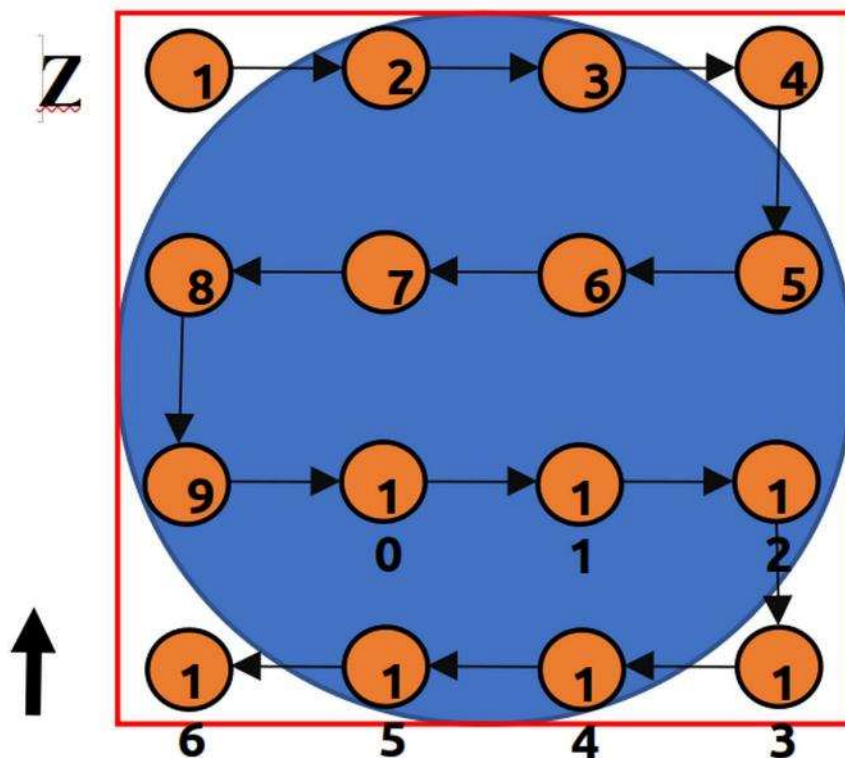
Lai novērtētu sīko sakņu biomasu un tās produktivitātes aprēķināšanai, četras reizes plānots ievākt sīko sakņu paraugus – pirms aktīvas veģētācijas sezonas sākuma – aprīlis/maijs; veģētācijas sezonas vidū – jūlijs/augusts; veģētācijas sezonas beigās – oktobris un cikla noslēgšanai pirms nākamās veģētācijas sezonas sākuma – aprīlis/maijs nākamajā gadā. Katrā PL plānots ievākt 10 paraugus (katrs paraugs sadalīts četros dziļumos – 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 cm). Kopā objektā plānots ievākt 30 paraugus četros dziļumos – kopā ap 120 biomasas paraugiem tālākai apstrādei laboratorijā. Laboratorijā plānots paraugus mazgāt, šķirot pa frakcijām (koku saknes – dzīvās un atmirušās, lakstaugi, krūmi), žāvēt un svērti.

Augsnes paraugi + zemsega

Paralēli gāzu monitoringam, veģetācijas sezonā plānots ievākt arī augsnes paraugus un zemsegas paraugus oglekļa uzkrājuma aprēķināšanai 5 dziļumos – 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 cm. Katrā PL plānots ievākt augsnes paraugus divos atkārtojumos, lai samazinātu kļūdu iespēju un palielinātu datu apjomu. Tāpat katrā augsnes paraugu ņemšanas vietā tiks ņemti zemsegas paraugi, kas tālāk LVMI Silava laboratorijā tiks izanalizēti, lai noteiktu oglekļa koncentrācijas un iegūtos datus varēs izmantot oglekļa uzkrājuma aprēķināšanā.

Lapu laukuma indekss

Lapu laukuma indekss ($m^2 \times m^{-2}$) ir augu asimilācijas virsmas laukuma attiecība pret kopējo veģetācijas noklāto laukuma vienību, kas netieši raksturo veģetācijas (šajā gadījumā koku) produktivitātes potenciālu un veselības stāvokli (Pokorný & Stojnič, 2012). Lai noteiktu fotosintētisko aktivitāti vecās bērza audzēs, tiks veikti lapu laukuma indeksa (LLI) mērījumi veģetācijas maksimuma laikā – jūlijā, augustā, izmantojot LI-COR mērierīci LAI-2200C. Katrā PL tiks ņemti 16 mērījuma punkti – 4 rindās 4 punkti, nokļājot visu PL platību (att. 17). Kontroles mērījumi tiks ņemti netālu kādā izcirtumā, klajumā.



Attēls 17. LLI mērīšanas shēma

Iegūtie mērījumi tiks integrēti FV2020 datorprogrammā un aprēķinātas LLI vidējās vērtības \pm standartkļūda katram parauglaukumam. Visas LLI vērtības pārrēķinātas, izslēdzot sensora ārējā gredzena mērījumus (53° un 68°), lai mazinātu kļūdas (lai nepārvērtētu LLI vērtības), kas varētu rasties blakusesošu izcirtumu, lielāku klajumu un stumbru dēļ (Pokorný & Stojnič, 2012).

1.8.2. Tradicionālo koksnes produktu dzīves cikla analīze

Pētījuma etapa ietvaros, saskaņā ar plānoto, novērtēts oglekļa uzkrājums pāraugušās (vecās) audzēs un tas, izmantojot citu pētījumu datus (ERAF130), salīdzināts ar uzkrājumu pieaugušās audzes.

Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektors (ZIZIMM) ir lielākā oglekļa krātuve (Ministry of Environmental Protection and Regional Development, 2020), un tam izvirzīti arī nozīmīgi uzkrājuma (piesaistes) palielināšanas mērķi nākotnē. Šobrīd mežaudžu, kas pārsniegušas briestaudzes vecumu, kā arī tādu mežu, kuros netiek veikta saimnieciskā darbība, kopējā platība pieaug un, iespējams, pieaugs arī nākotnē. Lēmumu pieņemšanai par šādām platībām nozīmīga arī informācija par oglekļa uzkrājumu tajās, turklāt ne tikai biomasā, bet arī koksnes produktos. Līdzšinējos pētījumos audzes ar minerālaugsnēm konstatēts, ka vecas mežaudzes ir nozīmīga oglekļa krātuve, taču ikgadējais oglekļa uzkrājums vai piesaiste tajos nav tik liels, kā briestaudzēs un pieaugušās audzēs (Kēniņa u.c., 2018, 2019; Molina-Valero u.c., 2021; Pukkala, 2017; Šēnhofa u.c., 2020). Tas jāņem vērā, plānojot mežsaimniecisko darbību, lai panāktu līdzsvaru starp bioekonomikas, ainavas un bioloģiskās daudzveidības nodrošināšanas mērķiem (Triviño u.c., 2017).

Meža nozares mērķi ir ilgtspējīga mežsaimniecība un koksnes ražošana (Parobek u.c., 2019). Latvijā koksne ir plaši izmantots atjaunojamais resurss, no koka tiek būvētas mājas, ražotas mēbeles, kā arī daudz un citi dažādi koksnes produktu veidi. Oglekļa uzkrājumam koksnes produktos ir tik pat nozīmīga ietekme klimata pārmaiņu mazināšanā, kā uzkrājumam koku biomasā, augsnē vai atmirušajā koksnē (Lundmark u.c., 2016; Pukkala, 2014, 2017). Oglekļa uzglabāšanās ilgumu noteiktos koksnes produktos ietekmē to izmantošanas veids (Pukkala, 2014). Šobrīd zinātnieki (Lundmark u.c., 2016; Pukkala, 2017) šī uzglabāšanās ilguma aprēķinam izmanto koeficientus no Row and Phelbs, 1990, kas publicēti Karjalainen u.c. (1994), taču, palielinoties koksnes izmantošanai būvniecībā, kā arī attīstoties pārstrādes, t.sk. atkārtotas izmantošanas, tehnoloģijām, ir iespējams papildzināt produkta "dzīves ciklu", izstrādājot jaunus koeficientus. Koksnes produkta dzīves ilguma analīzei šādiem aprēķiniem izmantojams ISO 14040:2006 standarts, kas apraksta dzīves cikla novērtēšanas principus un struktūru. Lai noteiktu dzīves cikla ilgumu, vienādojumā nepieciešams iekļaut šādus procesus un apmaiņas: izejmateriālu ieguve; ražošanas/ pārstrādes secība; transportēšana; ražošanas emisijas (elektrība un siltums); produkta lietošanas veids un nozīme; produkta kalpošanas un ražošanas laikā radušies atlikumi; produkta otrreizējā pārstrāde; palīgmateriālu ražošana; palīgmateriālu un iekārtu ekspluatācijas ilgums; papildus resursu izmantošana (gaisma, siltums) (ISO, 2006). Aprēķiniem nepieciešami šādi dati: enerģijas, izejvielu, palīgmateriālu un patēriņa daudzums; produkta daudzums un atlikumi; emisijas, izmaiņas ūdeņos un augsnē, kā arī citi vides aspekti (ISO, 2006). Trūkstot datiem, lai detalizēti raksturotu visus etapus katram no produktiem, konkrētajos apstākļos, izmantotā pieejam ir koeficientu pielāgošana atbilstoši saglabājušās gala produkta īpatsvaram noteiktā laikā (par kuru dati ir pieejami). Šāda pieeja izmantota mūsu pētījumā.

Oglekļa piesaisti koksnes produktos nosaka cilvēku izvēle gala produktu ražošanā (Pukkala, 2017). Lai palielinātu oglekļa piesaisti kokmateriālos, nav obligāti nepieciešams palielināt mežstrādes apjomu – rezultātu var sasniegt arī palielinot produktu ar ilgu dzīves ciklu īpatsvaru un/vai šo produktu vidējo izmantošanas laiku. Vienlīdz svarīgi oglekļa piesaistes paaugstināšanai ir bezatlikumu ražošana jeb atlikumu izmantošana pievienotās vērtības produktos, kas veicina ne tikai ekoloģiskos, bet arī ekonomiskos uzlabojumus, rosinot bioekonomikas attīstību (Curzon u.c., 2014; Parobek u.c., 2019). Piemēram, pārstrādājot apaļkoksni zāģētavā gala produktos tiek izmantoti tikai 43%, pārējiem 57% kļūstot par atlikumiem (skaidas), kas līdz šim pārstrādāti biokurināmajā (granulas, briketes), taču, šo materiālu varētu arī izmantot padziļinātā pārstrādē, iegūstot produktus ar ilgāku dzīves ciklu un/vai augstāku aizstāšanas efektu (Budzinski u.c., 2020). Arī koksnes otrreizējās pārstrādes rezultātā palielinās koksnes produktu dzīves cikls (ogleklis ilgāk paliek ieslēgts produktos un nenokļūst atpakaļ atmosfērā), kas veicina pozitīvus ietekmi uz klimata pārmaiņu mazināšanu (Budzinski u.c., 2020). Piemēram, koka māju nesošās konstrukcijas, kurām ir beidzies lietošanas termiņš, iespējams pārstrādāt otrreizējai izmantošanai kā apdares materiālu, plātnes (Churkina u.c., 2020). Jebkurš koksnes produkts, neatkarīgi no tā dzīves ilguma, nodrošina

aizstāšanas efektu t.i. izmantojot šo produktu, atmosfērā pēc ilgāka vai īsāka laika tiks atgriezts tikai konkrētā koka augšanas laika piesaistītais oglekļa daudzums, nevis papildus siltumnīcefektā gāzes, kā tas būtu, no fosilajiem resursiem ražotu produktu izmantošanas gadījumā. Atbilstoši pētījuma šī etapa uzdevumam veikta oglekļa uzkrājums pāraugušās (vecās) audzēs dažādās krātuvēs raksturošana, t.sk. koksnes produktos un aizstāšanas efektā, lai iegūtu datus pilnvērtīgai dažādu alternatīvu salīdzināšanai zemes izmantošanas mērķu definēšanai.

Metodika

Dati par vecām audzēm iegūti no iepriekšējiem pētījumiem (Ķēniņa u.c., 2018, 2019), savukārt par pieaugušām audzēm no cita pētījuma (ERAF130), saildzināšanai izmantojot meža statistiskās inventarizācijas (MSI) datus. Vidējais vecums vecām audzēm (egle, bērzs, apse un priede) ir 151 gads, bet pieaugušām – 77 gadi. Kopumā analizē iekļauti dati no 463 parauglaukumiem vecās audzēs un 397 parauglaukumiem pieaugušās audzēs.

Pētījumā analizēts oglekļa uzkrājums (*carbon stock*), tā ir oglekļa masa, kas uzkrāta oglekļa krātuvēs (*carbon pools*) – koku biomasā (*living tree biomass*) un koksnes produktos (*harvested wood products*). Papildus analizējot arī ekspozīcijas efektu (*substitution effect, replacement effect*).

Koku biomasas vienādojumi pieejami Liepiņš, Lazdiņš, u.c. (2017, 2021), savukārt metodika oglekļa uzkrājuma aprēķināšanai koku biomasā Ķēniņa u.c. (2018, 2019).

Oglekļa uzkrājums koksnes produktos aprēķināts izmanto sortimentu krāju un veidu. Sortimentu garums un caurmērs attēlots tab. 1.14.

Tabula 1.14. Sortimentu iznākums, to garums un caurmērs tievgalī

Sortimenti	Garums, m	Minimālais diametrs tievgalī, cm	Ar mizu (1), bez mizas (0)
Zāģbaļķi	3,1	≥18	0
Tara	3,1	≥14-18	0
Papīrmalka	3,1	≥6	0
Malka	3,0	≥3	1

Sortimentu iznākums aprēķināts saskaņā ar J. Doņa modificētajiem J. Ozoliņa (2002) vienādojumiem. Turpmākiem aprēķiniem izmantotas šādas sortimentu grupas (un no tām iegūstamo materiālu kategorijas, tab. 1.15): egles zāģbaļķi, egles papīrmalka, priedes zāģbaļķi, priedes papīrmalka, apses zāģbaļķi, apses papīrmalka, bērza zāģbaļķi un bērza papīrmalka. Procentuālā daļa koksnes produktu gala iznākumam aprēķināta no apaļkoksnes sausās masas.

Tabula 1.15. Procentuālā daļa gala produktu iznākumam zāģbaļķiem un papīrmalkai

Sortimenti	Zāģmateriāli	Mehāniskā masa	Ķīmiskā masa	Atlikumi (šķelda)
Egles zāģbaļķi	43	0	0	57

Sortimenti	Zāģmateriāli	Mehāniskā masa	Ķīmiskā masa	Atlikumi (šķelda)
Egles papīrmalka ⁵	0	76	8	16
Priedes zāģbaļķi	43	0	0	57
Priedes papīrmalka	0	0	46	54
Apses zāģbaļķi	30	0	0	70
Apses papīrmalka	0	0	0	100
Bērza zāģbaļķi	43	0	0	57
Bērza papīrmalka	0	0	46	54

Procentuālais gala produktu iznākums papīrmalkai izmantots no Pukkala (2017), jo Latvijā nav iespējama papīrmalkas ķīmiskā pārstrāde. Zāģbaļķi un malka tiek izmantota vietējā ražošanā ar šādiem gala rezultāta iznākumiem.

Oglekļa uzkrājuma izmaiņas laikā aprēķinātas saskaņā ar koksnes sadalīšanās koeficientiem no Row and Phelbs, 1990, kas publicēti Karjalainen u.c. (1994), izstrādes un ražošanas laikā radušās emisijas no Pukkala (2017), un ekspozīcijas efekts (koksnes produkti nodrošina emisiju aizstāšanu no fosilo materiālu ražošanas). Koksnes sadalīšanās aprēķināta pēc aptuveni viena aprites cikla: eglei un priedei ir 90 gadi, bērzam 65, bet apsei 40. Izmantotie koeficienti parādīti tab. 1.16.

Tabula 1.16. Vienādojumos izmantotie sadalīšanās pakāpes un aizstāšanas efekta koeficienti

Produkta kategorija	Sadalīšanās pakāpe (bāzes scenārijs) ⁶	Sadalīšanās pakāpe (optimāls scenārijs)	Aizstāšanas efekts (bāzes scenārijs) ⁷	Aizstāšanas efekts (optimāls scenārijs)
Zāģmateriāli	0,020	0,006	1,0	1,0
Mehāniskā masa	0,100	0,100	0,0	0,0
Ķīmiskā masa	0,100	0,100	0,0	0,0
Atlikumi (malka/šķelda)	0,300	0,300	0,8	2,8 ³⁸

Mēs izveidojām četrus scenārijus, lai raksturotu, kā zemes izmantošanas un koksnes pārstrādes veids ietekmē oglekļa uzkrājumu. 1. oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā vecās audzēs;

⁵ papīrmalkas sadalījums pa produktu grupām no Pukkala (2017)

⁶ no Row and Phelbs, 1990, vienādojumu parametri publicēti Karjalainen u.c. (1994)

⁷ no Lundmark u.c. (2016) un Pukkala (2017)

⁸ no Leskinen u.c. (2018)

2. oglekļa uzkrājums koku biomasā pieaugušās audzēs + oglekļa uzkrājums koksnes produktos pēc viena aprites cikla un ekspozīcijas efekts (bāzes scenārijs); 3. oglekļa uzkrājums koku biomasā pieaugušās audzēs + oglekļa uzkrājums koksnes produktos pēc viena aprites cikla un ekspozīcijas efekts, kur izmantoti koeficienti pieņemot, ka koksne tiks izmantota ilgtermiņā būvkonstrukcijas ar iespēju to atkārtoti pārstrādāt (optimāls); 4. oglekļa uzkrājums koku biomasā pieaugušās audzēs + oglekļa uzkrājums koksnes produktos (ilgāks koksnes sadalīšanās laiks) pēc viena aprites cikla un ekspozīcijas efekts, kur pieņemts, ka atlikumi (skaidas) no zāģētavām netiks izmantoti biokurināmā ražošanai, bet pārstrādāti audumu un citu šķiedru produktu ražošanai ar lielāku ekspozīcijas efekta koeficientu (rūpniecisks). Oglekļa uzkrājums apses koksnes produktos aprēķināts divos aprites ciklos. Raksturots arī oglekļa uzkrājums vecās jeb pāraugušās audzēs (tab. 1.17).

Tabula 1.17. Oglekļa uzkrājums koksnes produktos un ekspozīcijas efekts vecās un pieaugušās audzēs. Pēc viena aprites cikla (pieaugušās audzēs-skujkokiem 90 gadi, bērzam 65 gadi un apsei 40 gadi; vecās audzēs- skujkokiem 180, bērzam 130 un apsei 80)

Sortimenti	Egle				Bērzs			
	pieaugušās		pāraugušās		pieaugušās		pāraugušās	
	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana
Lietkoksne	5,28	54,26	-1,32	56,88	12,31	64,75	2,29	97,56
Papīrmalka	-6,74	6,93	-7,09	7,24	-3,6	13,58	-3,48	12,3
Malka	0,21	1,18	-0,25	1,39	-0,4	2,21	-0,35	1,93
Atlikumi (no zāģētavām)	-4,79	43,41	-4,34	45,51	-3,48	51,8	-7,12	78,05
Mežizstrādes atlikumi	-1,25	7,73	-1,47	8,33	-1,98	11,64	-2,47	15,17
Sortimenti	Apse				Priede			
	pieaugušās		pāraugušās		pieaugušās		pāraugušās	
	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana
Lietkoksne	19,38	42,22	13,10	250,78	7,34	76,56	-1,28	87,99
Papīrmalka	-5,06	13,88	-3,12	9,39	-2,25	9,35	-2,21	8,52

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

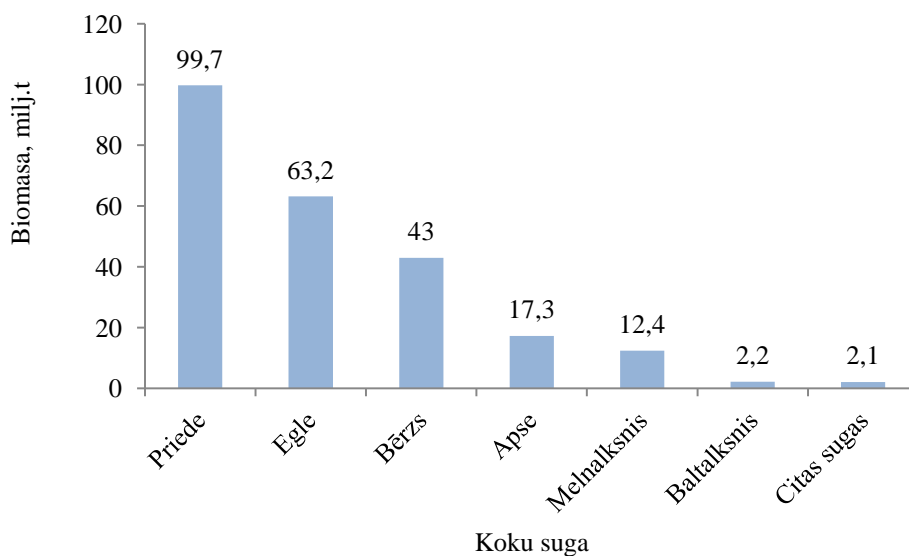
Sortimenti	Egle				Bērzs			
	pieaugušas		pāraugušas		pieaugušas		pāraugušas	
	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana	ogleklis koksnes produktos	aizvietošana
Malka	-0,94	2,71	-0,46	1,33	-0,26	1,58	-0,24	1,38
Atlikumi (no zāģētavām)	-3,86	33,78	-23,68	111,32	-4,17	61,25	-3,01	70,39
Mežizstrādes atlikumi	-3,06	8,33	-5,88	19,17	-1,89	11,6	-1,91	12,41

Datu analīzei izmantoti daudzfaktoru lineārā modeļu analīze programmā R 4.1.0, no paketes *lme4* (R Development Core Team, 2016). Mainīgie faktori (koku suga un audzes līmenis – veca vai pieaugusi audze) noteikti kā fiksēti.

2. SĀKOTNĒJIE REZULTĀTI UN DATU ANALĪZE

2.1. Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem

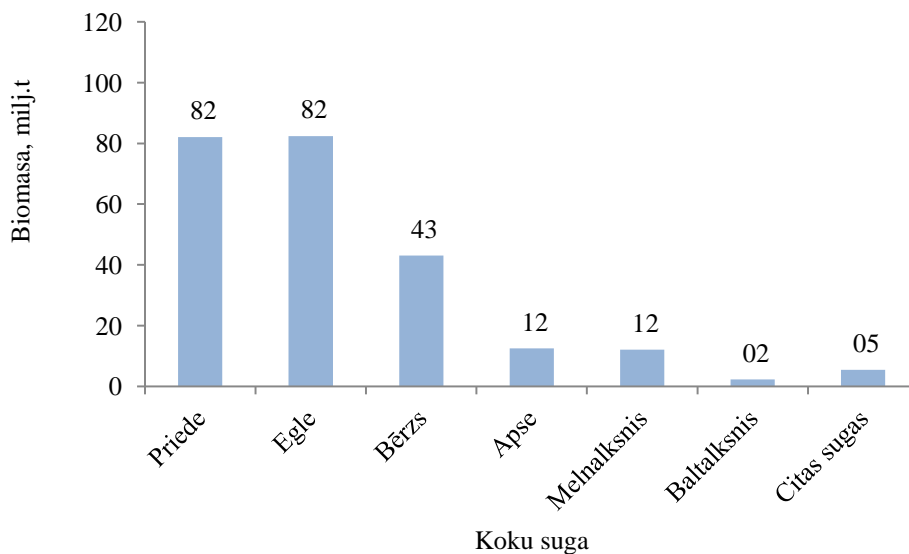
Atbilstoši MRM 2016.-2020. gadu datiem kopējā augošu koku biomasa LVM apsaimniekotajās teritorijās ir 239,9 milj. t (att. 18). Jāatzīmē, ka aprēķinos izmantoti visi MRM parauglaukumi, kuros aug koki un pieņemts, ka visi koki ir bez bojājumu pazīmēm. Reālajā situācijā mežaudzēs tomēr ir trupējuši un dobumaini koki, kas samazina to biomasu. Secināts, ka visvairāk biomasa uzkrāta skujkoku mežaudzēs, kurās dominējošās sugas ir priede (41,5%) un egle (26,3%). Tas skaidrojams ar to, ka priede un egle LVM teritorijās aizņem vislielākās meža platības. Pētījumā aprēķināts, ka lapkoku kokaudzēs ir akumulēts aptuveni 32,1% no kopējās biomasas, lielākā daļa, jeb 17,9% ir izvietots bērzu audzēs.



Attēls 18. Kokaudžu biomasa LVM apsaimniekotajās teritorijās dalījumā pa valdošajām koku sugām

Mistraudzēs dažādu koku sugu biomasas sadalījums var būtiski atšķirties, salīdzinot ar tīraudzēm. Analizējot LVM kokaudžu biomasas struktūru sadalījumā no visbiežāk sastopamajām koku sugām secināts, ka priedes un egles biomasas resursi ir gandrīz vienādi sadalīti pa abām iepriekšminētajām koku sugām (att. 19). Secināms, ka faktiskā egles biomasa ir par 19.3 milj.t lielāka nekā tā aprēķināta pēc egļu kokaudžu aizņemtās platības. Tas izskaidrojams ar to, ka egle bieži veido otro stāvu vai piemistrojumu audzēs, kur dominējošā suga pēc krājas datiem ir cita. Minētajā situācijā egles biomasa tiek pieskaitīta meža nogabalā dominējošai koku sugai. Aprēķinot biomasu pēc valdošās koku sugas krājas datiem, šo faktu aprēķinos iekļaut nav iespējams, ja vien netiek novērtēta katras koku sugas biomasa atsevišķi. Pētījuma nākošajā etapā novērtēsim aprēķinu nenoteiktību, pielietojot empīriskus faktoros, oglekļa uzkrājuma aprēķiniem atbilstoši valdošajai sugai.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 19. Biomases resursi sadalījumā pa koku sugām LVM apsaimniekotajās teritorijās

Lai meža ekosistēmā palielinātu oglekļa piesaisti, ir nepieciešamas precīzas zināšanas par dažādās biomasas frakcijās akumulēto oglekli, kā arī vajadzīga izpratne par faktoriem, kas šo uzkrājumu ietekmē. Līdz šim Latvijā nebija pietiekami daudz informācijas par oglekļa saturu saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām, lai augošu koku biomasu pārrēķinātu oglekļa vienībās. Tāpēc empīriski pētījumi, kas novērtē koksnes oglekļa saturu, bija nepieciešami, lai samazinātu mežaudžu oglekļa uzkrājumu aprēķinu nenoteiktību. Koka biomasas komponentes (stumbrs, zari, saknes, miza, u.tml.) galvenokārt sastāv no lignīna, celulozes un hemicelulozes un to proporcija dažādās koka frakcijās, kā arī dažādām koku sugās ir atšķirīga, kas arī pamatā izskaidro oglekļa satura izmaiņas. Oglekļa saturu galvenokārt nosaka lignīna un celulozes īpatsvars koksnē, jo lignīns satur proporcionāli visvairāk oglekļa (60-72%), turpretī celulozē (44%) un hemicelulozē (28 – 30%) oglekļa saturs ir ievērojami mazāks (Martin, Doraisami, & Thomas, 2018).

Pētījuma rezultāti apstiprināja, ka oglekļa saturs dažādās koka daļās būtiski atšķiras gan vienas koku sugas ietvaros, gan arī starp pētītajām koku sugām (tab. 2.1). No Latvijā saimnieciski nozīmīgākajām koku sugām, vislielākais oglekļa saturs kopējā biomasā ir skujkoku sugām priedei un eglei, kamēr lapkokiem, īpaši apsei, tas ir nedaudz mazāks. Izmantojot MRM datus, noskaidrots, ka SEG ziņojumu sastādīšanas vadlīniju (IPCC, 2006) rekomendēto oglekļa satura vērtību izmantošana, samazina Latvijas mežaudžu oglekļa uzkrājumu apmēram par 5,1%.

Tabula 2.1. Oglekļa saturs saimnieciski nozīmīgāko koku sugu biomasā⁹

Koka frakcija	Vērtības	Vidējais svērtais C saturs, g kg ⁻¹			
		Egļe	Priede	Bērzs	Apse
Virszemes biomasā	vidēji ± S.E.	524,4 ± 1,4 ^a	530,4 ± 1,3 ^b	520,6 ± 1,4 ^c	510,2 ± 1,3 ^d
	min.-maks.	483,9-551,7	467,2-562,9	487,8-559,7	480,9-534,6
Celma un sakņu biomasā	vidēji ± S.E.	529,9 ± 2,6 ^a	531,5 ± 2,4 ^a	527,9 ± 1,7 ^a	507,4 ± 2,1 ^b

⁹ Vidējais svērtais oglekļa (C) saturs aprēķināts ņemot vērā katras koka frakcijas biomasas īpatsvaru kopējā biomasā. Dažādi burti norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām (p < 0,05).

Koka frakcija	Vērtības	Vidējais svērtais C saturs, g kg ⁻¹			
		Egle	Priede	Bērzs	Apse
	min.-maks.	497,2-559,3	486,5-567,0	502,9-549,6	482,1-531,9
Kopējā biomasa	vidēji ± S.E.	526,5 ± 2,3 ^a	533,2 ± 1,6 ^b	521,4 ± 1,5 ^c	509,0 ± 1,6 ^d
	min.-maks.	489,8-546,2	502,1-554,7	501,3-550,5	490,0-527,4

Ne vienmēr ilgtermiņa plānošanā un kokaudžu oglekļa uzkrājumu prognozēšanā ir iespējams izmantot individuālu koku sugu specifiskās oglekļa satura vērtības. Tāpēc pētījumā, ņemot vērā citu koku sugu biomasas piemistrojumu priedes, egles, bērza un apšu audzēs, izstrādātas vidējās svērtās oglekļa satura vērtības, kas piemērotas kokaudžu oglekļa uzkrājuma aprēķiniem (tab. 2.2). Rezultāti apstiprināja, ka piemistrojuma sugu ietekme uz vidējo svērto oglekļa satura vērtību ir niecīga – starp pētītajām koku sugām un šo sugu dominētajām mežaudzēm vidējā svērtā oglekļa satura vērtību atšķirība bija vien 0,01% bērzam, 0,2% eglei, priedei 0,4% un apsei 0,7%.

Tabula 2.2. Oglekļa saturs biomasā saimnieciski nozīmīgāko koku sugu dominējošās audzēs

Koka frakcija	Vērtības	Vidējais svērtais kokaudžu C saturs ¹⁰ , g kg ⁻¹			
		Egles audzes	Priedes audzes	Bērza audzes	Apes audzes
Virszemes biomasa	vidēji ± S.E	523,8 ± 0,1	528,8 ± 0,1	520,6 ± 0,1	513,2 ± 0,1
	min.-maks.	518,2-527,3	518,4-530,4	514,8-526,1	510,2-522,0
Celma un sakņu biomasa	vidēji ± S.E	523,7 ± 0,1	528,6 ± 0,1	520,5 ± 0,1	513,4 ± 0,1
	min.-maks.	516,6-527,0	517,2-530,4	513,1-525,9	510,2-522,2
Kopējā biomasa	vidēji ± S.E	525,6 ± 0,1	531,3 ± 0,1	521,4 ± 0,1	512,7 ± 0,1
	min.-maks.	518,7-529,6	518,4-533,2	513,9-527,9	509,0-523,4

2.2. SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana

Rezultāti analizēti dažādās detalizācijas pakāpēs. Universālais lineārās regresijas modelis izstrādāts balstoties uz visiem pieejamajiem datiem, kas attiecīgi nozīmē 4570 datu punktus, ja izmantoti visi MRM parauglaukumi, savukārt 1147 datu punktus, ja izmantoti MRM parauglaukumi ar precizētām koordinātām. Tab. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.** atainots MRM parauglaukumu skaits pa MRM uzmērīšanas gadiem un attiecīgo parauglaukumu uzmērīšana ar aerofotogrāfēšanu.

Tabula 2.3. MRM parauglaukumu skaits pa MRM uzmērīšanas gadiem un LiDAR skenēšanas gadiem

Gads	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2013	32	36	28	28	34	0	0	0	0	0

¹⁰ Vidējais svērtais kokaudžu oglekļa (C) saturs aprēķināts ņemot vērā piemistrojuma sugu proporcionālo biomasas īpatsvaru pēc MRM datiem.

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

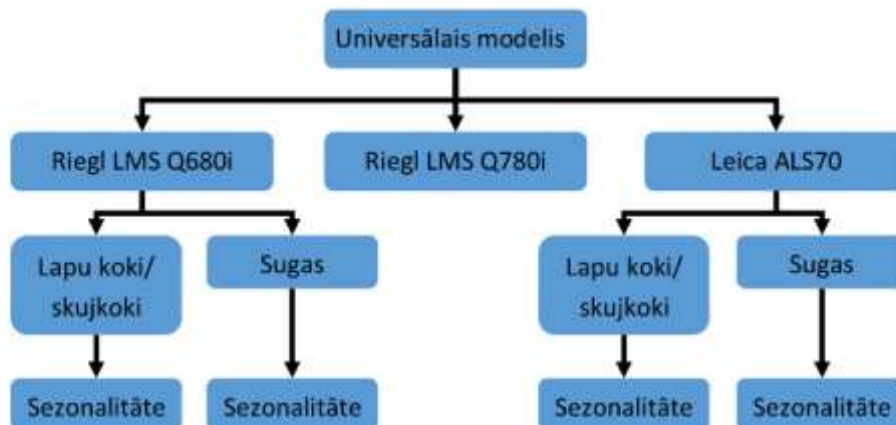
Gads	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2014	0	72	70	67	72	77	0	0	0	0
2015	0	0	99	110	138	101	132	0	0	0
2016	0	0	0	271	295	299	274	265	0	0
2017	0	0	0	0	120	131	117	106	93	0
2018	0	0	0	0	0	142	114	125	122	107
2019	0	0	0	0	0	0	233	243	205	212

Koku sugu sadalījums pa parauglaukumiem atainots tab. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots..** Visplašāk pārstāvētās koku sugas ir bērzs un priede, kam seko egle. Apse, baltalksnis un melnalksnis pārstāvēti mazāk.

Tabula 2.4. MRM parauglaukumu skaits ar konkrētu dominējošo sugu

Nr.	Suga	Skaits
1.	<i>Alnus glutinosa</i>	269
2.	<i>Alnus incana</i>	342
3.	<i>Betula pendula Roth</i>	1268
4.	<i>Picea abies</i>	893
5.	<i>Pinus sylvestris L.</i>	1433
6.	<i>Populus tremula L.</i>	365

Lai iegūtu detalizētākus rezultātus, atsevišķi analizēti dati, kas iegūti, izmantojot dažādus skenerus. Individuālo skeneru dati tālāk analizēti skuju koku vai lapu koku līmenī un atsevišķu sugu līmenī. Detalizētāk analizēta arī sezonālitate skuju koku un lapu koku, kā arī sugu līmenī (att. 20).



Attēls 20. Modeļu shēma

Katram izstrādātajam lineārajam modelim izstrādāti grafiki, kuri atspoguļo lineārā modeļa parametrus (modeļa datu apjoms, regresijas koeficients, taisnes slīpums un *intercept* vērtība) un modeļa validācijas koeficientus (RMSE (*root-mean-square error*) un MAR (*mean average error*)), kā arī normālais kvantiļu grafiks, kurš norāda uz datu normalizētā sadalījuma līmeni. Šajā nodaļā detālāk apskatīti atsevišķi modeļi, detalizēti grafiki un statistiskā informācija atrodama pielikumā. Katram augstākas klases modelim veikta zemākas klases parametru salīdzināšana, lai novērtētu atšķirības starp klasēm. Piemēram – universālajam modelim novērtētas savstarpējās atšķirības starp dažādiem skeneriem. Novērtēta arī laika atšķirības starp MRM mērījumiem un lāzerskenēšanas ietekme.

2.2.1. Universālais modelis

Universālais mežaudžu augstuma modelis balstās uz 1147 MRM parauglaukumu datiem, kuru sadalījums pa gadiem atainots tab. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.** Tā kā šim modelim augstākais determinācijas koeficients ir parauglaukumiem, kuri ir ar precīzām koordinātām, tad iztrūkst datu par MRM cikla 3; 4. un 5. gadu. Iztrūkstošajiem MRM gadiem koordinātu precizēšana notiks līdz 2023. gadam.

Tabula 2.5. MRM parauglaukumu skaits pa MRM uzmērīšanas gadiem un LiDAR skenēšanas gadiem

Gads	2013	2014	2018	2019
2013	25	24	0	0
2014	61	45	0	0
2015	87	79	0	0
2016	0	263	235	0
2017	0	0	99	82

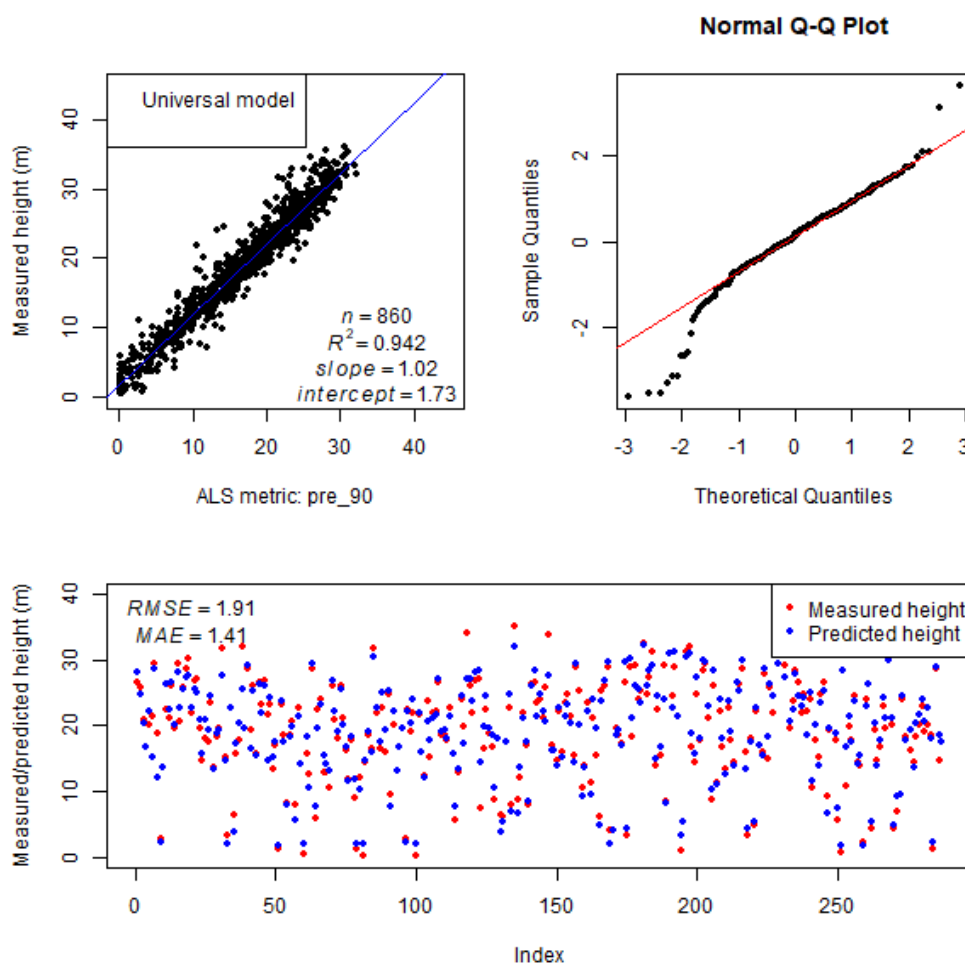
Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Gads	2013	2014	2018	2019
2018	0	0	66	39
2019	0	0	25	17

Universālais modelis labāko regresijas koeficientu uzrāda pie precīzi uzņēmīto MRM parauglaukumu 90-ās augstuma percentiles (tab. **Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.**). Determinācijas koeficients ir augsts – 0,942. Validācijas rezultāti norāda, ka mežaudzes augstums nosakāms ar vidēji 1,41 m kļūdu. Kvantiļu grafiks parāda, ka absolūts vairākums no punktiem atbilst normālajam sadalījumam (att. 21).

Tabula 2.6. Universālais mežaudzes augstuma modelis

Modelis	Percentile	R²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Universālais modelis	Pre_90	0,942	1,02	1,73,	1,91	1,41



Attēls 21. Universālais modelis

Salīdzinot dažādu aerolāzerskeneru atšķirības universālā mežaudžu augstuma modeļa ietvaros, nav novērojamas statistiski būtiskas atšķirības ($P > 0,05$). Turpretī atšķirības laika starpībā starp MRM un LiDAR uzmērījumiem un skuju kokiem un lapu kokiem ir statistiski būtiskas ($P = 1,82e-05$).

2.2.2. Sadalījums pa atsevišķiem aerolāzerskeneriem

Sadalot datu kopu pa individuāliem aerolāzerskeneriem, ir novērojamas nelielas atšķirības starp mežaudžu augstuma modeļu determinācijas koeficientiem. Lai gan ar Riegl LMS Q780i aerolāzerskeneri iegūts vismazāk datu, tas uzrāda vislabākos rezultātus (tab. 2.7). To varētu skaidrot ar lielāku iekārtas precizitāti. Arī Leica ALS70 aerolāzerskenera sniegums, salīdzinot ar universālo modeli, ir labāks (R^2 vērtības attiecīgi 0.95 un 0.942), lai gan RMSE un MAS vērtības ir nedaudz lielākas. Pie liela datu apjoma, precīzākie modeļi joprojām ir tie, kuri sagatavoti izmantojot MRM parauglaukumus ar precizētajām koordinātām. Izstrādātie modeļu grafiki skatāmi 3. pielikumā. Leica ALS70 modelim QQ grafikā gandrīz visi validācijas punkti izvietoti uz ass, kas norāda uz datu normālo sadalījumu, kamēr Riegl LMS Q680i modelim ir novērojama neliela ekstrēmo vērtību ietekme uz validācijas rezultātiem.

Tabula 2.7. Mežaudžu augstuma modeļi pa dažādiem aerolāzerskeneriem

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Universālais modelis	Pre_90	0,942	1,02	1,73	1,91	1,41
Riegl LMS Q780i	Allm_90	0,952	1,11	-0,694	1,68	1,29
Riegl LMS Q680i	Pre_90	0,939	1,01	1,91	2,13	1,5
Leica ALS70	Pre_90	0,95	1,04	1,34	1,95	1,47

Salīdzinot dažādu sugu un laika atšķirību starp mērījumiem ietekmi Riegl LMS Q780i dātos, vienīgā statistiski būtiskā atšķirība ir starp veģetācijas sezonām, tomēr datu kopa ir pārāk neliela, lai katra no grupām būtu pārstāvēta ar pietiekamu daudzumu datu un tāpēc secinājumus izdarīt nevar. Riegl LMS Q680i un Leica ALS70 modeļiem datu kopas ir lielākas un abiem ir novērojama statistiski būtiska atšķirība starp lapu kokiem un skuju kokiem (attiecīgi $P = 0,0186$ un $0,0273$).

2.2.3. Salīdzinājums skuju kokiem un lapu kokiem

Savā starpā salīdzinot uz Riegl LMS Q680i aerolāzerskenera veidoto mežaudžu modeli ar modeļiem, kas veidoti sadalot šo datu kopu pa skuju kokiem un lapu kokiem, var redzēt R² vērtības pieaugumu skuju koku mežaudžu augstuma noteikšanā. Determinācijas koeficienta vērtība pieaug no 0.939 līdz 0.955, savukārt lapu koku segmentā tā nedaudz samazinās un ir 0.925. Skuju koku modeļa gadījumā palielinās arī RMSE un MAE vērtības, kamēr lapu koku gadījumā – samazinās.

Savukārt, salīdzinot Leica ALS70 aerolāzerskenera sniegumu redzams, ka determinācijas koeficienta vērtības, modeli sadalot skuju koku un lapu koku segmentos, nedaudz samazinās, attiecīgi no 0,95 uz 0,945 skuju kokiem un 0,946 lapu kokiem. Validācijas rezultāti nedaudz uzlabojas un prognozētās vērtības ir precīzākas.

Izstrādātie modeļu grafiki skatāmi 3. pielikumā att. 5, 6, 7 un 8. Novērtējot modeļu validācijas kvalitāti QQ grafikos, redzams, ka abu Leica ALS70 aerolāzerskenera versiju un Riegl LMS Q680i skuju koku versijas punkti atrodas tuvu asij, kamēr Riegl LMS Q680i lapu koku versijas dati satur arī ekstrēmās vērtības.

Tabula 2.8. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa skuju kokiem/ lapu kokiem

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Riegl LMS Q680i	Pre_90	0,939	1,01	1,91	2,13	1,5
Riegl LMS Q680i skuju koki	Prem_90	0,955	1,05	0,071	1,49	1,12
Riegl LMS Q680i lapu koki	Pre_90	0,925	1,01	2,09	2,35	1,65

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Leica ALS70	Pre_90	0,95	1,04	1,34	1,95	1,47
Leica ALS70 skuju koki	Pre_95	0,945	1,02	0,309	1,78	1,25
Leica ALS70 lapu koki	Pre_95	0,946	1,03	0,628	1,82	1,46

Salīdzinot dažādu sugu un veģetācijas sezonu atšķirības modeļu iekšienē, novērojams, ka skuju koku modeļos, gan Leica ALS70, gan Riegl LMS Q600i gadījumā, būtiskas atšķirības nav novērojamas ne sugu, ne sezonu līmenī. Savukārt, lapu koku modeļu gadījumā ir novērojamas būtiskas atšķirības starp modeļu veikspēju dažādu veģetācijas sezonu griezumā un Riegl LMS Q680i gadījumā arī dažādu sugu līmenī.

2.2.4. Salīdzinājums pa dažādām sugām

Mežaudžu augstuma modeļu salīdzinājums pa dažādām sugām atainots tab. 2.9. Sadalot Riegl LMS Q680 modeļa datu kopu grupās pa atsevišķām sugām, redzams modeļa veikspējas uzlabojums audzēs, kur dominējošās koku sugas ir priede, egle un bērzs. Determinācijas koeficients palielinās no 0.939 uz, attiecīgi, 0.972, 0.943 un 0.941. Arī validācijas rezultātos RMSE rādītājs samazinās un QQ grafikos novērojamas salīdzinoši maz ekstremālās vērtības (3. pielikuma att. 15, 16 un 17).

Skaitliskā ziņā mazāk pārstāvētajām sugām - melnalksnim, apsei un baltalksnim - mežaudzes augstuma modeļa determinācijas koeficienti Riegl LMS Q6801 aerolāzerskenera gadījumā ir nedaudz mazāki, nekā kopumā visu sugu līmenī, attiecīgi, 0.909, 0.937 un 0.925 un arī RMSE vērtība validācijas datu kopā ir augstāka (3. pielikuma att. 18, 19 un 20).

Leica ALS70 aerolāzerskenera gadījumā individuālo koku sugu mežaudžu augstuma modeļi augstāku determinācijas koeficientu uzrāda vienīgi bērza gadījumā (0.961 pret 0.95), priedei un eglei tas ir nedaudz zemāks (attiecīgi 0,947 un 0,945), savukārt, melnalksnim, apsei un baltalksnim determinācijas koeficienti ievērojami samazinās, lai gan joprojām ir pietiekami augsti (attiecīgi 0,907, 0,907 un 0,845). Validācijas kvalitāte uzlabojas priedes un melnalkšņa modeļiem, savukārt samazinās egles, bērza, apses un baltalkšņa modeļiem (3. pielikuma att. 9, 10, 11, 12, 13 un 14).

Tabula 2.9. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa dažādām sugām

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Riegl LMS Q680i Priede	Pre_95	0,972	1,04	0,12	1,27	0,931
Riegl LMS Q680i Egle	Prem_90	0,943	1,01	0,56	1,83	1,56
Riegl LMS Q680i Bērzs	Pre_95	0,941	0,971	1,43	1,7	1,35
Riegl LMS Q680i Melnalksnis	All_90	0,909	0,953	2,72	2,6	1,88
Riegl LMS Q680i Apse	Pre_90	0,937	1,05	3,51	2,96	2,44
Riegl LMS Q680i Baltalksnis	Pre_90	0,925	0,861	3,35	2,52	1,97

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Leica ALS70 Priede	Pre_95	0,947	1,02	0,404	1,43	1,02
Leica ALS70 Egle	Pre_90	0,945	1,02	1,54	2,33	1,55
Leica ALS70 Bērzs	Pre_95	0,961	1,03	0,768	2,16	1,68
Leica ALS70 Melnalksnis	Allm_80	0,907	1,04	1,46	1,73	1,43
Leica ALS70 Apse	Allm_90	0,907	1,11	0,394	2,5	1,92
Leica ALS70 Baltalksnis	All_90	0,845	1,01	0,788	2,55	1,97

Statistiski būtiska sezonālā ietekme individuālu sugu mežaudžu augstuma modeļu parametrus ietekmē melnalksnim un bērzam (Riegl LMS Q680i gadījumā), savukārt eglei, apsei Leica ALS70 gadījumā. Mežaudžu augstuma modeļi šajā pakāpē melnalksnim, apsei un baltalksnim veidoti ar samērā mazu MRM parauglūkumu skaitu, tāpēc ticama sezonālā ietekme uz modeļu darbību var netikt novērota.

2.2.5. Salīdzinājums pa skuju kokiem un lapu kokiem atkarībā no sezonas

Mežaudžu augstuma modeļu salīdzinājums pa skuju kokiem un lapu kokiem ar sezonālo ietekmi atainots tab. 2.10. Ir redzams, ka modeļi, kas veidoti no datiem, kuri ievākti ar Riegl LMS Q680i aerolāzerskeneri no pavasara līdz rudenim ir ar augstāku determinācijas koeficienta vērtību nekā iepriekš apskatītais modelis bez sezonālās ietekmes, tomēr validācijas vērtības RMSE un MAE ir zemākas. Modeļiem, kuri balstīti uz Leica ALS70 datiem, labākas R² vērtības ir bezlapu periodā un starpsezonā, kamēr lapu periodā, šis koeficients ir ievērojami mazāks (0,908 pret 0,945). Uz validācijas paraugkopas labākos rādītājus uzrāda tieši lapu periodā un starpsezonā ievāktie dati.

Lapu koku modeļu uzrādītie rezultāti pa sezonām atšķiras būtiskāk. Riegl LMS Q6801 aerolāzerskenera R² vērtības ir robežās no 0,894 līdz 0,922, kamēr Leica LMS70 aerolāzerskenera datos balstītajiem modeļiem robežās no 0,86 līdz 0,939. Visos izveidotajos lapu koku sezonālajos modeļos determinācijas koeficienta vērtības ir zemākas, kā iepriekš apskatītajos lapu koku modeļos.

Tabula 2.10. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa skuju kokiem/ lapu kokiem ar sezonālo ietekmi

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Riegl LMS Q680i skuju koki bezlapu periods	Prem_90	0,947	1,06	0,211	1,33	1,13
Riegl LMS Q680i skuju koki lapu periods	Pre_90	0,968	0,998	1,46	2,05	1,5
Riegl LMS Q680i skuju koki starpstāvoklis	All_90	0,957	1,03	1,04	1,71	1,29
Riegl LMS Q680i lapu koki bezlapu periods	Pre_90	0,905	0,999	3,03	2,68	2,19

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Riegl LMS Q680i lapu koki lapu periods	Pre_99	0,894	0,961	-0,637	2	1,44
Riegl LMS Q680i lapu koki starpstāvoklis	Pre_95	0,922	1	1,18	2,01	1,51
Leica ALS70 skuju koki bezlapu periods	All_95	0,961	1,05	-0,501	2,17	1,56
Leica ALS70 skuju koki lapu periods	Pre_95	0,908	1,03	0,026	1,68	1,29
Leica ALS70 skuju koki starpstāvoklis	Pre_95	0,956	0,994	0,871	2	1,16
Leica ALS70 lapu koki bezlapu periods	Allm_90	0,86	1,12	-1,31	2,33	1,78
Leica ALS70 lapu koki lapu periods	Pre_95	0,933	1,11	-0,763	1,82	1,6
Leica ALS70 lapu koki starpstāvoklis	Pre_95	0,939	0,984	1,41	1,47	1,07

Riegl LMS Q680i aerolāzerskenera datus balstītie sezonālie skuju koku modeļi neuzrāda būtiskas atšķirības starp priedes un egles datu kopām nevienā no sezonām, lai gan pietiekami liela datu kopa ticamai atšķirību novērtēšanai ir pieejama vienīgi starpsezonas datiem. Arī lapu koku modeļiem pietiekami lielā datu kopa ir vienīgi starpsezonā un šajā gadījumā ir novērojama būtiska atšķirība dažādu sugu ietekmei.

Arī Leica aerolāzerskenera modeļos skuju koku sugu ietekme nav būtiska, kamēr lapu koku kontekstā starp dažām sugām ir novērojamas statistiski būtiskas atšķirības bezlapu periodā un starpsezonā. Modeļa un validācijas grafiki pievienoti 3. pielikumā att. 21-32.

2.2.6. Salīdzinājums pa dažādām sugām sezonāli

Mežaudžu augstuma modeļu salīdzinājums pa koku sugām ar sezonālo ietekmi atainots tab. 2.11. Priežu mežaudzēm, kuras skenētas ar Riegl LMS Q680i aerolāzerskeneri, visās sezonās R² vērtība ir ļoti liela (0,971-0,973), kas būtiski neatšķiras no modeļa, kurš neņem vērā sezonālo ietekmi (0,972), kamēr validācijas kvalitāte nedaudz samazinās. Leica ALS70 aerolāzerskenera gadījumā izstrādāto modeļu R² vērtības ir robežās no 0,941 – 0,954, kas arī ir līdzīgas modelim, kurš neņem vērā sezonālo ietekmi (0,947) un arī validācijas koeficienti ir līdzīgi.

Egļu mežaudzēs situācija ar Riegl LMS Q680i datiem sezonāli ir atšķirīgāka. Kamēr lapu periodā un starpstāvoklī R² vērtības ir ļoti augstas (attiecīgi 0,943 un 0,933), bezlapu periodā tā ir zemāka – 0.863. Tas, iespējams, skaidrojams ar lapu koku sugu piejaukumu mežaudzēs, kurās dominējošā suga ir egle. Validācijas koeficienti, salīdzinot ar egļu mežaudžu modeli, kurš netika dalīts sezonāli, labākus rezultātus uzrāda vienīgi starpstāvoklī starp lapu un bezlapu periodu, kamēr pārējos gadījumos ir nedaudz sliktāki. Leica ALS 70 aerolāzerskenera gadījumā pietiekams datu daudzums modeļu izstrādei pieejams vienīgi lapu periodā un starpsezonā un abu modeļu rādītāji ir

salīdzinoši augsti (R^2 vērtības > 0.935) tomēr tās ir zemākas nekā sezonās nedalītajam modelim. Savukārt, validācijas kvalitāte labāka ir starpstāvoklī ievāktajiem datiem.

Mežaudzēs, kurās dominējošā koku suga ir bērzs Riegl LMS Q6801 aerolāzerskenera sezonu modeļi labākus rezultātus uzrāda starpsezonā un lapu periodā ($R^2 > 0,92$), tomēr vienīgi lapu periodā rezultāts ir labāks par nedalīto bērzu modeli (attiecīgi, 0,951 un 0,941). Arī Leica ALS70 datos bāzētie modeļi nesliktākos rezultātus uzrāda bezlapu periodā, kas skaidrojams ar LiDAR grūtībām, stariem atstarojoties pret kailiem koku zariem ($R^2 = 0,894$). Starpsezonā un lapu periodā modeļu veikspēja krietni uzlabojas un R^2 vērtības pārsniedz 0,93 vērtību.

Parauglaukumos, kuros dominējošā koku suga ir melnalksnis, pietiekams daudzums datu, lai izstrādātu mežaudžu augstuma modeļus ir vienīgi starpsezonā. R^2 vērtība Riegl LMS Q680i aerolāzerskanera datos bāzētajam modelim ir 0,907, savukārt Leica ALS70 datos – 0,918. Šīs vērtības ir tuvas melnalkšņu modeļiem, kuri netika dalīti sezonās, tomēr abos gadījumos validācijas rezultātu uzrāda augstvērtīgākus RMSE koeficientus, tāpēc uzlabojums ir novērojams.

Parauglaukumos, kuros dominējošā koku suga ir apse, Riegl LMS Q680i datos bāzētie modeļi augstvērtīgus rezultātus uzrāda visās sezonās, bet lapu periodā rezultāti ir ļoti labi (R^2 vērtība 0,962), kas ir būtiski augstāka par sezonās nedalīto modeli. Validācijas datos, RMSE vērtība visos gadījumos pārsniedz 2.8 un MAE vērtība ir līdz robežās līdz 2,5, kas norāda uz samērā lielu variāciju koku augstuma prognozēs. Leica ALS70 datos bāzētajiem modeļiem datu kopas apjoms pietiek vienīgi starpsezonā uzmērītajām audzēm un R^2 vērtība sasniedz 0,965, kas ir būtiski augstāk kā sezonās nedalītajam modelim (0,907).

Parauglaukumos, kuros dominējošā koku suga ir baltalksnis, Riegl LMS Q680i aerolāzerskenera datos balstītie modeļi labākos rezultātus uzrāda lapu periodā ($R^2 = 0,962$). Kamēr pārējā laikā determinācijas koeficienta vērtības ir robežās no 0,867 līdz 0,893. Tādējādi lapu periodā ir novērojams būtisks determinācijas koeficienta uzlabojums, salīdzinot ar sezonās nedalīto modeli (0,925). Leica aerolāzerskenera datos pietiekams parauglaukumu skaits modeļa izstrādei ir vienīgi starpsezonā un R^2 vērtība sasniedz 0,899, kas ir augstāka kā sezonās nedalītajam modelim (0,845). Visu modeļu grafiki un validācijas kvalitāte apstatāma 3. pielikumā att. 33-59.

Tabula 2.11. Mežaudžu augstuma modeļi dalījumā pa sugām ar sezonālo ietekmi

Modelis	Percentile	R^2	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Riegl LMS Q680i Priede bezlapu periods	All_90	0,971	1,06	0,838	2,13	1,56
Riegl LMS Q680i Priede lapu periods	All_95	0,973	1,05	-0,408	1,45	1,17
Riegl LMS Q680i Priede starpstāvoklis	All_95	0,972	1,03	-0,006	1,51	1,16
Riegl LMS Q680i Egle bezlapu periods	All_90	0,863	1,06	0,968	2,36	1,73
Riegl LMS Q680i Egle lapu periods	All_80	0,943	1,12	0,943	2,74	1,91
Riegl LMS Q680i Egle starpstāvoklis	Prem_90	0,933	0,994	1,03	1,62	1,28
Riegl LMS Q680i Bērzs bezlapu periods	All_95	0,867	1,03	0,7	3,85	2,41

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Riegl LMS Q680i Bērzs lapu periods	All_95	0,921	1,03	0,228	2,09	1,62
Riegl LMS Q680i Bērzs starpstāvoklis	Pre_95	0,951	0,995	1,11	1,62	1,37
Riegl LMS Q680i Melnalksnis bezlapu periods	-	-	-	-	-	-
Riegl LMS Q680i Melnalksnis lapu periods	-	-	-	-	-	-
Riegl LMS Q680i Melnalksnis starpstāvoklis	All_90	0,907	0,908	3,54	1,99	1,44
Riegl LMS Q680i Apse bezlapu periods	All_90	0,92	1,07	3,63	3,33	2,52
Riegl LMS Q680i Apse lapu periods	Allm_90	0,962	1,19	-1,32	2,86	2,12
Riegl LMS Q680i Apse starpstāvoklis	All_95	0,926	1,05	1,38	2,82	1,97
Riegl LMS Q680i Baltalksnis bezlapu periods	All_90	0,867	0,996	1,64	3,82	2,95
Riegl LMS Q680i Baltalksnis lapu periods	All_80	0,962	1,12	0,639	2,55	2,07
Riegl LMS Q680i Baltalksnis starpstāvoklis	Pre_90	0,893	0,896	2,8	1,41	1,13
Leica ALS70 Priede bezlapu periods	Allm_99	0,941	1,02	-1,94	1,57	1,1
Leica ALS70 Priede lapu periods	Pre_95	0,954	1,04	0,107	1,4	1,07
Leica ALS70 Priede starpstāvoklis	Pre_95	0,944	1,01	0,467	1,49	1,14
Leica ALS70 Egle bezlapu periods	-	-	-	-	-	-
Leica ALS70 Egle lapu periods	All_80	0,944	1,06	2,61	2,15	1,63
Leica ALS70 Egle starpstāvoklis	Pre_95	0,935	0,955	1,41	1,18	1,02
Leica ALS70 Bērzs bezlapu periods	All_95	0,894	1,1	0,399	2,25	2
Leica ALS70 Bērzs lapu periods	All_90	0,937	1,09	0,927	2,14	1,49
Leica ALS70 Bērzs starpstāvoklis	Pre_95	0,967	0,99	1,18	1,77	1,54
Leica ALS70 Melnalksnis bezlapu periods	-	-	-	-	-	-
Leica ALS70 Melnalksnis lapu periods	-	-	-	-	-	-

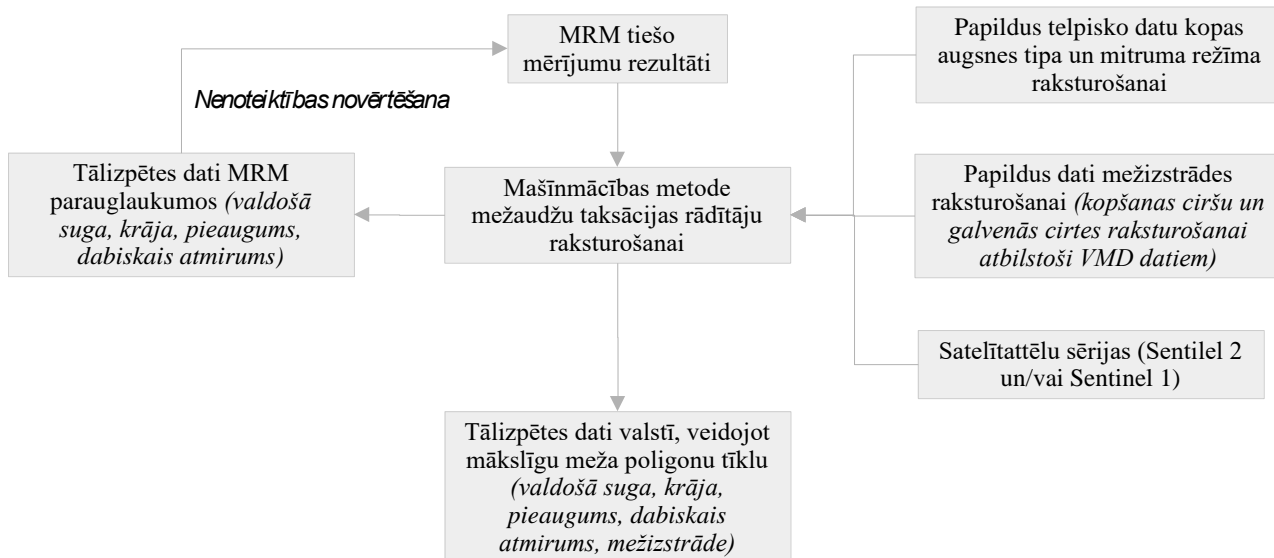
Modelis	Percentile	R ²	Slope	Intercept	RMSE	MAE
Leica ALS70 Melnalksnis starpstāvoklis	Allm_80	0,918	0,951	3,15	1,53	1,45
Leica ALS70 Apse bezlapu periods	-	-	-	-	-	-
Leica ALS70 Apse lapu periods	-	-	-	-	-	-
Leica ALS70 Apse starpstāvoklis	Allm_90	0,965	1,17	0,037	3,05	2,37
Leica ALS70 Baltalksnis bezlapu periods	-	-	-	-	-	-
Leica ALS70 Baltalksnis lapu periods	-	-	-	-	-	-
Leica ALS70 Baltalksnis starpstāvoklis	All_90	0,899	0,97	2,28	2,43	1,62

2.2.7. Attālās izpētes datu pielietošana SEG inventarizācijas pilnveidošanai

2021. gadā definēti nosacījumi attālināti iegūtu MRM datu interpolācijas un ekstrapolācijas metožu pilnveidošanai, veicot zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un saimnieciskās darbības, krājas pieauguma un atmiruma uzskaiti SEG inventarizācijā. Darba uzdevuma īstenošanas rezultāti atkarīgi no korelācijas ciešuma starp MRM parauglaukumos iegūtajiem tiešo mērījumu datiem un satelītattēlu analīzes rezultātiem.

Taksācijas rādītāju ekstrapolācijas metodes principiālā shēma, gatavojot ikgadējo SEG inventarizācijas ziņojumu, parādīta att. 22. Shēmas galīgās realizācijas risinājums atkarīgs no tālizpētes datu analīzes rezultāta. SEG inventarizācijas ziņojuma sagatavošanai mašīnmācības modeli katru gadu papildināsim ar kārtējā gada mērījumu rezultātiem, tajā skaitā raksturojot taksācijas rādītāju izmaiņas vairāku MRM ciklu laikā.

Stājoties spēkā regulas 2018/1999 grozījumiem, zemes izmantošanas kategorijas, kas jau iekļautas SEG inventarizācijas ziņojumā, papildināsim ar regulas 5. pielikuma 3. daļā iekļautajām kategorijām. Ne visām kategorijām šobrīd ir pieejami datu avoti, kā arī no esošajiem datu avotiem ne vienmēr var izveidot datu rindu no 1990. gada, taču šis darbs veicams SEG inventarizācijas sistēmas uzlabošanas ietvaros.



Attēls 22. Taksācijas rādītāju ekstrapolācijas metodes pielietošanas principiālā shēma

Īstenojot pētījumu, nav konstatēti riski, kas varētu aizkavēt darba izpildi atbilstoši laika grafikam. Regulas (EU) 2018/841 papildinājuma potenciālo ietekmi vērtēsim turpmākajos pētījuma etapos.

2.2.8. Sākotnējie secinājumi par mežaudžu augstuma modeļu izstrādes rezultātiem

1. Pētījumā analizēta dažādu aerolāzerskeneru ietekme uz mežaudžu augstuma modeļu kvalitāti un noskaidrots, ka, analizējot visu datu kopu kopumā, atšķirība starp tiem nav statistiski būtiska.
2. Liela datu apjoma mežaudžu augstuma modeļu izstrādē vislabākie rezultāti pārsvarā vienmēr sasniegti, izmantojot tikai tos MRM parauglaukumus, kuriem ir precizētas centru koordinātas. MRM parauglaukumu centru koordinātu precizitātei turpinot uzlaboties, nākotnē varēs veidot vēl precīzākus mežaudžu augstuma modeļus.
3. Izstrādātais universālais mežaudžu augstuma modelis uzrāda augstvērtīgus rezultātus ($R^2 - 0,942$, $RMSE - 1,91$), tomēr datu kopu sadalot smalkākās vienībās pa atsevišķām koku sugām un sezonām ir iespējams iegūt katrai koku sugai piemērotāku mežaudzes augstuma modeli.
4. Priežu mežaudzēs sezonālā ietekme uz mežaudžu augstuma modeļu parametriem ir minimāla, kamēr skuju koku līmenī kopā ar egli ir novērojamas sezonālās variācijas. Tāpēc ieteicams izmantot modeļus, kuri izstrādāti atsevišķiem aerolāzerskeneriem (“Riegl LMS Q680i Priede” un “Leica ALS70 Priede”).
5. Egļu mežaudzēs ir novērojama sezonālā ietekme uz izstrādāto mežaudžu augstuma modeļu parametriem, tāpēc mežaudžu augstuma modelēšanai ir izmantojami sezonālie egļu modeļi. Leica ALS70 gadījumā modelis bezlapu periodam nav izstrādāts specifisko MRM parauglaukumu trūkuma dēļ, tāpēc ir izmantojams modelis “Leica ALS70 skuju koki bezlapu periods”, kurā netika novērotas būtiskas atšķirības starp koku sugām.
6. Bērzu mežaudzēs ir novērojama sezonālā ietekme gan Riegl LMS Q680i, gan Leica ALS70 datos, tāpēc ir izmantojami sezonālie modeļi. Lapu periodā un starpsezonā R^2 vērtība ir salīdzinoši augstāka nekā bezlapu periodā, un tas ir skaidrojams ar LiDAR staru problemātiku atstaroties plikā koku vainagā.
7. Melnalkšņa audzēs ir pārāk mazs MRM parauglaukumu skaits, lai izstrādātu ticamus sezonālos modeļus visām sezonām. Starpsezonai parauglaukumu skaits ir pietiekams un

mežaudžu augstuma modeļi ir ar R^2 vērtībām, kuras pārsniedz 0,9, kamēr lapu un bezlapu periodiem ir izmantojami sezonālie lapu koku modeļi, jo modeļu pamatā esošie ievades dati neuzrāda būtiskas atšķirības starp melnalksni un citām lapu koku sugām.

8. Apses un baltalkšņa audzēs ir novērojama sezonālā ietekme mežaudžu augstuma modeļos, kuri veidoti no Riegl LMS Q680i aerolāzerskenera datiem, tāpēc mežaudžu augstuma prognozēšanai izmantojami sezonālie modeļi. Leica ALS70 gadījumā pietiekams datu daudzums priekš modeļa izstrādes ir tikai starpsezonas periodā. Lapu un bezlapu periodam izmantojami sezonālie lapkoku modeļi, jo tie neuzrāda statistiski būtiskas atšķirības starp dažādām koku sugām lapu un bezlapu periodos.
9. Lai novērtētu laika starpības starp MRM un LiDAR mērījumiem ietekmi uz izstrādāto mežaudžu augstuma modeļu kvalitāti, MRM parauglaukumiem, ir jāiegūst precizētās koordinātas par visiem MRM cikla gadiem. Šobrīd iztrūkst informācijas par 2015.-2017. gados uzņēmētajiem MRM parauglaukumiem un šis periods ir tieši pa vidu LiDAR datu iegūšanas periodam. Universālais modelis, kurš izmanto visvairāk MRM parauglaukumu, parāda, ka laika atšķirība starp MRM un LiDAR uzmērījumiem ir statistiski būtiska.

2.3. Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana

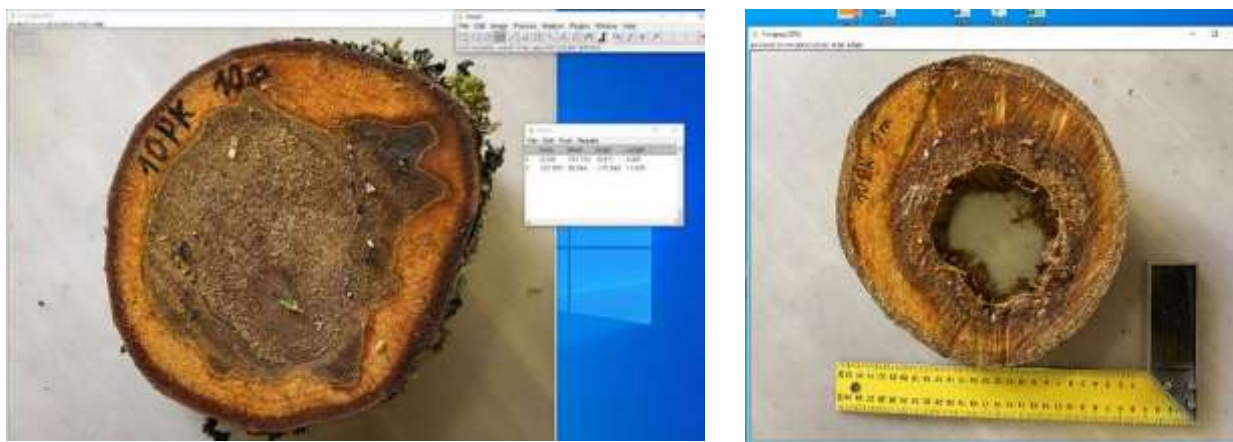
Trupējušo koku īpatsvars atlasītajās baltalkšņa uz melnalkšņa audzēs noteikts pēc rezistogrāfa mērījumu datiem (tab. 2.12). Katrs 500 m² lielā parauglaukumā augošais koks celma daļā urbts ar rezistogrāfu no trijām pusēm, veidojot iedomātu vienādmalu trīsstūri. Ja kaut vienā no urbšanas piegājieniem konstatēta trupe klātbūtne, tad koks klasificēts kā trupējis. Analizētajās baltalkšņa audzēs mīkstās trupes klātbūtne konstatēta vidēji 27,7% augošo koku, atsevišķās audzēs trupējušo koku skaits bija robežās no 2,4% līdz 81%. Citā pētījumā Latvijā, uzmērot 47 baltalkšņa kailcirtes, trupējušo celmu īpatsvars bija robežās no 1-54%, vidēji 17,9% (Arhipova et al., 2011). Melnalkšņu audzēs mīkstās trupes sastopamība šajā pētījumā bija vidēji 38,6% (6,7-93,3%, atkarībā no mežaudzes vecuma). Savukārt citā pētījumā, analizējot trupes sastopamību 4 melnalkšņa audzēs (51 līdz 84 gadus vecās), tā bija robežās no 53-98% (Arhipova et al., 2012). Abām koku sugām iezīmējas tendence, ka vecākās audzēs trupes sastopamība ir lielāka, kā arī novērota cieša un statistiski būtiska ($p < 0,001$) korelācija ($r = 0,65$ melnalksnim un $r = 0,59$ baltalksnim) starp koku krūšaugstuma caurmēru un trupes kolonnas garumu.

Pirmajā pētījuma īstenošanas gadā, pētījumā padziļināti analizēti 70 trupējuši paraugkoki no deviņām baltalkšņa un septiņām melnalkšņa audzēm. Pētījumam atlasītas vismaz 35 gadus vecas baltalkšņu audzes, bet visas atlasītās melnalkšņa audzes bija vecākas par 65 gadiem. Trupes kolonnas garuma mērījumi veikti 38 baltalkšņa un 32 melnalkšņa stumbros. Trupes kolonna baltalksnim sasniedza vidēji 10,7 m augstumu, bet melnalksnim 11,5 m. Iepriekš Latvijā veiktajos pētījumos noskaidrots, ka trupes kolonnas augstums abām sugām ir nedaudz mazāks; vidēji $7,1 \pm 4,7$ m baltalksnim (Arhipova et al., 2011) un $7,7 \pm 5,4$ m melnalksnim (Arhipova et al., 2012), kas izskaidrojams ar to, ka paraugkopā ietverti jaunāki koki salīdzinot ar šo pētījumu. Gandrīz visos nozāģētajos kokos tika reģistrēta mīkstās trupes klātbūtne, tikai diviem baltalkšņiem un vienam melnalksnim mīkstā trupe netika reģistrēta. Savukārt dobums reģistrēts 8 baltalkšņiem un 9 melnalkšņiem. Lai gan mīkstā trupe koku stumbros bija sastopama bieži, tomēr tās vidējais augstums bija vien 1.1m baltalksnim un 2,7 m melnalksnim. Dobuma kolonnas vidējais augstums bija vēl mazāks, tikai 0,7 m baltalksnim un 1,3 m melnalksnim. Mīkstās trupes un dobuma augstuma mērījumi apstiprina to, ka trupes sastopamības datu ievākšana noteikti ir jāveic celma daļā, jo daudziem kokiem trupes kolonnas augstums nesniedzas līdz 1,3 m augstumam.

Tabula 2.12. Trupējušo paraugkoku raksturojums

Vērtība	Baltalksnis (N=38)		Melnalksnis (N=32)	
	vidēji	min.-maks.	vidēji	min.-maks.
Vecums, gadi	49,4	37-70	90	65-122
Koka garums, m	20,8	16,3-26	23,3	11,9-28,5
Koka krūšaugstuma caurmērs, cm	19,3	14-28,5	23,9	13-40
Iekrāsojušās koksnes augstums, m	10,7	2,2-18,2	11,5	1,4-18,8
Mīkstās trupes augstums, m	1,1 (N=36)	0,3-5,5	2,7 (N=31)	0,4-13,2
Dobuma augstums, m	0,7 (N=8)	0,5-1,2	1,3 (N=9)	0,4-2,8
Iekrāsojuma diametrs uz celma, cm	11,8	7,8-18,0	11,1	4,8-26,0
Mīkstās trupes diametrs uz celma, cm	12,6	2,8-21,5	12,9	3,5-28,5
Dobuma diametrs uz celma, cm	8,8	5,8-14,5	11,4	3,8-24,0

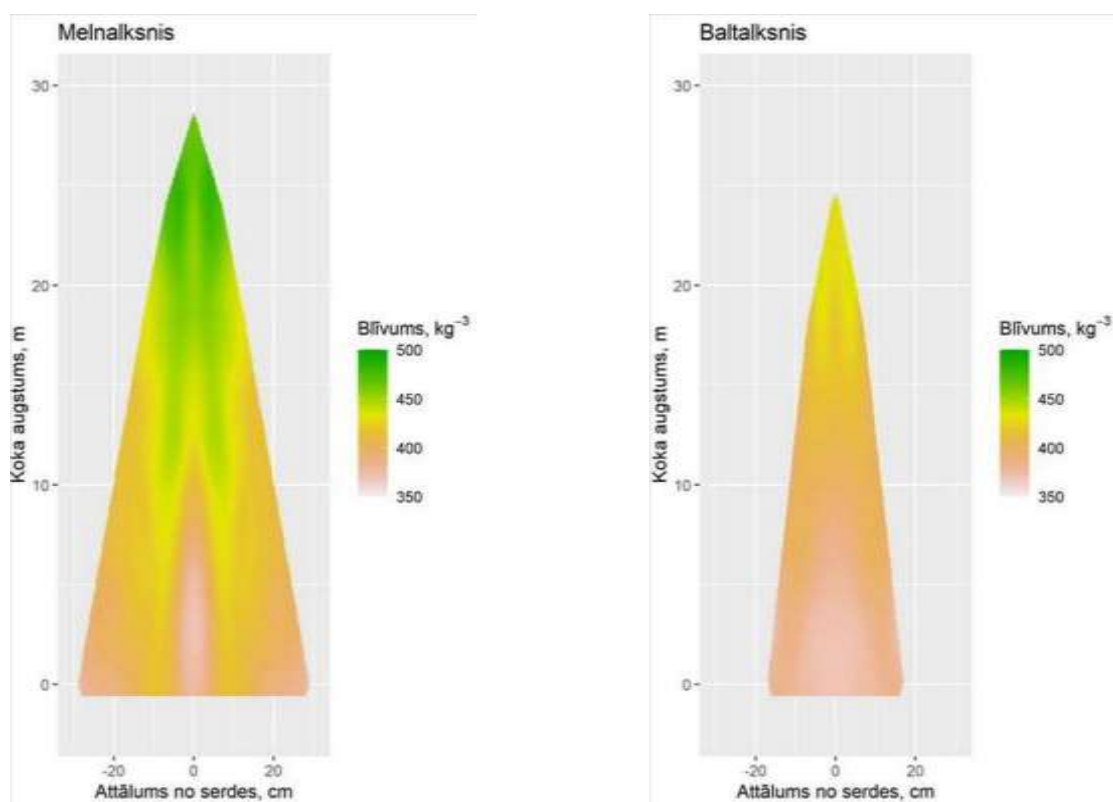
Pētījuma turpinājumā ir plānota padziļināta rezistogrāfa mērījumu analīze un precīzi trupes kolonnas tilpuma aprēķini, atbilstoši trupes attīstības stadijai. Sākotnēji stumbra šķērsriezuma ripās trupes ietekmētais laukums aprēķināts katrai ripai izmērot trupes diametru divos nejaušos un savstarpēji perpendikulāros virzienos. Tomēr, apkopojot rezultātus, apstiprinājās, ka šādi aprēķināts laukums samazina patieso trupes ietekmēto tilpumu atsevišķiem kokiem pat līdz 25%, tāpēc tika pieņemts lēmums, katrai šķērsriezuma ripai trupes ietekmēto platību aprēķināt precīzi ar datorprogrammu, ņemot vērā tās neregulāro formu un attīstības stadiju (att. 23).



Attēls 23. Trupes ietekmētā laukuma mērīšana stumbra šķērsriezuma ripās

Reducētais blīvums ir nozīmīgs koksnes parametrs, lai aprēķinātu biomasu koku stumbros un atspoguļotu biomasas izmaiņas dažādās koka frakcijās. Stumbra blīvuma izmaiņas garenvirzienā (no celma uz galotni) un šķērsgrīzumā (no serdes uz mizu) sniedz priekšstatu par to, kā dažādas paraugu ievākšanas metodes var ietekmēt stumbra biomasas un līdz ar to – kopējos oglekļa uzkrājuma aprēķinus. Tāpat blīvuma izmaiņas sniedz priekšstatu par to kurā stumbra daļā ir uzkrāts visvairāk oglekļa. Lielāks koksnes blīvums vienmēr norāda uz lielāku oglekļa uzkrājumu.

Stumbra reducētā blīvuma datu analīze apstiprināja, ka baltalkšņa un melnalkšņa blīvums pieaug virzienā uz koka galotni, bet radiālajā virzienā blīvumam ir tendence palielināties mizas virzienā (att. 24). Palielinoties koka augstumam, blīvuma izmaiņu amplitūda stumbra šķērsgrīzumā ievērojami samazinās. Zīmīgi, ka melnalksnim blīvums radiālajā virzienā palielinās līdz noteiktam caurmēram, bet pēc tam, virzienā uz mizu, nedaudz samazinās. Savukārt baltalkšņa koksne blīvuma svārstības ir niecīgas, salīdzinot ar melnalksni, un abām koku sugām visblīvākā koksne atrodas stumbra galotnes daļā. Vismazākais blīvums baltalksnim un melnalksnim ir stumbra lejasdaļā pie serdes. Tieši šajā stumbra daļā visbiežāk primāri attīstās arī stumbra trupe. Tāpēc, lai precīzi novērtētu blīvuma un oglekļa uzkrājuma samazinājumu stumbra trapes ietekmē, kontroles paraugi no veselas koksnes jāgatavo stumbra vidusdaļā atbilstoši trapes izplatīšanās augstumam un diametram, lai trupējušas un netrupējušas koksnes paraugi būtu savstarpēji salīdzināmi.



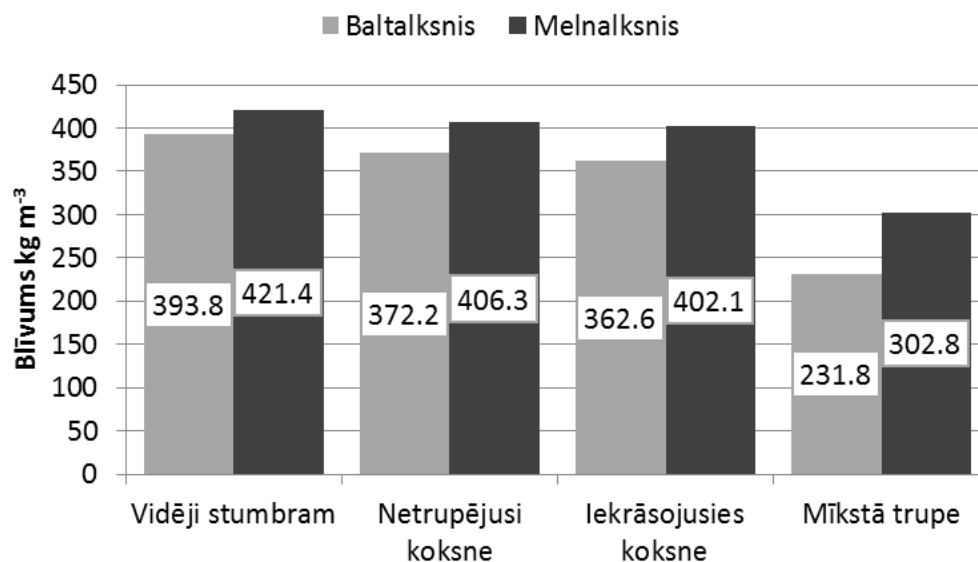
Attēls 24. Reducētā blīvuma izmaiņas melnalkšņa un baltalkšņa stumbros

Pētījumā trupējušas koksnes blīvums kopā analizēts 449 baltalkšņa un 580 melnalkšņa paraugiem. Rezultāti apliecina, ka abām koku sugām mīkstās trapes blīvums būtiski ($p < 0,001$) samazinās progresējot trapes sadalīšanās pakāpei (att. 25). Baltalksnim mīkstās trapes blīvums samazinājās vidēji par 37%, bet melnalksnim par 25%, salīdzinot ar netrupējušu koksni. Blīvuma samazinājums, progresējot trapes sadalīšanās pakāpei, raksturo arī to kāds ir biomasas un oglekļa uzkrājuma samazinājums trupējušajā stumbra daļā. Arī pētījumos Igaunijā ir noskaidrots, ka koksnes sadalīšanās pakāpe būtiski ietekmē koksnes blīvumu (Köster et al., 2015). Piemēram, salīdzinot

svaigas koksnes un tādas kuru paņēmot rokās sadalās blīvumu, noskaidrots, ka baltalksnim blīvuma samazinājums vidēji ir 70%, bet melnalksnim pilnībā sadalījušās koksnes blīvums samazinās nedaudz vairāk, vidēji par 77%. Arī šajā pētījumā analizētajos stipri sadalījušos koksnes paraugos, blīvums abām koku sugām bija samazinājies vairāk par 70%, salīdzinot ar netrupējušu koksni.

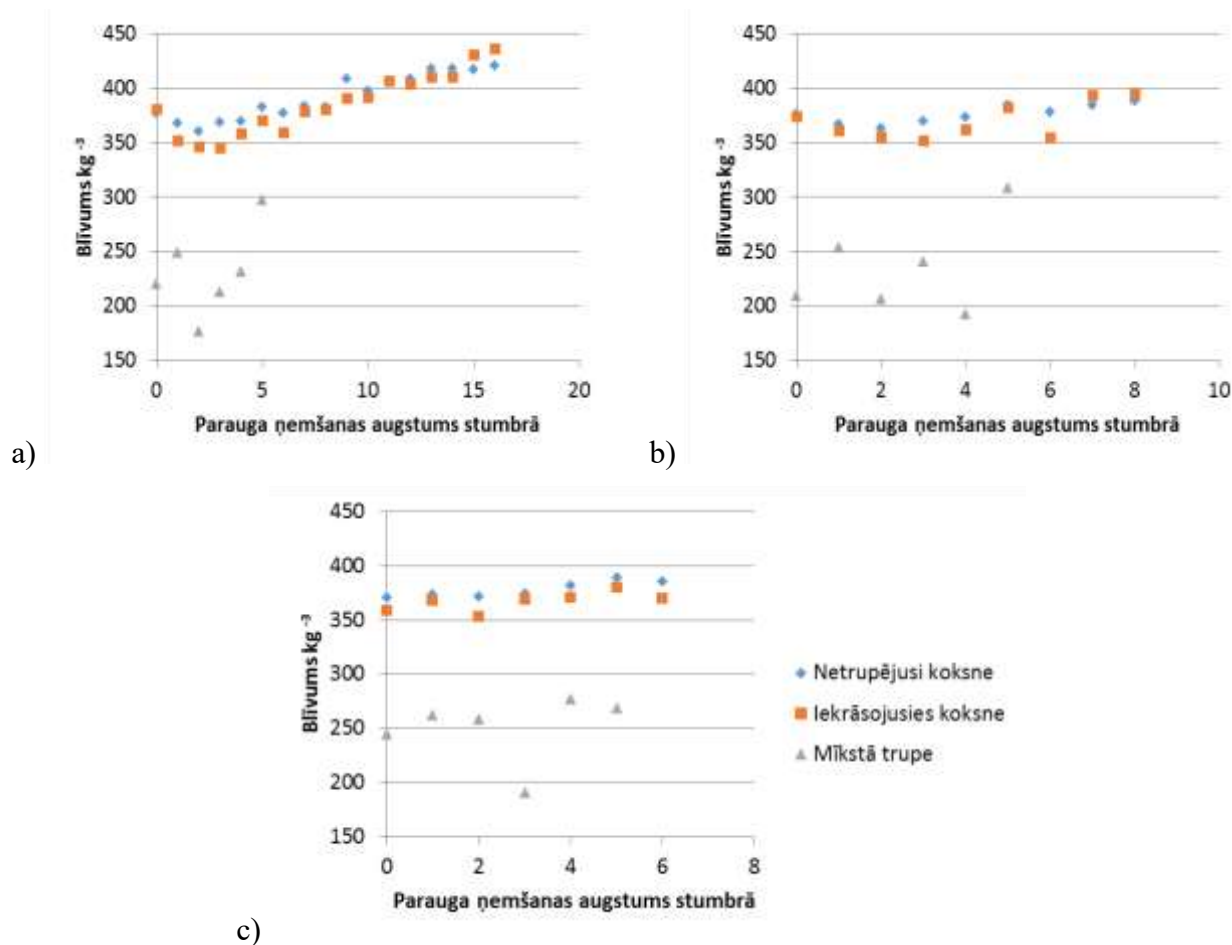
Cietās trupes blīvuma samazinājums baltalksnim un melnalksnim ir apmēram 2-4% robežās. Precīzi blīvuma samazinājumu pie esošā paraugu skaita ir ļoti grūti novērtēt, jo iekrāsojušās koksnes blīvumu ietekmē tā atrašanās vieta stumbrā (att. 26). Koksnes iekrāsojums jeb cietā trupe, kas ir trupes attīstības sākumstadija, visdrīzāk koksnes blīvumu būtiski neietekmē. Tomēr, vizuāli koksnes iekrāsojumu dažkārt ir ļoti grūti nodalīt no mīkstās trupes, jo starp abām trupējušās koksnes stadijām ne vienmēr ir regulāra un izteikta robeža. Tāpēc, nosakot koksnes iekrāsojuma aizņemto laukumu stumbra ripu šķēsgriezumā un sagatavojot koksnes paraugus analizēm, ir pilnīgi iespējams, ka koksnes iekrāsojuma aizņemtajā laukumā vai sagatavotajā paraugā ir ietverta neliela daļa no mīkstās trupes. Ļoti iespējams, ka grūtības empīriski precīzi nošķirt pētījumā izmantoto trupējušās koksnes klasifikāciju, izskaidro nelielo iekrāsojušās koksnes blīvuma samazinājumu, salīdzinot ar trupes neietekmētu koksni.

Vidējais stumbra reducētais blīvums (ar mizu) pieaugušās un pāraugušās audzēs baltalksnim ir 393,8 kg m⁻³, bet melnalksnim 421,4 kg m⁻³ un tas abām sugām ir lielāks nekā netrupējušās koksnes blīvums stumbra vidusdaļā kur visbiežāk attīstās trupe (att. 26). Provizoriskie rezultāti apliecina, ka trupes kolonnas tilpums analizētajiem paraugkokiem sastāda vidēji 20-25% no visa stumbra tilpuma. Lai gan mīkstās trupes un dobuma ietekmētajā platībā blīvuma samazinājums ir vislielākais, tomēr analizētajiem paraugkokiem mīkstās trupes un dobuma īpatsvars no stumbra tilpuma bija neliels, attiecīgi 5,0% un 0,5%. Sagaidāms, ka pētījuma turpinājumā precizējot trupes kolonnas tilpuma aprēķinus, visvairāk palielināsies cietās trupes jeb koksnes iekrāsojuma īpatsvars stumbrā.



Attēls 25. Netrupējušās un trupējušās koksnes vidējais reducētais blīvuma vērtību salīdzinājums

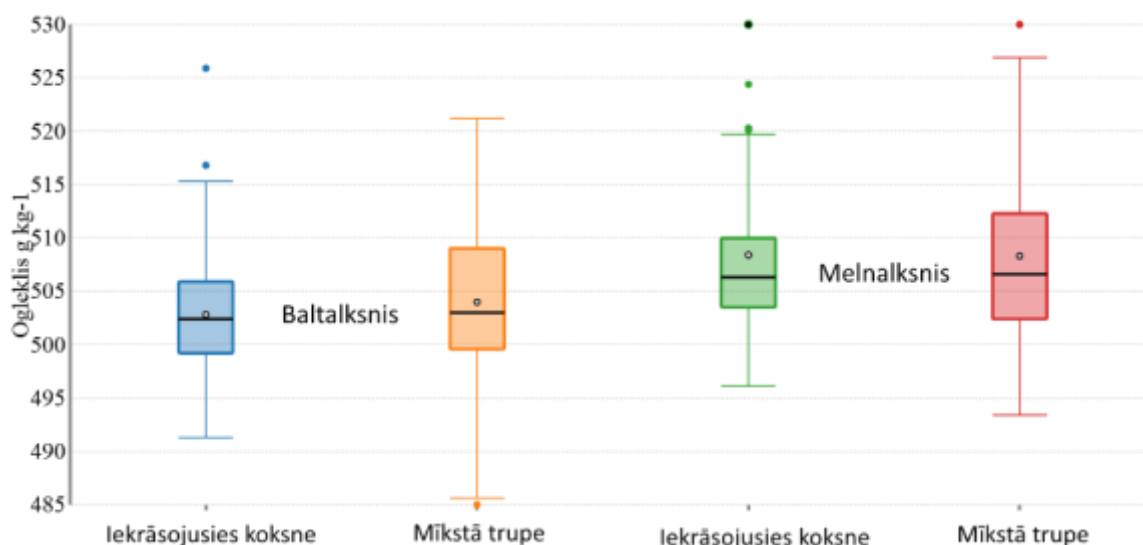
Oglekļa aprite meža ekosistēmā



Attēls 26. Blīvuma izmaiņas baltalkšņu stumbros atkarībā no parauga ņemšanas vietas. a) 0-2 cm no serdes, b) 2-4 cm no serdes, c) 4-6 cm no serdes

Pētījumā aprēķināts, ka trapes ietekmes rezultātā analizētajiem paraugkokiem stumbra biomasas samazinājās par 0,4-13,6% (0,3-18 kg) baltalksnim, bet melnalksnim par 0,1-8,2% (0,1-59 kg). Vidējais stumbra biomasas samazinājums baltalksnim ir apmēram 5%, bet melnalksnim – 3%. Jāatzīmē, ka šie ir pagaidu rezultāti, stumbra biomasas samazinājums paraugkokiem pētījuma turpinājumā tiks precizēts pēc stumbra šķērsriezuma ripu attēlu apstrādes un precīziem trapes laukuma aprēķiniem tajās.

Oglekļa saturs pētījumā analizēts 483 trupējušas koksnes paraugiem, katrai trapes attīstības stadijai un koku sugai analizējot vismaz simts paraugus. Mūsu izmēģinājuma rezultāti apliecina, ka melnalksnim un baltalksnim oglekļa saturs būtiski neatšķiras ($p > 0,05$) atkarībā no trapes attīstības stadijas (att. 27). Pētījumā secināts, ka baltalksnim vidējais iekrāsojušās koksnes oglekļa saturs bija 503 g kg^{-1} , bet mīkstās trapes paraugiem – 504 g kg^{-1} . Melnalkšņa koksnes paraugiem oglekļa satura vērtības bija kopumā nedaudz lielākas – 508 g kg^{-1} un 508 g kg^{-1} , attiecīgi iekrāsojusies koksnei un mīkstai trapei. Pētījuma rezultāti apstiprina, ka novērtējot oglekļa uzkrājumu trupējušos melnalkšņa un baltalkšņa stumbros, nav nepieciešama oglekļa satura biomasā pārrēķina vērtību koriģēšana.



Attēls 27. Koksnes oglekļa saturs atkarībā no koku sugas un trupējušas koksnes klasifikācijas

2.4. SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā

Pētījuma ietvaros izstrādāts SEG emisiju aprēķinu rīks, kas ietver visas oglekļa krātuves, t.sk. zemesaugus, koksnes produktus un kurināmā aizstāšanas efektu, SEG (CH₄ un N₂O) emisijas no augsnes un CO₂ emisijas augsnes heterotrofās elpošanas rezultātā. Datu avoti – pētījumā veicami mērījumi, radniecīgi projekti (LIFE REstore, LIFE OrgBalt, MNKC pētījumi par SEG emisijām no dabiski mitrām un meliorētām augsnēm) un zinātniskās publikācijas. Šobrīd modelī realizēts oglekļa krātuvju un augsnes SEG emisiju aprēķins, izmantojot statistiskus emisiju faktorus un augšanas gaitas datus, kas aprēķināti, izmantojot AGM modeli. Turpmākajos pētījuma etapos modelī integrējama vides faktoru (gaisa temperatūra, gruntsūdens līmenis augsnes piesātinājums ar ūdeni) ietekme.

ZIZIMM regulas (EU) 2018/841 papildinājumu projekta publicēšana var būtiski ietekmēt pētījuma ievirzi, tāpat kā trapes ietekmes mazināšanas darbību analīzē, koncentrējoties uz regulas papildinājuma 3. pielikumā uzskaitīto ierobežojumu ietekmes raksturošanu. Regulas izmaiņu iespējamās ietekmes novērtēšanas rezultātā pilnveidosim arī metodiku pasākumu ietekmes raksturošanai, kā arī nosacījumus iespējamās negatīvās ietekmes mazināšanai. Šo darbu veiks pēc regulas papildinājumu stāšanās spēkā to galīgajā veidolā.

Darba uzdevuma “Esošo modeļteritoriju un pētījumu apzināšana un ietekmes uz oglekļa uzkrājumu un SEG emisijām apzināšana” ietvaros apzinājām pētījumus un izpētes objektus mežsaimnieciskās darbības ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai. Pētījumā ietvertās mežsaimnieciskās darbības, kas nav vērtētas citu darba uzdevumu un darbību ietvaros, ir meža selekcijas un adaptācijas darbības, meža meliorācijas sistēmu apsaimniekošana, organisko augšņu apsaimniekošana, meža ieaudzēšana, augsnes ielabošana. Metodika ietver ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti un sociāli-ekonomiskā efekta analīzi. Metodika ir unificēta visām šīs pētījumu programmas darbībām, kurās vērtētas darbības SEG emisiju mazināšanai. Galvenie pasākumu vērtēšanas principi, vērtējot līdzšinējos pētījumus, ir apkopoti tab. 1.5.

Detalizēts SEG emisiju novērtējums meža zemēs Latvijā līdz šim veikts 4 pētījumu ietvaros:

- Klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju demonstrēšana auglīgās organiskajās augsnēs Baltijas valstīs un Somijā (LIFE OrgBalt);
- Modelēšanas rīki gruntsūdens līmeņa un citu faktoru ietekmes uz siltumnīcefekta gāzu emisijām no koku stumbra virsmas (Meža nozares kompetences centrs);

Oglekļa aprite meža ekosistēmā

- Modelēšanas instrumentu un rekomendāciju izstrādāšana siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanai mežaudzēs ar auglīgām organiskām augsnēm (Meža nozares kompetences centrs);
- Degradēto purvu atbildīga apsaimniekošana un ilgtspējīga izmantošana Latvijā (LIFE REstore).

LIFE OrgBalt turpināsies līdz 2023. gadam. Pētījuma mērķis ir klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu demonstrēšana, apsaimniekojot auglīgas organiskas augsnes lauksaimniecības un meža zemēs mērenajā klimata joslā, lai samazinātu siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas un sniegtu ieguldījumu ES kopīgo un nacionālo klimata mērķu sasniegšanā saistību periodā pēc 2020. gada. Pētījuma nozīmīgākais rezultāts ir zinātnisks pamatojums klimata pārmaiņu mazināšanas metodēm, kas pielietojamas SEG emisiju samazināšanai, apsaimniekojot auglīgas organiskās augsnes lauksaimniecības un meža zemēs; samazinātas SEG emisijas pētījuma demonstrējumu teritorijās; uzlaboti SEG emisijas koeficienti auglīgām organiskām augsnēm; SEG uzskaites sistēma un SEG emisiju datu bāze Baltijas reģiona valstīm; vadlīnijas pārdomātai un uz klimata izmaiņu mazināšanu vērstai organisko augšņu pārvaldībai, aprēķinu rīki, politikas plānošanas rīki, pētījuma publicitātes darbības, zinātniskas un populāras publikācijas. Pētījuma objekti un tajos īstenojamās mērījumu programmas apkopotas tab. 2.13. Šajā pētījumā uzsāktos mērījumus turpināsim pēc LIFE OrgBalt pabeigšanas, lai visās novērojumu programmās iegūtu vismaz 24 mēnešus ilgu novērojumu ciklu, atbilstoši Eggleston u.c. (2006).

Tabula 2.13. LIFE OrgBalt demonstrējumu un referenes objektos īstenojamās izpētes programmas

Demonstrējumu un referenes objekta numurs un īss apraksts	Augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību analīzes	Oglekļa uzkrājums lakstaugu biomasā	Oglekļa uzkrājums krūmos un pameža kokos	Oglekļa uzkrājums kokaugu biomasā	Sīksakņu biomasas noteikšana	Augsnes spektrometrijas tests	Oglekļa īenese ar virszemes nobirām	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi	N ₂ O & CH ₄ + CO ₂ emisiju mērījumi	Fotosintēzes mērījumi ar caurspīdīgiem kambariem	Ūdens temperatūras, pH, elektrovadītspējas un skābekļa saturs	Periodiski augšnes mitruma mērījumi	Periodiskas ūdens analīzes	Nobiru sadalīšanās izmēģinājumi	Sakņu izaugšanās izmēģinājums	Sūnu izauguma eksperiments	Pastāvīgi augšnes temperatūras mērījumi	Pastāvīgi gruntsūdens līmeņa mērījumi	Pastāvīgi PAR mērījumi
Aramzeme, kurā audzē labību (Lazdiņi)	X	X				X		X	X	X	X	X	X				X	X	X
Zālājs meliorētā pushidromorfā augsnē (Rucava, 024-3-7)	X	X				X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X
Zālājs meliorētā kūdras augsnē (Lazdiņi)	X	X				X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X
Vidēja vecuma egļu audze ar meliorētu kūdras augsni (409-474-21)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Egļu audze ar meliorētu kūdras augsni, kur koksnes pelni izklīdēti vismaz pirms 5 gadiem (301-209-13)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Demonstrējumu un referenes objekta numurs un īss apraksts	Augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību analīzes	Oglekļa uzkrājums lakstaugu biomasā	Oglekļa uzkrājums krūmos un pameža kokos	Oglekļa uzkrājums kokaugu biomasā	Sīksakņu biomasas noteikšana	Augsnes spektrometrijas tests	Oglekļa ienese ar virszemes nobīrām	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi	N ₂ O & CH ₄ + CO ₂ emisiju mērījumi	Fotosintēzes mērījumi ar caurspīdīgiem kambariem	Ūdens temperatūras, pH, elektrovadītspējas un skābekļa saturs	Periodiski augnes mitruma mērījumi	Periodiskas ūdens analīzes	Nobiru sadalīšanās izmēģinājumi	Sakņu izaugšanās izmēģinājums	Sūnu izauguma eksperiments	Pastāvīgi augnes temperatūras mērījumi	Pastāvīgi gruntsūdens līmeņa mērījumi	Pastāvīgi PAR mērījumi
Kontroles platība egļu audzē ar meliorētu kūdras augsni pelnu izmantošanas ietekmes raksturošanai (301-209-13P)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Priedes audze ar meliorētu kūdras augsni (609-175-5)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Bērzu audze ar meliorētu organisku augsni (Mežole, 031-99-9)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Melnalkšņa audze ar dabiski mitru kūdras augsni (505-84-3)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Priedes audze ar dabiski mitru organisko augsni (508-88-11)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Bērza audze ar dabiski mitru kūdras augsni (Mežole, 012-186-1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Demonstrējumu un referenes objekta numurs un īss apraksts	Augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību analīzes	Oglekļa uzkrājums lakstaugu biomasā	Oglekļa uzkrājums krūmos un pameža kokos	Oglekļa uzkrājums kokaugu biomasā	Sīksakņu biomasas noteikšana	Augsnes spektrometrijas tests	Oglekļa ienese ar virszemes nobīrām	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi	N ₂ O & CH ₄ + CO ₂ emisiju mērījumi	Fotosintēzes mērījumi ar caurspīdīgiem kambariem	Ūdens temperatūras, pH, elektrovadītspējas un skābekļa saturs	Periodiski augsnes mitruma mērījumi	Periodiskas ūdens analīzes	Nobiru sadalīšanās izmēģinājumi	Sakņu izaugšanas izmēģinājums	Sūnu izauguma eksperiments	Pastāvīgi augsnes temperatūras mērījumi	Pastāvīgi gruntsūdens līmeņa mērījumi	Pastāvīgi PAR mērījumi
Kailcirte egles audzē ar meliorētu organisko augsni (Smiltene, 031-51-11)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X				X	X	
Egles audze ar meliorētu organisko augsni, kontrole pelnu izmantošanai (Mežole, 012-203-1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X	X	
Saimnieciskās darbības neietekmētais zemais purvs (213-327-1)	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Bērzs meliorētā organiskā augsnē bijušajā lauksaimniecības zemē (503-432-8)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Kailcirte priedes audzē ar meliorētu organisku augsni (Mežole, 012-193-27)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X				X	X	

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Demonstrējumu un referenes objekta numurs un īss apraksts	Augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību analīzes	Oglekļa uzkrājums lakstaugu biomasā	Oglekļa uzkrājums krūmos un pameža kokos	Oglekļa uzkrājums kokaugu biomasā	Sīksakņu biomasas noteikšana	Augsnes spektrometrijas tests	Oglekļa ienese ar virszemes nobīrām	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi	N2O & CH4 + CO2 emisiju mērījumi	Fotosintēzes mērījumi ar caurspīdīgiem kambariem	Ūdens temperatūras, pH, elektrovadītspējas un skābekļa saturs	Periodiski augšnes mitruma mērījumi	Periodiskas ūdens analīzes	Nobiru sadalīšanās izmēģinājumi	Sakņu izaugšanās izmēģinājums	Sūnu izauguma eksperiments	Pastāvīgi augšnes temperatūras mērījumi	Pastāvīgi gruntsūdens līmeņa mērījumi	Pastāvīgi PAR mērījumi
Meža paludikultūra – apmežošana ar melnalksni un bērzu (Mežole, 031-1-1)	x	x				x		x	x	x	x	x					x	x	
Zālāja ar meliorētu organisko augsni apmežošana (Rucava, 024-4-1 un 024-3-7)	x	x				x		x	x	x	x	x			x		x	x	x
Agro-mežsaimniecība – kokaugu stādījums ar auzenes pasēju aramzemē ar meliorētu organisko augsni (Andrupēni)	x	x				x		x	x	x	x	x			x		x	x	x
Izslases cirte egles audzē ar meliorētu organisko augsni (Mežole, 031-21-21)	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x				x	x	
Izslases joslu cirte priedes audzē ar meliorētu organisko augsni (Mežole, 012-193-27)	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x				x	x	

Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Demonstrējumu un references objekta numurs un īss apraksts	Augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību analīzes	Oglekļa uzkrājums lakstaugu biomasā	Oglekļa uzkrājums krūmos un pameža kokos	Oglekļa uzkrājums kokaugu biomasā	Sīksakņu biomasas noteikšana	Augsnes spektrometrijas tests	Oglekļa ienese ar virszemes nobīrām	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi	N ₂ O & CH ₄ + CO ₂ emisiju mērījumi	Fotosintēzes mērījumi ar caurspīdīgiem kambariem	Ūdens temperatūra, pH, elektrovadītspēja un skābekļa saturs	Periodiski augsnes mitruma mērījumi	Periodiskas ūdens analīzes	Nobiru sadalīšanās izmēģinājumi	Sakņu ieaugšanās izmēģinājums	Sūnu pieauguma eksperiments	Pastāvīgi augsnes temperatūras mērījumi	Pastāvīgi gruntsūdens līmeņa mērījumi	Pastāvīgi PAR mērījumi
Meža atjaunošana ar melnalksni mežaudzē ar dabiski mitru kūdras augsni, izmantojot pacilas un dziļvagu tīklu (Mežole, 012-218-4)	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X				X	X	
Koksnes pelnu izmantošana egļu audzē ar meliorētu kūdras augsni pēc kopšanas cirtes (Mežole, 012-203-1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X		X	X	X
Aramzemes ar meliorētu organisko augsni transformēšana par zālāju (Andrupēni un Vecauce)	X	X				X		X	X	X	X	X	X				X	X	X
Kontrolēta drenāža zālājā ar meliorētu organisko augsni (Vecauce)	X	X				X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X

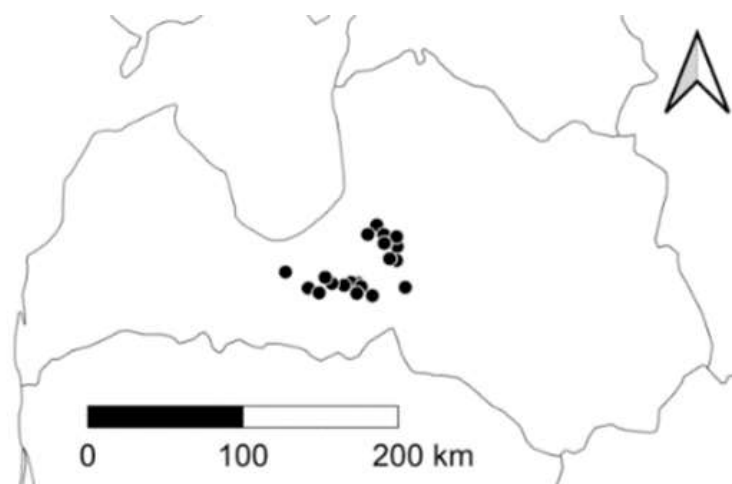
Oglekļa aprīte meža ekosistēmā

Demonstrējumu un referenes objekta numurs un īss apraksts	Augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību analīzes	Oglekļa uzkrājums lakstaugu biomasā	Oglekļa uzkrājums krūmos un pameža kokos	Oglekļa uzkrājums kokaugu biomasā	Sīksakņu biomasas noteikšana	Augsnes spektrometrijas tests	Oglekļa ienese ar virszemes nobīrām	Augsnes heterotrofās elpošanas mērījumi	N2O & CH4 + CO2 emisiju mērījumi	Fotosintēzes mērījumi ar caurspīdīgiem kambariem	Ūdens temperatūras, pH, elektrovadītspējas un skābekļa saturs	Periodiski augsnes mitruma mērījumi	Periodiskas ūdens analīzes	Nobiru sadalīšanās izmēģinājumi	Sakņu izaugšanās izmēģinājums	Sūnu izauguma eksperiments	Pastāvīgi augsnes temperatūras mērījumi	Pastāvīgi gruntsūdens līmeņa mērījumi	Pastāvīgi PAR mērījumi
Tauriņziežu izmantošana augu maiņā aramzemē ar meliorētu organisko augsni (Lazdiņi, Slampe)	X	X				X		X	X	X	X	X					X	X	X
Ātraudzīgu koku sugu stādījums meliorācijas sistēmu aizsargjoslā (Andrupēni)	X	X				X		X	X	X	X	X			X		X	X	X
Melnalkšņa stādījums meža piekrastes joslas aizsargjoslai piegulošā teritorijā ar dabiski mitru organisku augsni (Smiltene, 012-218-8)	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X					X	X	
Paludikultūra – egles audzes ar dabiski mitru organisko augsni atjaunošana, izmantojot pacilas un dziļvagu tīklu (Mežole, 031-108-4)	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X					X	X	

Meža nozares kompetences centra pētījums "Modelēšanas rīki gruntsūdens līmeņa un citu faktoru ietekmes uz siltumnīcefekta gāzu emisijām no koku stumbra virsmas" turpināsies līdz 2022. gada beigām. Pētījuma mērķis ir nodrošināt mežsaimniekus ar lēmuma pieņemšanas atbalsta instrumentiem, tajā skaitā SEG emisiju no koku stumbra virsmas modelēšanas rīkiem SEG emisiju no koku stumbra virsmas aprēķiniem un ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanai, apsaimniekojot mežaudzes ar organiskām augsnēm. Pētījumā ierīkoti izmēģinājumu objekti gruntsūdens līmeņa, SEG emisiju un citu vides faktoru monitoringam, kuros iegūti empīriski dati siltumnīcefekta gāzu emisiju no koku stumbra virsmas un gruntsūdens līmeņa izmaiņu datu analīzei. Pētījumā paredzēts izstrādātos SEG emisiju vienādojumus integrēt ietekmes uz klimata izmaiņām modelēšanas rīkos un augšanas gaitas modelī. Sagaidāmais pētījuma rezultāts ir izstrādāts jauns produkts – modelēšanas instrumenti SEG emisiju mazināšanas pasākumu īstenošanai mežaudzēs ar pārmitrām un meliorētām kūdras augsnēm un pētījumā novērtēto SEG emisiju samazināšanas iespēju sociāli ekonomiskais novērtējums, kā arī modelēšanas instrumentu un rekomendāciju izstrādāšana SEG emisiju mazināšanai mežaudzēs ar auglīgām organiskām augsnēm. Pēc pētījuma pabeigšanas izmantosim tajā izstrādātos vienādojumus emisiju modeļu pilnveidošanai, kā arī pētījumu programmas paplašināšanai, jo šajā pētījumā ietverta tikai neliela daļa meža tipu un apsaimniekošanas scenāriju.

Pētījuma "Modelēšanas instrumentu un rekomendāciju izstrādāšana siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanai mežaudzēs ar auglīgām organiskām augsnēm" mērķis ir nodrošināt meža apsaimniekotājus ar lēmuma pieņemšanas atbalsta instrumentiem, tajā skaitā oglekļa ieneses un SEG emisiju koeficientiem un modelēšanas rīkiem ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas pasākumu ietekmes plānošanai mežaudzēs uz auglīgām organiskām augsnēm. Pētījums turpināsies līdz 2022. gada vidum, veicot mērījumus 32 mērījumu vietās (att. 28, tab. 2.14). Izmēģinājumi veikti dabiski mitrās mežaudzēs (Db, Lk) ar valdošo koku sugu egle, bērzs, apse un izcirtumos ar kūdras slāņa biezumu no 25 cm līdz vismaz 100 cm (vidēji 75 ± 7 cm) un meliorētās mežaudzēs (Ks, Kp) ar valdošo koku sugu egle, bērzs, melnalksnis un izcirtumos ar vidējo kūdras slāņa biezumu 54 ± 12 cm (no 23 cm līdz vismaz 100 cm). Vidējais augsnes organiskā oglekļa saturs izmēģinājumu objektos sadalījumā pēc valdošās koku sugas ir no 32 ± 10 % līdz 55 ± 2 %, attiecīgi augsne izmēģinājumu mežaudzēs atbilst siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas metodiskajos norādījumos definētajai organiskās augsnes definīcijai. Augsne identificējamā kā organiskā augsne, ja izpildās pirmais un otrais vai pirmais un trešais kritērijs:

1. organiskā horizonta biezums ir vismaz 10 cm. Ja slānis nesasniedz 20 cm biezumu, organiskā oglekļa saturam virsējā 20 cm slānī jābūt vismaz 12 %;
2. augsnēm, kas nekad nav piesātinātas ar ūdeni ilgāk par dažām dienām, jāsaturs vismaz 20 % organiskā oglekļa (aptuveni 35 % organisko vielu);
3. augsnes, kas ir piesātinātas ar ūdeni un satur:
 - a) vismaz 12 % organiskā oglekļa, ja tā ir bez māla, vai
 - b) vismaz 18 % organiskā oglekļa, ja tā satur vismaz 60 % māla, vai
 - c) vidēju, proporcionālu organiskā oglekļa un māla daudzumu.



Attēls 28. Izpētes objektu izvietojums

Pētījuma aktualitāti noteica lielas SEG emisijas no organiskajām augsnēm, kas norāda arī uz būtiskām iespējām īstenot klimata izmaiņas mazinošus pasākumus, pilnveidojot meža apsaimniekošanas praksi kūdreņos un purvainos uz zemā purva kūdras augsnēm. Organisko augšņu radīto emisiju aprēķinos Latvijā līdz šim izmantotas Starpvalstu Klimata Izmaiņu Padomes (IPCC) vadlīnijas, kurās iekļautas metodes raksturojas ar lielu nenoteiktību un kas nav verificētas ar Latvijā veiktu mērījumu datiem, tāpēc nav pielietojamas meža apsaimniekošanas prakses izmaiņu ietekmes novērtēšanai, attiecīgi, neraksturo meža apsaimniekotāju ieguldījumu klimata izmaiņu mazināšanā. Pētījuma sagaidāmais rezultāts ir instrumenti SEG emisiju modelēšanas instrumenti, klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu potenciālās ietekmes novērtējums, meža īpašnieku aptaujas rezultāti, kas raksturo projekta mērķa grupu gatavību ieviest pētījuma rezultātus praksē un priekšnosacījumus klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu īstenošanai uz organiskām augsnēm, kā arī rekomendācijas mežaudžu uz auglīgām organiskām augsnēm apsaimniekošanai, lai sekmētu klimata izmaiņām mazināšanas mērķa sasniegšanu. Pētījuma metodiku izmantosim arī šajā pētījumu programmā, ierīkojot analogiskus izmēģinājumu objektus āreņos un slapjainos (pagaidām tikai vidēja vecuma audzēs, taču, piesaistot papildus sabiedrisko finansējumu, izmēģinājumus ierīkosim arī izcirtumos, jaunaudzēs un pieaugušās audzēs).

Saskaņā ar pētījuma sākotnējiem rezultātiem SEG emisijas no dabiski mitrām augsnēm ir lielākas, nekā SEG emisijas no meliorētām platībām. Sakarības ar augsnes īpašībām parādītas 2.15. Metāna emisiju sakarība ar dažādiem vides faktoriem, tajā skaitā gruntsūdens dziļumu, parādīta att. 29 un tab. 2.15. Ikgadējās metāna emisijas pētījuma objektos apkopotas tab. 2.16. Dislāpekļa oksīda emisijas meliorētās un dabiski mitrās meža augsnēs raksturotas att. 30 un tab. 2.18. Oglekļa dioksīda emisijas meliorētās un dabiski mitrās meža augsnēs raksturotas att. 31 un tab. 1.5. Gaisa temperatūras un oglekļa dioksīda emisiju sakarība parādīta att. 32. Vidējo ikmēneša oglekļa dioksīda emisiju salīdzinājums kūdreņos un purvainos dots att. 33.

Tabula 2.14. Izmēģinājumu objektu raksturojums purvainos un kūdreņos

Parametrs	Mežaudzes ar dabiski mitrām augsnēm				Mežaudzes ar meliorētām augsnēm			
	E	B	A	izcirtums	E	B	M	izcirtums
Vecums, gadi	67	56	43	-	55	39	40	-
	-	21-77	10-80	-	14-86	18-60	26-53	-

Parametrs	Mežaudzes ar dabiski mitrām augsnēm				Mežaudzes ar meliorētām augsnēm			
	E	B	A	izcirtums	E	B	M	izcirtums
Krāja, m ³ ha ⁻¹	446	225	170	-	269	135	189	-
	-	78-365	35-325	-	7-521	38-210	123-254	-
Kūdras slānis, cm	-	41 (31-52)	59 (23-99)	47	81 (37-99)	43 (25-75)	65 (60-70)	90 (63-99)
Corg, g kg ⁻¹	490	463±26	344±96	447	483±37	316±97	430±53	546±17
Ntot, g kg ⁻¹	32	25±4	19±5	28	23±8	23±2	27±4	27±8
P, g kg ⁻¹	1,9	1,2±0,6	1,7±0	3,8	1,5±0,3	2,1±0,6	3,2±0,7	1,3±0,1
K, g kg ⁻¹	19	21±4	18±2	16	21±1	14±0,5	16±1	15±1
Ca, mg kg ⁻¹	0,3	0,4±0,02	0,5	0,6±0,1	0,3±0,03	0,7±0,3	1,0±4	0,6±0,01
Mg, g kg ⁻¹	18	10±6	14±4	42	16±2	24±8	32±8	12±3

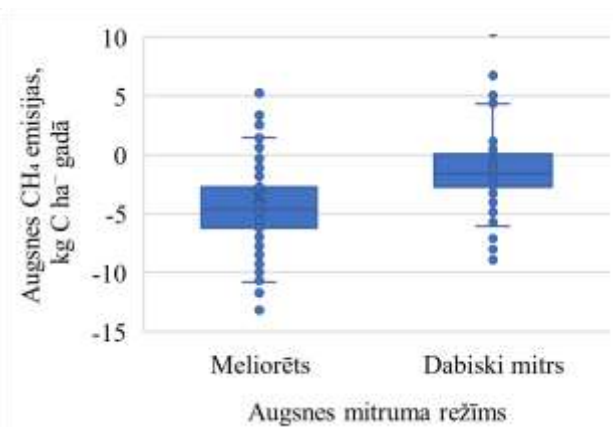
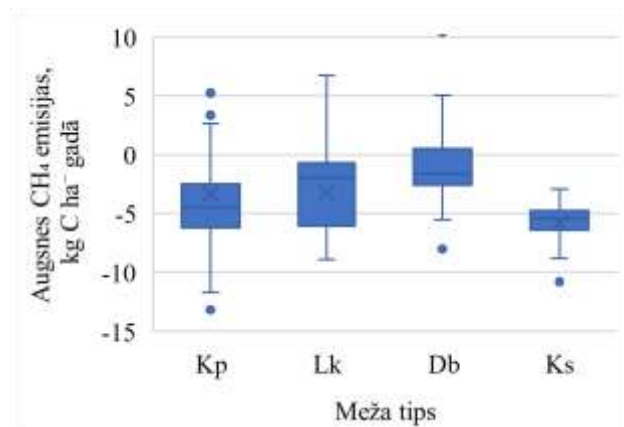
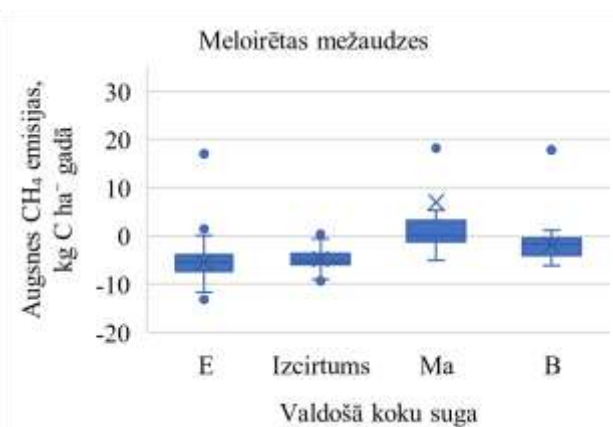
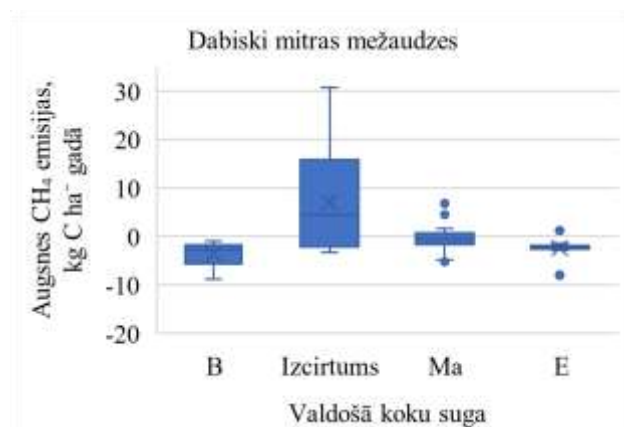
Tabula 2.15. Augšnes SEG emisiju un ietekmējošo faktoru sakarības ciešums

Augšnes emisijas ietekmējošais faktors		Korelācijas koeficients		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Gaisa temperatūra, C ⁰		0,03*	0,78	0,33*
Augšnes temperatūra 5 cm dziļumā, C ⁰		0,01*	0,85	0,33*
Augšnes tilpuma mitrums, %		0,71*	-0,23	0,18
Augšnes EVS, μS cm ⁻¹		0,51*	0,02	0,18*
Grūntsūdens līmeņa dziļums, cm		0,73*	-0,30	0,27*
Augšnes ūdens parametri	pH	-0,12	0,00	-0,27
	N-NO ₃ ⁻ , mg L ⁻¹	0,10*	-0,21	0,49
	P-PO ₄ ³⁻ , mg L ⁻¹	-0,16*	-0,08	-0,04
	N-NH ₄ ⁺ , mg L ⁻¹	0,14*	-0,21	0,15*
	K, mg L ⁻¹	-0,03	-0,02	0,15*
	Ca, mg L ⁻¹	0,11*	0,19	-0,20

Augsnes emisijas ietekmējošais faktors		Korelācijas koeficients		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Mg, mg L ⁻¹		0,09	0,20	-0,20
N _{kop.} , mg L ⁻¹		0,16*	-0,07	0,43
DOC, mg L ⁻¹		0,20	-0,02	0,02
EVS, μS cm ⁻¹		0,10*	0,24	-0,17

Apzīmējumu skaidrojums:

* Spīrmena rangu korelācijas koeficients	Ļoti vāja korelācija	Vāja korelācija	Vidēji cieša korelācija	Cieša korelācija
--	----------------------	-----------------	-------------------------	------------------



Attēls 29. Metāna emisijas valdošo sugu, augšanas apstākļu un meža tipu griezumā

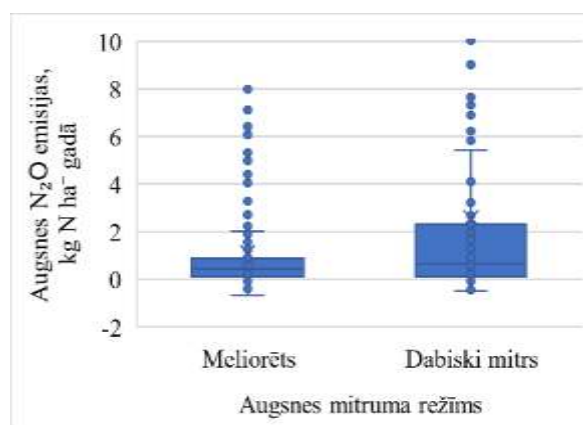
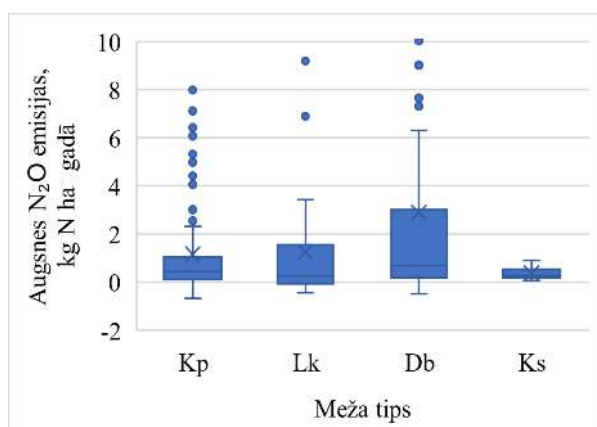
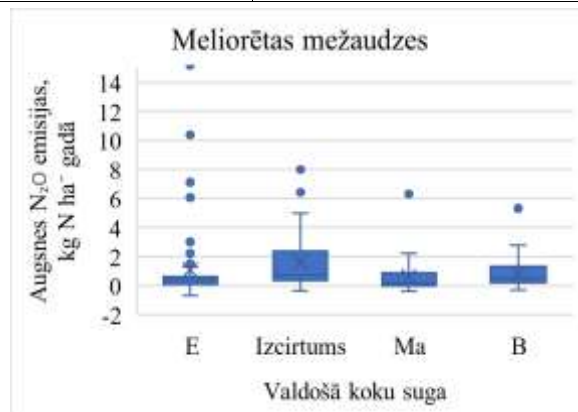
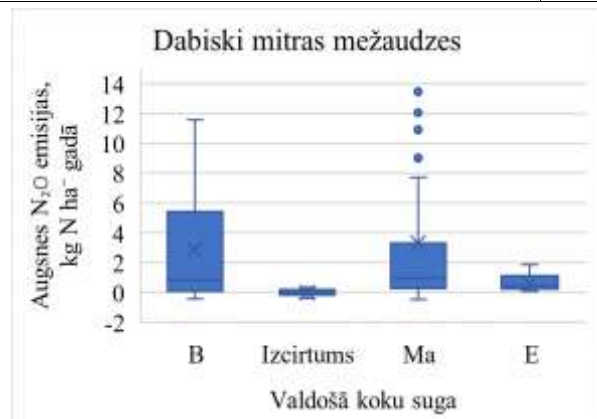
Tabula 2.16. Gruntsūdens līmeņa dziļuma ietekme uz augsnes CH₄ emisijām

Gruntsūdens līmenis, cm	Meliorētas mežaudzes		Mežaudzes ar dabiski mitru augsni					
	kg C-CH ₄ ha gadā	n	kg C-CH ₄ ha gadā	n	kg C-CH ₄ ha gadā	n	kg C-CH ₄ ha gadā	n
	visi dati		visi dati		bez ekstremālām emisijām		ar ekstremālām emisijām	
Applūdis	1,6±0,9	45	448,1±869,9	37	12,1±11,9	14	1025±1184,7	23
0-9	5,2±3,2	107	366,1±409,3	104	2,3±3,7	87	2233,5±2377,6	17
10-19	0,4±3,3	123	20,7±22,5	104	0,3±1,7	99	510,2±302,5	5
20-29	-2,8±0,4	105	-1,9±1	60	-1,9±1	60	-	0
30-39	-3,8±0,5	90	-2,7±1,1	60	-2,7±1,1	55	-2,1±1,6	5
40-49	-2,3±2,3	65	-2,4±0,6	25	-2,2±0,7	20	-3,3±1	5
50-59	-5±0,6	80	-2,1±1,2	65	-2,1±1,2	65	-	0
60-69	-5,1±0,5	105	-2,6±0,5	60	-2,6±0,5	55	-2,6±0,9	5
70-79	-5,6±0,5	115	-2,7±1,5	35	-2,7±1,5	35	-	0
80-89	-6,4±0,6	60	-3,9±1,2	20	-3,9±1,2	20	-	0
90-99	-7±0,6	70	-	0	-	0	-	0
100-119	-7,2±0,5	175	-5,6±1,1	20	-5,6±1,1	20	-	0
120-140	-5,8±1	20	-7,3±1,7	10	-7,3±1,7	10	-	0

Tabula 2.17. Ikgadējās augsnes CH₄ emisijas (kg C-CH₄ ha⁻¹ gadā) izmēģinājumu objektos

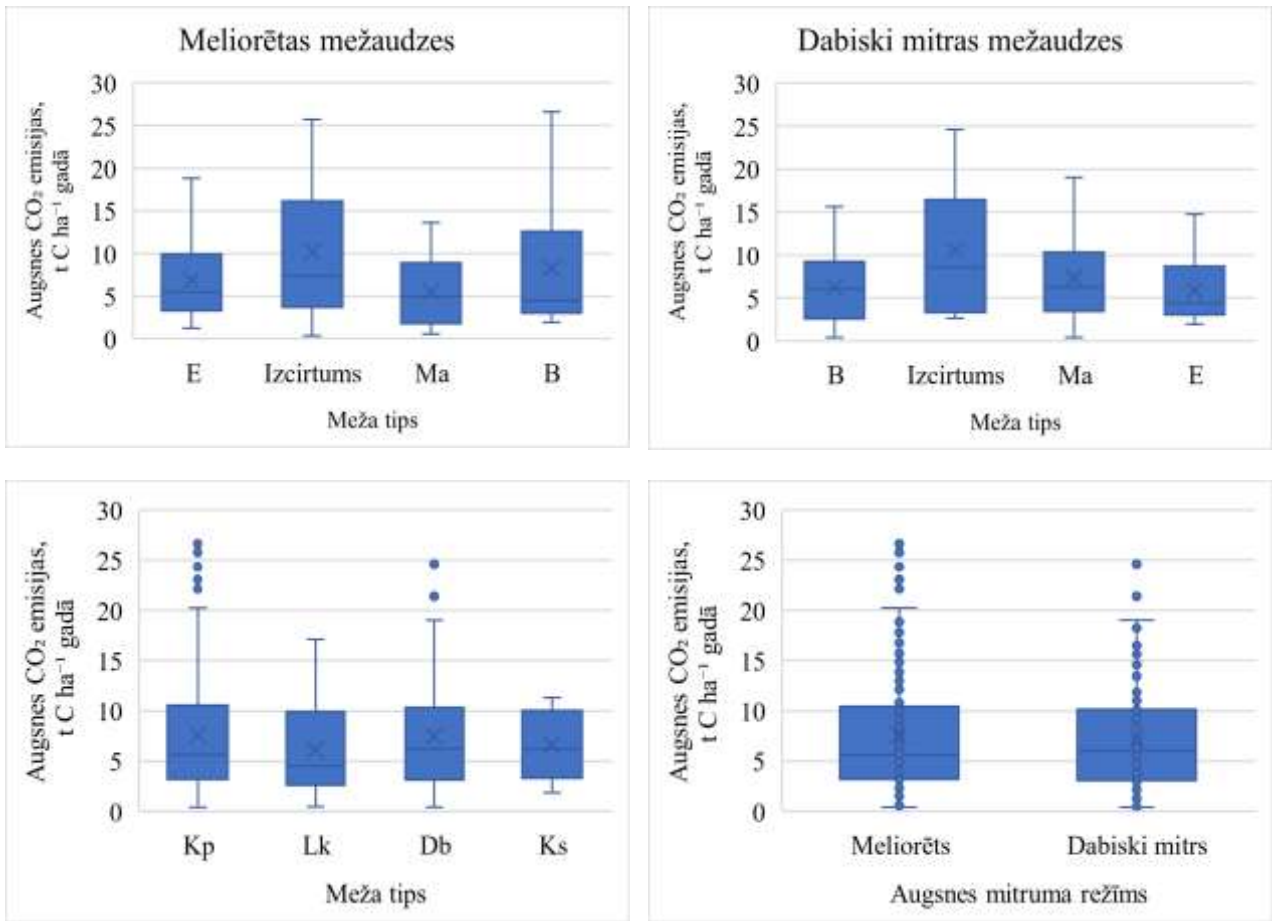
Valdošā koku suga	Meliorēta augsne	Dabiski mitra augsne
Bērzs	-1,7±2,0	-3,7±2,8
Egle	-5,5±1,0	-2,4±1,2
Izcirtums	-4,7±1,0	6,9±6,2
Melnalksnis	6,8±16,6	199,8±393,2
Melnalksnis (izņemot parauglaukumus ar ekstremālām emisijām)	-	-0,9±0,4

Valdošā koku suga	Meliorēta augsne	Dabiski mitra augsne
Melnalksnis (parauglaukumi ar ekstremālām emisijām)	-	10036,7±834,4
Vidēji	-3,47±0,94	100,6±101,0

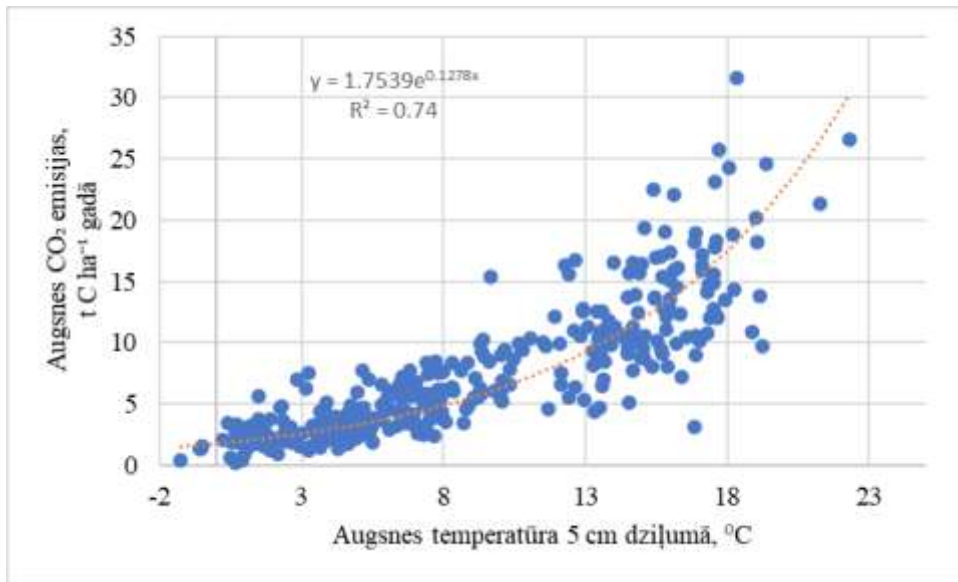


Attēls 30. Dislāpekļa oksīda emisijas valdošo sugu, augšanas apstākļu un meža tipu griezumā
 Tabula 2.18. Ikgadējās augsnes N₂O emisijas (kg N-N₂O ha⁻¹ gadā) izmēģinājumu objektos

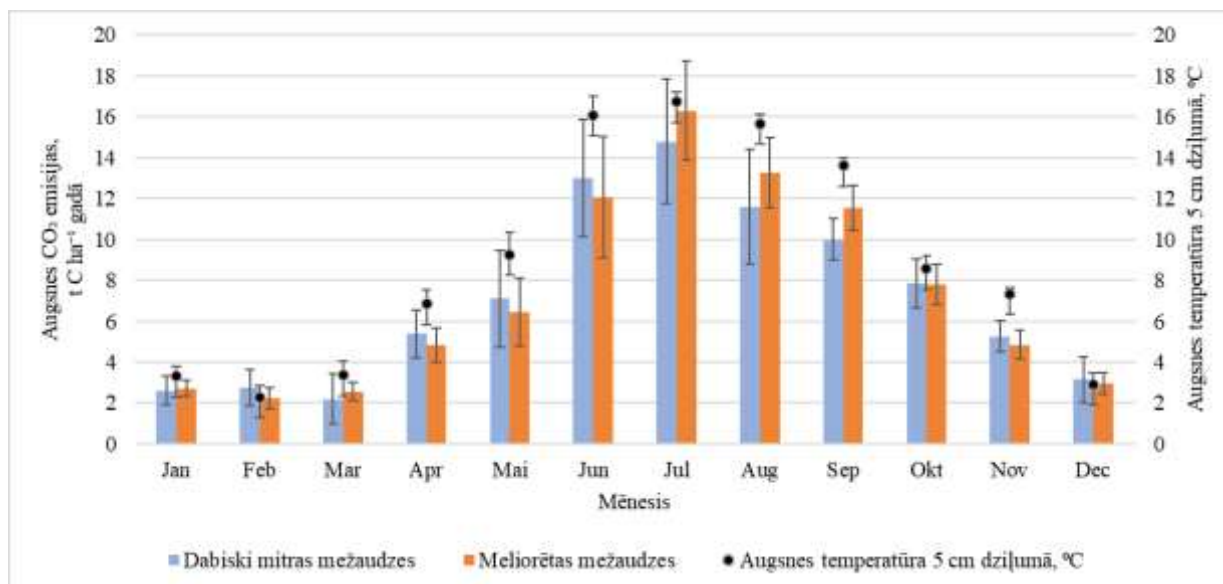
Valdošā koku suga	Meliorētas augsnes	Dabiski mitras augsnes
Bērzs	0,9±0,6	2,7±3,1
Egļe	1,0±0,9	0,6±0,3
Izcirtums	1,5±1,3	0±0,1
Melnalksnis	0,6±0,6	3,3±4,0
Vidēji	1,1±0,4	2,6±0,9



Attēls 31. Oglekļa dioksīda emisijas valdošo sugu, augšanas apstākļu un meža tipu griezumā



Attēls 32. Augsnes temperatūras un oglekļa dioksīda emisiju sakarība



Attēls 33. Vidējās ikmēneša CO₂ emisijas no purvaiņu un kūdreņu augsnēm

Pētījuma LIFE REstore mērķis ir izstrādāt lēmumu pieņemšanas atbalsta instrumentus atbildīgai degradēto kūdrāju teritoriju apsaimniekošanai un ilgtspējīgai izmantošanai Latvijā, tajā skaitā izstrādāt SEG emisiju faktorus.

Pētījuma galvenie uzdevumi:

- degradēto kūdrāju SEG emisijas mērīšanas metodes aprobēšana, kas balstīta uz lauka pētījumiem un ir saskaņā ar ANO starpvaldību ekspertu grupas klimata pārmaiņu (IPCC) pamatnostādņēm par siltumnīcefekta gāzu uzskaiti.
- veikt Latvijas degradēto kūdrāju inventarizāciju, izstrādāt datubāzi, un nodrošināt sabiedrības piekļuvi datu izmantošanai.
- izstrādāt lēmumu pieņemšanas atbalsta instrumentu degradēto kūdrāju teritoriju apsaimniekošanai, kas nodrošinātu bioloģiskās daudzveidības ekoloģiski atjaunojamo aspektu līdzsvaru, ieguvumus ekonomiskajai izaugsmei un SEG emisiju samazinājumu.
- atbalstīt politikas veidotājus, nodrošinot stratēģisku pamatu degradēto kūdrāju ilgtspējīgas izmantošanas pieeju īstenošanai un integrēšanai Nacionālajā Kūdras ieguves stratēģijā.

LIFE REstore izstrādātie emisiju vienādojumi apkopoti tab. 2.19.

Tabula 2.19. SEG emisiju faktori, kas izstrādāti LIFE REstore projektā (kopsavilkums atbilstoši Lazdiņš, Butlers, u.c. (2019))

SEG	Mežs		Aramzeme	Ilggadīgais zālājs	Dzērveņu plantācija	Melleņu plantācija	Pamesta platība bez veģetācijas	Apaugusi pamesta platība	Renaturalizētās platības	Kūdras lauki
	Km, Kv	Pv, Nd								
CO ₂	3,509	6,782	15,946	11,728	2,732	4,155	6,782	4,801	4,801	3,993

SEG	Mežs		Aramzeme	Ilggadīgais zālājs	Dzērveņu plantācija	Melleņu plantācija	Pamesta platība bez veģetācijas	Apagusi pamesta platība	Renaturalizētās platības	Kūdras lauki
	Km, Kv	Pv, Nd								
DOC ¹¹	1,137	0,880	1,137	1,137	0,880	1,137	1,137	0,880	0,880	1,137
CH ₄	0,546	0,710	0,050	0,631	0,136	0,614	0,674	3,331	3,331	0,257
CH ₄ no grāvjiem	0,136	0,000	1,456	1,456	0,678	1,456	0,271	0,000	0,000	0,678
N ₂ O	-0,022	0,020	2,879	0,150	0,102	0,420	0,020	0,097	0,097	0,206
Kopā	5,304	8,392	21,467	15,102	4,527	7,782	8,885	9,108	9,108	6,271

Selekcionēta stādmateriāla izmantošana ir viens klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumiem, lai arī selekcijas efekta iekļaušana koku augšanas gaitas modeļos Latvijā ir maz aplūkots temats. Pašreiz vietām joprojām izmantotie vēsturiskie modeļi balstās uz pagājušā gadsimta vidū ievāktiem empīriskajiem datiem, kad meža atjaunošanā vēl netika izmantots selekcionēts reproduktīvais materiāls un tie var nespēt pietiekami precīzi prognozēt koku augstuma pieaugumu. Lai arī jaunu modeļu izstrāde balstās uz meža statistiskās inventarizācijas vairākkārt pārmērītu parauglūkumu datiem, taču jaunaudžu vecuma grupās šādu parauglūkumu nav daudz. Selekcionēta meža reproduktīvā materiāla augšanas gaitas modelēšana ir aktuāla tendence pasaulē. Pietiekami precīzi taksācijas rādītāju pieauguma un audzes attīstības modeļi ir nepieciešami, jo intensīva mežsaimniecība prasa būtiskas investīcijas; tāpat ir svarīgi novērtēt mežsaimniecības ietekmi uz siltumnīcefekta gāzu apriti – līdz ar to klimata pārmaiņu mazināšanas potenciālu.

Selekcijas efekta ietekmes iekļaušana augšanas gaitas vienādojumos iepriekš veikta divas apjomīgākas analīzes. Vienā vērtēti parastās egles brīvapputes ģimeņu un klonu pēcnācēju pārbaužu stādījumi (aptuveni 20000 koku no 600 genotipu kopām – ģimenēm un kloniem) ar vienu atkārtotu pārmērījumu ar 4 – 5 gadu intervālu, Latvijas apstākļos aprobējot Zviedrijā izstrādātu individuāla koka augstuma pieauguma modeli. Konstatēts, ka vērtētais modelis prognozēja augstuma pieaugumu ar pietiekamu precizitāti: ģimeņu līmenī 92% gadījumu prognozes kļūda bija mazāka par 10%, un 66% gadījumu tā bija mazāka par 5%. Tomēr, lai izmantotu modeli, nepieciešams precizēt empīrisku koeficientu kopu virsaugstuma bonitātei jaunaudžu vecumā Latvijas apstākļiem.

Otrā pētījumā selekcijas efekta aprēķinos parastajai priedei, parastajai eglei un kārpainajam bērzam vērtētas divām meža reproduktīvā materiāla kategorijām – “uzlabots” un “pārāks”. Izmantoti pārmērītu koku augstuma dati, kas iegūti brīvapputes ģimeņu pēcnācēju pārbaužu stādījumos meža koku selekcijas programmas ietvaros. Kā kategorija “pārāks” atlasīti 10 % ģimeņu ar lielāko vidējo augstumu katrā stādījumā, bet kā kategorija “uzlabots” pieņemti pārējie 90 % ģimeņu. Izmantota Hossfeld IV (King-Prodan) vienādojuma GADA forma, kas tiek pielietota LVMI Silava augšanas gaitas modeļu sistēmā, kalibrējot vienādojumus ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem. Selekcijas efekta iekļaušana GADA vienādojumā veikta, vērtējot no kategorijas (uzlabots vai pārāks) atkarīgu empīrisku koeficientu iekļaušanu vienādojumā. Konstatēts, ka ar aproksimētajām koeficientu vērtībām priedes augstuma augšanas gaitas modelis prognozē mežsaimnieciski loģiskas augstuma izmaiņas. Virsaugstuma augšanas gaita raksturojama ar straujāku pieaugumu jaunākā

¹¹ Izmantotas IPCC 2014 Wetlands supplement vadlīnijas.

vecumā gan uzlabotam, gan pārākam selekcijas materiālam. Selekcijas uzlabojuma pakāpes specifiskais egles augstuma augšanas gaitas modelis uzrāda straujāku augšanu selekcionētam materiālam, tomēr prognozētās atšķirības starp selekcijas grupām ir praktiski maznozīmīgas. Bērza augstuma augšanas gaitas modeļi prognozē mežsaimnieciski loģisku daudz straujāku augšanu agrākā vecumā selekcionētam materiālam, kategorijai “pārāks” augot nedaudz straujāk par kategoriju “uzlabots”.

Veicot šos aprēķinus, secināts, ka turpmākai modeļu uzlabošanai un selekcijas efekta ietekmes uz oglekļa uzkrājumu raksturošanai būtiski eksperimentālo stādījumu pārmērījumi ar lielāku vecuma intervālu un/vai paraugkoku analīzes, precīzāk raksturojot pieauguma dinamiku. Papildus datu ievākšana 23 eksperimentālajos stādījumos paredzēta pētījuma “Algoritmu izstrāde meža apsaimniekošanas plānošanai” ietvaros. Tādēļ pētījumā “Oglekļa aprīte meža ekosistēmā” lietderīgi koncentrēties uz:

- atsevišķu (priedes) stādījumu pārmērīšanu, kura nav plānota Selekcijas programmas vai citu pētījumu ietvaros, iegūstot datus selekcijas ietekmes uz augšanas gaitu raksturošanai;
- selekcijas ietekmes uz klimata pārmaiņu mazināšanu aprēķiniem, izmantojot šī pārskata 8. nodaļā aprakstīto metodiku.
- publikāciju sagatavošanu par iegūtajiem sākotnējiem (2022. gads) un gala (2025. gads) rezultātiem, ņemot vērā SEG inventarizācijas praksi, ka ziņojumos tiek akceptētas tikai tās pieejas, kuras ir zinātniski pamatotas, kā pierādījumu izmantojot publikācijas starptautiskos zinātniskos izdevumos.

Tāpat, lietderīgi sagatavot adaptācijas, kas mazina vēja bojājumu risku, pasākumu kompleksa ietekmes uz SEG analīzi. To nebūs iespējams izdarīt šī pētījuma ietvaros, tādēļ tiks meklētas iespējams šī darba uzdevuma izpilde piesaistīt citu finansējumu. Tāpat, paredzēta jaunu izpētes objektu ierīkošana par tiem aspektiem, kur nav iespējams iegūt datus no esošajiem stādījumiem, fokusējoties zema biežuma (klonu) stādījumiem un ar selekcionētu materiālu atjaunotu jaunaudžu kopšanas efektu kūdreņos (egle un bērzs, 2023. gads). Izlases ciršu ietekme uz SEG dinamiku, ņemot vērā gan vētru bojājumu risku (datu ieguve plānota pētījumā “Klimata pārmaiņu ietekme uz mežsaimniecību un tās riskiem”), gan augšanas gaitu (datu ieguve plānota pētījumā “Atsevišķu koku un to grupu augšanas gaitas mijiedarbības monitorings un novērtēšana”) un papildus šajā pētījumā raksturojot noteiktu audžu (koku suga, meža tips, vecuma grupa) CO₂, CH₄ emisijas un piesaistes augsnei, nobīrās, veģetācijā, kā arī veicot finansējuma piesaistes iespēju meklēšanu plašāka pētījuma lielākas audžu kopas raksturošanai.

Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programmā konstatēts, ka meža mēslošana ir viens no efektīvākajiem risinājumiem SEG emisiju mazināšanai. Emisiju samazinājumu nosaka mēslojuma ražošanas radīto SEG emisiju un papildus CO₂ piesaistes attiecība. Slāpekļa minerālmēslojuma ražošana saistīta ar SEG emisijām (1,18 kg CO₂ ekv. uz 1 kg produkta, ja tas ražots Eiropas valstīs), kas, pārrēķinot uz biežāk izmantoto mēslojuma devu (150 kg N ha⁻¹), rada 514 kg CO₂ ekv. emisiju. Papildus līdz 50 kg CO₂ ekv. ha⁻¹ rada mēslojuma transports un izkliešana. Attiecīgi, kopējās SEG emisijas, kas saistītas ar mēslojuma izmantošanu ir 564 kg CO₂ ha⁻¹. Saskaņā ar Latvijā un Ziemeļvalstīs veiktu pētījumu rezultātiem izmēģinājumos izmantotā mēslojuma deva nodrošina 15 m³ ha⁻¹ krājas papildpieaugumu, kas atbilst 20 t CO₂ ekv. piesaistei. Tātad, SEG emisijas, izmantojot slāpekļa mēslojumu mežā, ir 35 reizes mazākas nekā CO₂ piesaiste dzīvajā biomasā. Palielinātais krājas pieaugums sekmē evapotranspirāciju, tādējādi pazeminot gruntsūdens līmeni un samazinot CH₄ emisijas no augsnes pārmitrās platībās, taču šis process Latvijā nav pētīts. Tāpat nepietiekoši pētīta mēslojuma ietekme uz augsnes oglekļa apriti. Kopējais SEG emisiju samazināšanas potenciāls, izmantojot slāpekļa mēslojumu valsts mežos briestaudzēs saskaņā ar Bērziņa u.c. (2018) izmantoto metodiku un Meža resursu monitoringa 3. cikla datiem, līdz 2050. gadam laikā var sasniegt 2,5 milj. tonnas CO₂, neskaitot ietekmi uz SEG emisijām no augsnes un ilglaicīgu oglekļa uzkrājumu pieaugumu visās oglekļa krātuvēs.

Pelnu izkliedēšana palielina krājas pieaugumu (par $1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā saskaņā ar Latvijā veikto pētījumu rezultātiem), tādējādi palielinot CO_2 piesaisti visās oglekļa krātuvēs. Ienesot koksnes pelnus pēc starpcirtes, palielinātais krājas pieaugums sekmē evapotranspirāciju, tādējādi pazeminot gruntsūdens līmeni un samazinot CH_4 emisijas no augsnes. SEG emisiju samazināšanas potenciāls kūdreņos valsts mežos 20 gadu laikā var sasniegt 2,5 milj. tonnas CO_2 , neskaitot SEG emisiju no augsnes samazinājumu un ilglaicīgu oglekļa uzkrājumu pieaugumu visās oglekļa krātuvēs.

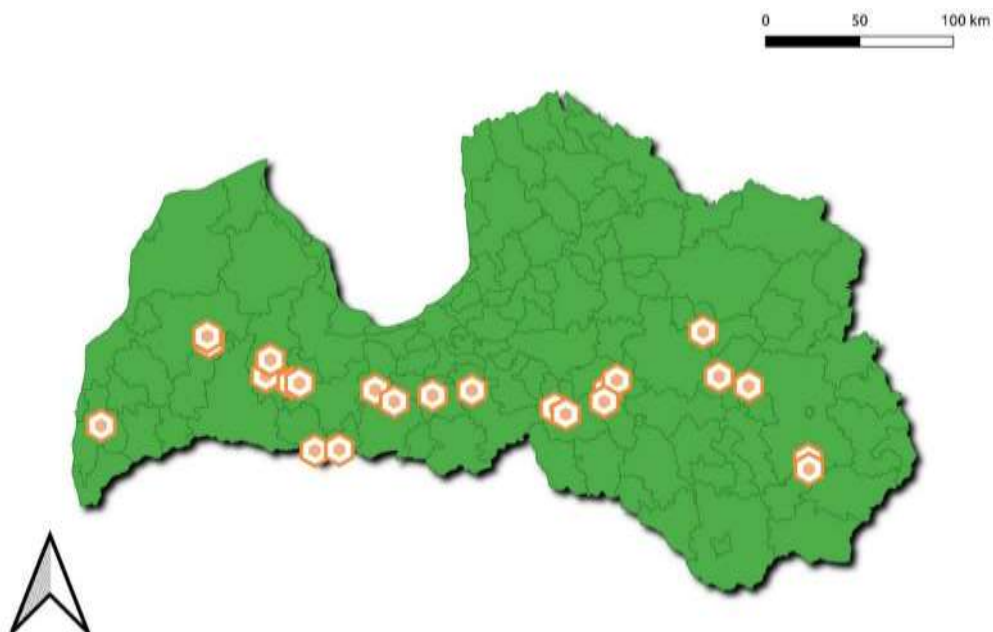
Koku augšanas apstākļu pētījumu programmā secināts, ka skujkoku jaunaudzēs mēslojuma efektivitāte būtiski pārsniedz prognozēto, norādot uz jaunaudžu un vidēja vecuma audžu mēslošanu ar slāpekļa mēslojumu kā potenciāli ļoti efektīvu klimata pārmaiņu mazināšanas instrumentu, ko var īstenot lielās platībās, īsā laikā nodrošinot būtisku (par līdz pat 50% 20-25 gadus vecās egļu audzēs) CO_2 piesaistes palielinājumu dzīvajā biomasā. Jaunaudžu un vidēja vecuma audžu mēslošana var sniegt būtisku, ja ne nozīmīgāko, ieguldījumu klimata pārmaiņu mazināšanas mērķu sasniegšanā līdz 2030. gadam, tāpēc šim pasākumam jāpievērš pastiprināta uzmanība, plānojot turpmākos pētījumus un ražošanas mēroga izmēģinājumus. Darba uzdevumi, kas saistīti ar meža mēslošanas un koksnes pelnu izmantošanas ietekmi uz SEG emisijām, tajā skaitā SEG emisijas no augsnes un koku stumbriem, kā arī mēslošanas režīmu optimizācija iekļauti koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programmas turpinājuma darba uzdevumos (Kārkliņa u.c., 2021).

2.5. Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO_2 piesaisti izpēte

2021. gada vasarā darba uzdevuma “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” ietvaros apsekoti 2011. gadā ierīkotie lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas pētījumu objekti, kuros atkārtoti ievākti augsnes paraugi augsnes oglekļa uzkrājuma raksturošanai 0-80 cm dziļumā, kā arī noteikti mežaudžu taksācijas rādītāji. 2022. gadā veiksīm zemsedzes biomasas paraugu ievākšanu šajās platībās, lai raksturotu oglekļa uzkrājuma izmaiņas zemsedzē pēc apmežošanas. Pētījuma ietvaros 2021. gadā apsekotas 33 audzes, tajā skaitā 28 audzēs ir saglabājies kokaugu stāvs un tās izraudzītas turpmākajiem novērojumiem (att. 34).

Audzū taksācijas rādītāji 2011. gadā ierīkotajos izmēģinājumu objektos apkopoti tab. 2.20. Taksācijas rādītāji valdošās sugas griezumā apkopoti tab. 2.21. Pētījumā secināts, ka lielākais vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājuma pieaugums dzīvajā biomasā bija priedes audzēs, bet vismazākais – egles audzēs.

Augsnes īpašības izmēģinājumu objektos būtiski izmainījušās – augsnes virskārtas (0-40 cm) blīvums samazinājies par 13%, norādot uz būtiski uzlabotu augsnes aerāciju, bet vienlaicīgi samazinājies arī augsnes oglekļa uzkrājums, kas atbilst zinātniskajā literatūrā pieejamajiem datiem par iespējamu augsnes oglekļa uzkrājuma samazināšanos pirmajos gados pēc apmežošanas (Hou u.c., 2020), kam seko augsnes oglekļa uzkrājuma pieaugums, sakļaujoties koku vainagiem (Vesterdal u.c., 2007).



Attēls 34. 2021. gadā apsekoto apmežošanas parauglaukumu izvietojums

Tabula 2.20. 2012. gadā ierīkoto izmēģinājumu objektu pārmērīšanas rezultāti

Audzē	Valdošā suga	Meža tips	D, cm	H apr. m	Krājā, m ³	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Biomasa, tonnas ha ⁻¹	Ogleklis, tonnas ha ⁻¹	Krājā, m ³ ha ⁻¹	Platība, ha	Vecums
206-206-51	4	4	10,1	9,9	0,0483	1 540	8,3	23,2	11,6	42,5	5,4	12
206-493-51	1	4	10,1	6,6	0,0334	1 700	14,2	30,7	15,3	56,8	0,5	12
208-144-21	3	5	8,9	5,0	0,0204	1 200	7,7	4,1	2,0	24,5	4,7	14
208-149-9	4	5	7,1	7,5	0,0202	1 900	5,7	13,5	6,7	24,5	5,4	12
208-17-6	3	5	9,9	6,6	0,0315	1 320	8,1	5,2	2,6	31,2	3,9	13
208-8-17	3	5	3,7	3,4	0,0035	800	0,9	0,4	0,2	2,8	1,9	12
208-8-19	4	5	14,7	14,7	0,1227	1 740	19,1	71,3	35,7	132,2	5,1	14
209-164-10	1	19	14,9	9,6	0,0911	1 240	17,6	47,0	23,5	88,5	1,0	14

Vecums	Platība, ha	Krājā, m ³ ha ⁻¹	Ogleklis, tonnas ha ⁻¹	Biomasa, tonnas ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Krājā, m ³	H apr. m	D, cm	Meža tips	Valdošā suga	Audzē
13	2,3	32,4	8,8	17,6	8,4	1 100	0,0294	6,3	9,8	4	1	209-165-17
13	4,0	14,6	4,0	8,1	3,7	1 700	0,0147	7,1	6,2	5	4	503-379-14
12	10,9	16,7	4,6	9,2	4,1	2 300	0,0123	6,9	5,6	5	4	503-431-2
12	2,6	63,9	17,4	34,7	11,1	1 220	0,0559	11,5	10,9	5	4	503-529-2
12	1,6	57,3	15,5	31,1	10,2	1 800	0,0379	10,7	8,9	5	4	506-92-34
13	1,7	54,0	14,5	29,1	13,7	1 420	0,0400	6,8	11,1	4	1	507-324-40
12	3,8	75,1	20,1	40,3	13,7	2 320	0,0378	10,9	9,2	4	4	508-220-22
13	4,5	43,5	11,8	23,5	6,4	540	0,0913	14,2	12,8	5	4	508-455-2
12	10,3	10,3	0,7	1,5	3,2	2 400	0,0043	3,5	4,0	5	3	605-169-51
12	3,9	39,0	3,3	6,6	9,1	1 300	0,0300	7,0	9,3	5	3	605-201-51
12	4,7	54,8	4,1	8,1	14,2	8 500	0,0083	4,7	5,1	5	3	607-113-51
13	1,2	168,5	45,1	90,3	36,9	3 520	0,0522	8,1	11,8	4	1	607-152-4
12	3,1	3,4	0,9	1,9	1,1	200	0,0172	4,8	8,4	19	1	608-227-27
11	2,9	5,7	1,2	2,4	1,8	600	0,0118	5,0	6,7	19	1	611-40-20
13	2,6	44,4	6,0	12,1	8,6	1 640	0,0561	8,7	10,2	5	3	802-194-22
12	2,4	10,0	0,8	1,5	2,8	900	0,0127	5,1	6,8	5	3	803-237-35
12	0,9	48,9	13,3	26,6	12,8	1 900	0,0258	6,3	9,2	4	1	808-201-27
13	0,4	48,7	13,3	26,5	12,2	1 900	0,0257	6,5	9,0	4	1	809-213-8

Vecums	Platība, ha	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Ogleklis, tonnas ha ⁻¹	Biomasa, tonnas ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	Krāja, m ³	H apr. m	D, cm	Meža tips	Valdošā suga	Audzē
15	5,5	50,5	4,4	8,8	10,6	1 200	0,0421	8,2	10,5	5	3	809-253-3

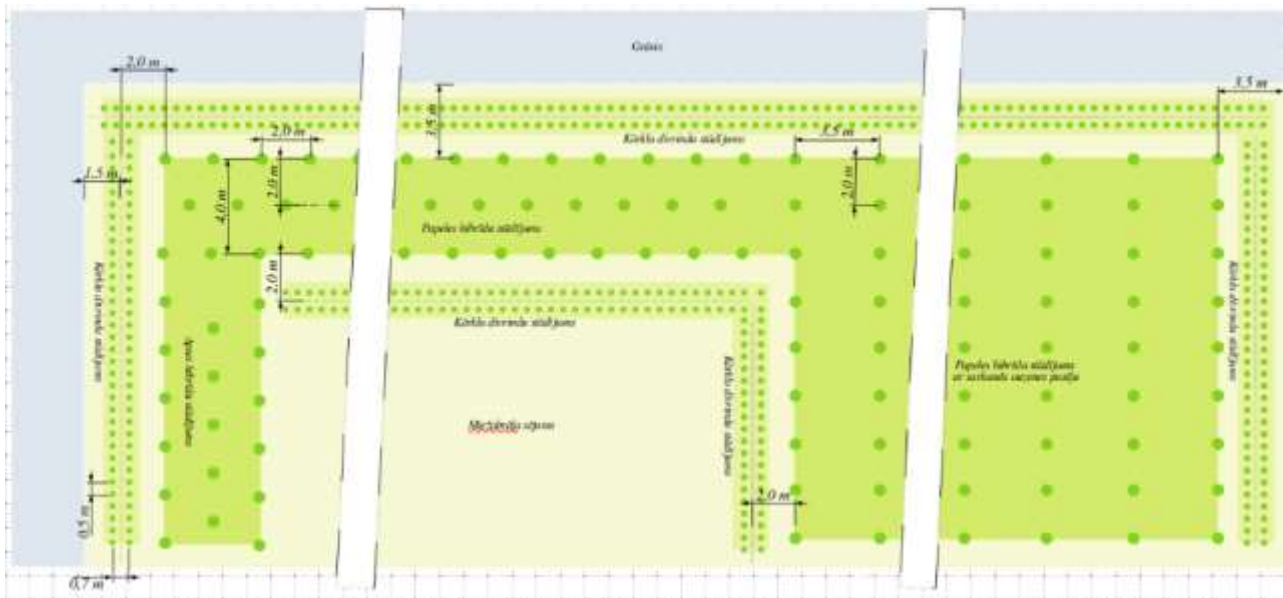
Tabula 2.21. Taksācijas rādītāju kopsavilkums sugu griezumā

Valdošā suga	D, cm	H, m	Koku skaits, gab. ha ⁻¹	G, m ² ha ⁻¹	Biomasa, tonnas ha ⁻¹	Ogleklis, tonnas ha ⁻¹	Krāja, m ³ ha ⁻¹	Oglekļa uzkrājums, tonnas C ha ⁻¹ gadā
B	9,5	10,4	1 240	8,6	44,3	22,2	50,2	1,8
E	7,6	5,8	1 207	5,9	27,6	13,8	24,5	1,1
P	10,1	6,6	1 476	13,1	56,6	28,3	56,1	2,2
Vidēji	9,1	7,6	1 307	9,2	42,8	21,4	43,6	1,7

Paralēli ievākti augsnes paraugi un veikts kokaudzes stāva raksturojums 3 platībās ar organiskām augsnēm, kas ierīkotas LIFE REstore, LIFE OrgBalt un citu projektu ietvaros (audžu vecums no 3 līdz 32 gadiem, valdošā suga – priede, bērzs, melnalksnis, papeles hibrīdi, kopējā platība ap 25 ha), kā arī 2 stādījumi platībās ar minerālaugsnēm (audžu vecums no 3 līdz 15 gadiem, valdošā suga – priede, bērzs, melnalksnis, alkšņa, papeles, apses hibrīdi, saldaiss ķirsis, egle, kopējā platība ap 30 ha).

2021. gadā daļēji īstenoti arī 2022. gada darba uzdevumi, veicot augsnes analīzes iepriekšējos gados ierīkotajos izmēģinājumu objektos.

Darba uzdevuma “Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskām augsnēm un minerālaugsnēm. Iespējamo izmēģinājumu vietu atlase. Stādījumu dizaina plānošana” izpildes ietvaros 2021. gadā veikta izmēģinājumu vietu atlase buferjoslu stādījumu ierīkošanai un izstrādāts izmēģinājumu platības dizains buferjoslu ietekmes plānošanai. Ņemot vērā, ka sadarbībā ar ZS “Andrupēni” LIFE OrgBalt projekta ietvaros jau ierīkots izmēģinājumu objekts organiskajās augsnēs, līdzīgu objektu ierīkosim arī minerālaugsnē sadarbībā ar Meža pētīšanas staciju. Stādījumā izmantosim Latvijas apstākļiem piemērotus papeles hibrīdus un selekcionētus kārķu klonus, kas paredzēti kūdras augsnēm (att. 35). 2021. gadā atlasītas vairākas iespējamās platības, no kurām pēc augsnes analīžu pabeigšanas 2022. gada pavasarī izvēlēsimies 1 platību, kurā 2022. gada laikā veiksīm references mērījumus pirms stādījumu ierīkošanas, 2023. gadā ierīkosim stādījumu sadarbībā ar Meža pētīšanas staciju un 2023., 2024. un 2025. gadā turpināsim gāzu apmaiņas novērojumus, kā arī sekosim kokaugu attīstības gaitai un novērtēsim oglekļa ienesi augsnē ar augu atliekām. Paralēli turpināsim novērojumus LIFE OrgBalt ietvaros ierīkotajā objektā. Novērojamie parauglaukumus izvietosim kokaugu stādījumā, buferjoslā gar meliorācijas grāvi un laukaugu sējumā.



Attēls 35. Kokaugu stādījuma dizains minerālaugsnē

Jaunus izmēģinājumu objektus plānots ierīkot kūdras augsnēs sadarbībā ar Meža pētīšanas staciju (MPS), tajā skaitā salīdzinot SEG emisijas apmežotās platībās, kurās ir regulēts gruntsūdens līmenis un platībās, ko apsaimnieko kā paludikultūras – gruntsūdens līmenis nav regulēts. 2021. gadā ar ekskavatoru sagatavota augsne 2 platībās MPS Rucavas un Mežoles mežu novados, kuras plānots apsaimniekot kā paludikultūras, stādot egli un melnalksni. Šajās platībās pirms augsnes gatavošanas veikti gāzu apmaiņas mērījumi, lai iegūtu references datus pirms augsnes gatavošanas. Sākotnējais zemes izmantošanas veids abās platībās – ilggadīgais zālājs. Platība ar optimālu mitruma režīmu izraudzīta MPS Kalsnavas meža novadā. Šajā platībā augsnes gatavošanu plānots veikt 2022. gadā, bet stādīšanu 2023. gadā. 2022. gada laikā platībā ar optimālu mitruma režīmu veiksīm gāzu apmaiņas mērījumus, lai iegūtu references datus pirms augsnes gatavošanas.

Novērojumu programmas, ko īstenosim parauglaukumos āreņos un slapjainos atbilstoši 1. pielikumā pievienotajai metodikai:

1. veģetācijas raksturojums (projektīvais segums);
2. zemsedzes veģetācijas biomasa (virszemes un pazemes biomasa augu grupu griezumā);
3. koku stāva raksturojums;
4. augsnes elpošana;
5. SEG emisijas no augsnes;
6. gruntsūdens līmenis (periodiski mērījumi);
7. augsnes temperatūra (periodiski mērījumi);
8. augsnes mitrums (periodiski mērījumi).

Darbībā 5.3. “Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām” ietvaros, uzsākot pētījumu programmas īstenošanu, īstenota arī sabiedrības informēšanas kampaņa caur plašsaziņas līdzekļiem, gan stāstot kādi mērķi ir sasniedzami, gan rādot kādu ieguldījumu klimata mērķu sasniegšanā var nodrošināt mērķtiecīga koku audzēšana un ieaudzēšana lauksaimniecībai mazāk piemērotās zemēs.

Sagatavoti divi televīzijas sižeti – vien no tiem par klimata politikas mērķiem un klimata aktualitātēm¹², otrs – par rezultātu, kāds sasniegts, apmežojot izstrādātu kūdras atradni¹³.

Sniegtas intervijas populārzinātniskiem rakstiem “Kartupelis priedei nav konkurents”¹⁴ un “Saimniekot pa vecam nevarēs”¹⁵. Sagatavots raksts “Organiskās augsnes – vislielākais SEG emisiju avots”¹⁶, kurā skaidrots, kādi klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumi veicami, lai nodrošinātu klimata pārmaiņu mazināšanas saistību izpildi ZIZIMM sektorā, tostarp ierīkojot mežaudzes nemeža zemēs. Sagatavots pirmais raidieraksts “Kā panākt lai koki augtu ātrāk” par kokaudzju mēslošanu un stādījumu ierīkošanu, lai sekmētu klimata politikas mērķu īstenošanu, nepalielinot saimnieciskās darbības ietekmi uz vidi.

Nākamajā gadā plānots viens raidieraksts reizi ceturksnī. 2021. gadā apsekojām līdz šim ierīkotos izmēģinājumu objektus, 2022. gadā, uzsākot jaunu izmēģinājumu ierīkošanu, veidosim foto-video dienasgrāmatu LVMI Silava Facebook lapā un Youtube kanālā. Informēsim par aktualitātēm LVM informācijas speciālistus, lai kopīgi sagatavotu materiālus LVM mājas lapas sadaļai Jaunami 2 reizes gadā.

Lai veicinātu lauksaimnieku izpratni par apmežošanu un citiem veidiem, kā audzēt kokus ārpus meža zemēm, nodrošinot C piesaisti koku biomasā un citās oglekļa krātuvēs, un samazinot SEG emisijas no augsnes, pieteikta dalība konferencē Līdzsvarota Lauksaimniecība 2022 ar ziņojumu “Koki lauksaimniecības zemē”. Arī nākamajā gadā pētījumā iesaistītie zinātnieki sniegs intervijas un sadarbosies ar TV un radio raidījumu veidotājiem.

2.6. Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai

Pētījuma ietvaros identificēti mežizstrādes risinājuma, kas veicina SEG emisiju samazinājumu, kā arī izstrādāta metodika šo risinājumu ietekmes novērtēšanai. Risinājumu vispārīgais raksturojums, kā arī nepieciešamie uzlabojumi apkopoti 2. pielikumā.

Izmantojot Meža darbu mašinizācijas un biokurināmā pētījumu programmas (2016.-2020. gads) rezultātus par kompaktklases tehnikas izmantošanu meža darbos, pētījumā izstrādātā metodika apobēta, salīdzinot Vimek kompaktklases mežizstrādes mašīnu komplektu (forvarders un harvesters) un vidējās klases mežizstrādes tehnika, novērtējot SEG emisijas ražošanas procesā un to samazināšanas potenciālu meža biokurināmā ražošanā.

Vidējās klases mežizstrādes sistēmas kopējais degvielas patēriņš 6,5 L uz m³ (SEG emisijas 15,7 kg CO₂ ekv. m⁻³), bet kompaktklases mašīnu kopējais degvielas patēriņš līdzvērtīgos apstākļos ir 4,7 L uz m⁻³ (SEG emisijas 10,3 kg CO₂ ekv. uz m³). Pievešanas attālums 145 m, šķeldu transportēšanas attālums 50 km vienā virzienā. Kopējās SEG emisijas abās mežizstrādes sistēmās parādītas att. 36.

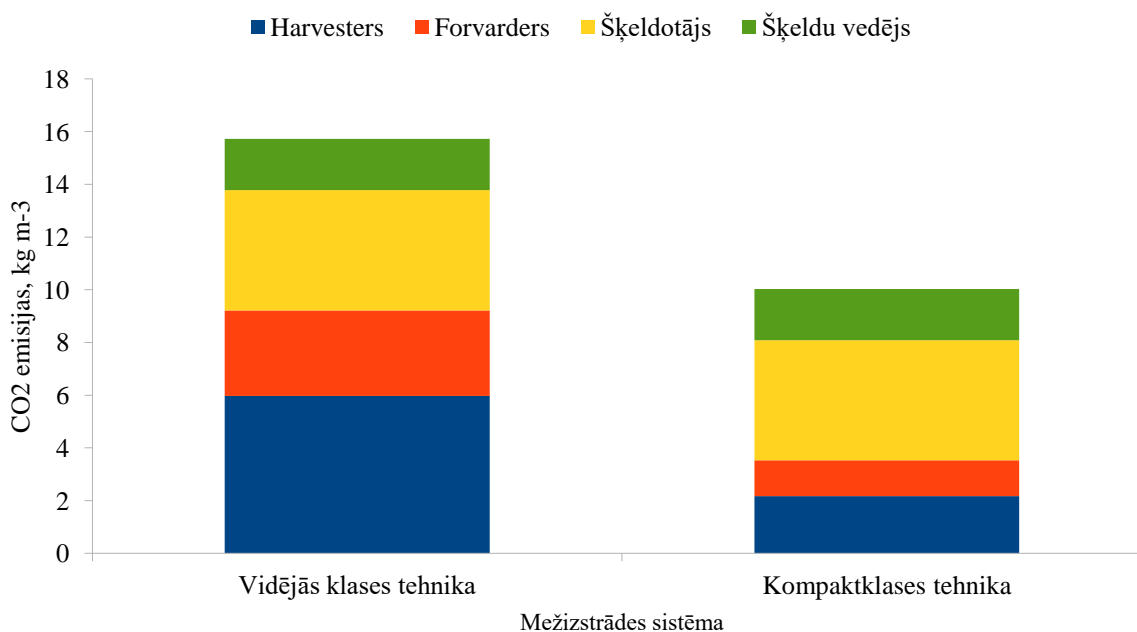
¹² RīgaTV24, raidījumā „Aktualitātes” 20.11.2021. plkst.18:30 un atkārtojums 22.11.2021. plkst 07:30 (https://youtu.be/TR_E3B5xSnE)

¹³ RīgaTV24, raidījumā „Aktualitātes” 25.12.2021. plkst.18:30 un atkārtojums 27.12.2021. plkst 07:30. (<https://youtu.be/z6YyBt9AdDA>)

¹⁴ <https://lvportals.lv/viedokli/328624-kartupelis-priedei-nav-konkurents-2021>

¹⁵ Latvijas Bizness, otrdiena, 2021.09.28.<https://www.la.lv/atraisit-brivakas-rokas-meza-ipasniekiem-kuriem-sajos-neskaidrajos-laikos-jasaimnieko-mezsaimnieki-iezime-nopietnas-problemas>

¹⁶ Agrotops, Septembris,2021, <https://izdevumi.latvijasmediji.lv/izdevumi/at/2021/09/01/37>



Attēls 36. SEG emisiju kopsavilkums vienādos apstākļos novēlotās jaunaudzū kopšanas cirtēs

Kopējais potenciālais SEG emisiju samazinājums, izmantojot kompaktklases tehniku, atbilstoši vidējiem mežizstrādes rādītājiem, jaunaudzū kopšanas cirtēs (ap 130 tūkst. m³ gadā) ir 700 t CO₂ ekv. gadā; grāvju apauguma novākšanā (ap 100 tūkst.m³ gadā saskaņā ar MRM datiem) – 540 t CO₂ ekv. gadā; krājas kopšanas cirtē (ap 1900 tūkst.m³ sīkkoku biokurināmā gadā, atkarībā no 1. kopšanas cirtes īpatsvara) – līdz 10,6 tūkst. t CO₂ ekv. gadā; apauguma novākšanā un baltalkšņa audzēs – ap 10 tūkst. t CO₂ ekv. Kopumā kompaktklases tehnikas izmantošana ļautu samazināt degvielas patēriņu par līdz pat 10% no meža tehnikas radītajām SEG emisijām. SEG emisiju samazināšanās efekts atkarīgs no pievešanas attāluma – jo lielāks pievešanas attālums, jo mazāku pozitīvu efektu rada kompaktklases pievešanas tehnikas izmantošana, taču šādos apstākļos var izmantot 2 forvarderus, cirsmas malā pārkraujot kokmateriālus lielākā forvarderā, tādējādi izmantojot kompaktklases tehnikas priekšrocības un nepalielinot SEG emisijas kokmateriālu pievešanai.

2.7. Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma

2021. gadā šajā darbību grupā vēl nav iegūti rezultāti. Datu analīzi sāksim pēc empīrisku datu ieguves āreņos un slapjainos un purvainos, kur ūdens režīms uzlabots ar dziļvagu palīdzību.

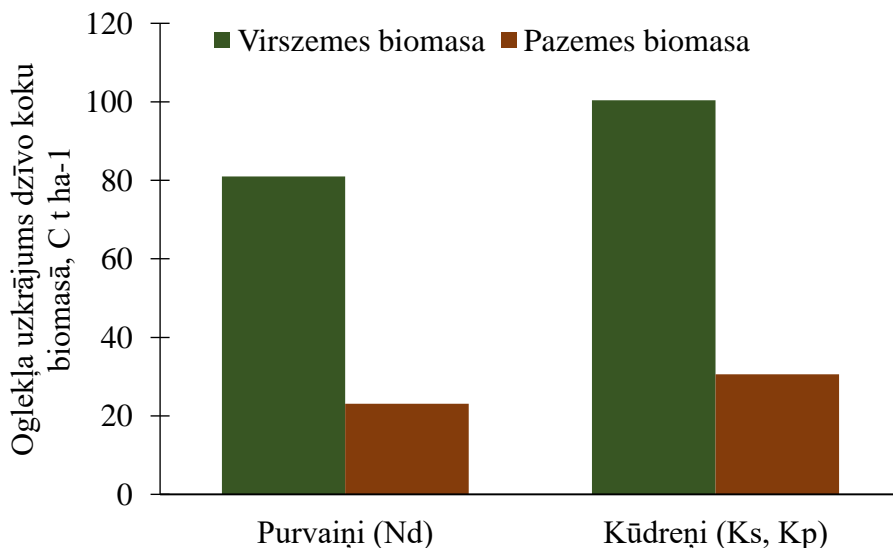
2.8. Oglekļa bilance vecās mežaudzēs

Pētījuma uzdevums ir empīrisku datu ieguve un vienādojumu izstrādāšana oglekļa aprites un SEG emisiju raksturošanai bioloģiski vecās un pieaugušās audzēs kūdreņos. 2021. gadā īstenotās darbības ir pētījumu objektu atlase, atbilstoši taksācijas un attālās izpētes datiem, kā arī apsekošana un objektu izvēle; parauglaukumu ierīkošana oglekļa uzkrājuma raksturošanai pāraugušās lapkoku audzēs un parauglaukumu ierīkošana oglekļa bilances raksturošanai nākamajos pētījuma etapos (nobiras, saknes, augsnes emisijas) bērza audzēs.

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

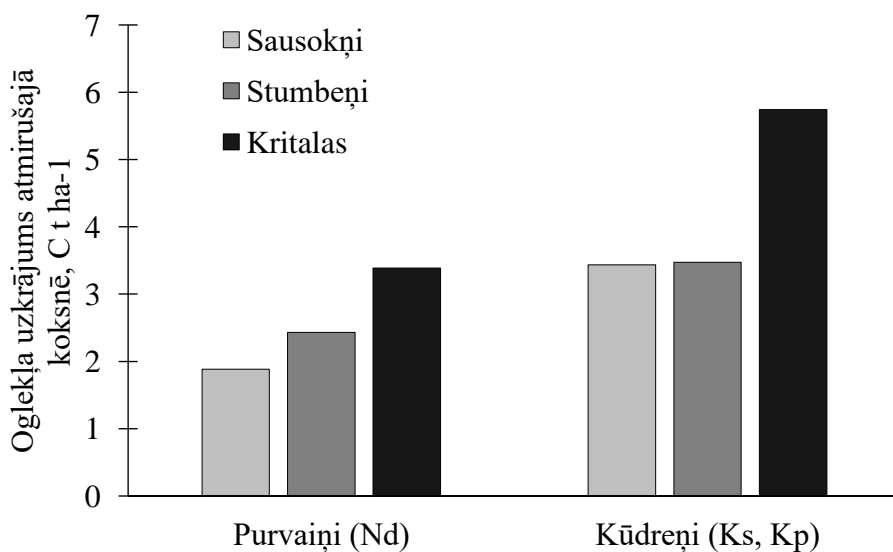
Niedrāja meža tipā veco bērza audžu vecums ir no 113 līdz 164 gadiem (vidēji 126 ± 5 gadi) (± 95% ticamības intervāls). Tā kā statistiskajā analīzē netika konstatētas būtiskas atšķirības starp Ks un Kp audžu vērtībām (vecums, oglekļa uzkrājums) (p=0,2 līdz 0,4), turpmākā rezultātu analīze veikta kūdreņiem (Ks un Kp). Pētījumā analizēto veco bērza audžu vecums kūdreņos (Ks un Kp) ir no 111 līdz 132 gadiem (vidēji 121 ± 2 gadi).

Salīdzinot Nd un kūdreņus secināts, ka oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā būtiski atšķiras ($p < 0,001$). Arī salīdzinot oglekļa uzkrājumu dzīvo koku virszemes un pazemes biomasā starp meža tipiem konstatētas statistiski būtiskas atšķirības (abiem $p < 0,001$). Vidējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā vecās bērzu audzēs Nd meža tipā ir $104 \pm 5,6 \text{ C t ha}^{-1}$ (variē no 67 līdz 149 C t ha^{-1}), bet kūdreņos vidējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā ir $131 \pm 7,6 \text{ t ha}^{-1}$ un arī tas ir variē plaši no 79 līdz 197 C t ha^{-1} . Dzīvo koku virszemes biomasā uzkrāj gandrīz 80% no kopējā oglekļa uzkrājumu koku biomasā gan Nd, gan kūdreņos, bet pazemes biomasā, kurā ietilpst balstsaknes, uzsūcošās saknes un celms veido tikai vienu ceturto daļu no kopējā oglekļa uzkrājuma dzīvajā biomasā (att. 37).



Attēls 37. Vidējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā vecās bērza audzēs purvaiņu un kūdreņu meža tipos ($\pm 95\%$ ticamības intervāls)

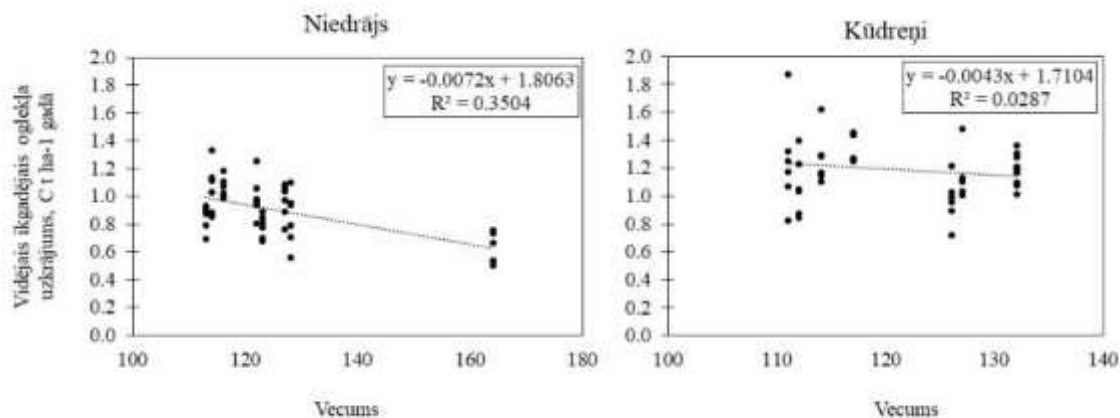
Oglekļa uzkrājums atmirušajā koksne ir būtiski atšķirīgs starp Nd un kūdreņiem ($p < 0,001$), jo novērotas būtiskas atšķirības starp oglekļa uzkrājumu kritālās (att. 38). Vidējais oglekļa uzkrājums atmirušajā koksne vecās bērzu audzēs Nd ir būtiski mazāks nekā kūdreņos, $8 \pm 1,2$ un $13 \pm 1,9 \text{ C t ha}^{-1}$. Tāpat kā oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā, arī atmirušajā koksne oglekļa uzkrājums stipri variē starp PL no 3 līdz 30 C t ha^{-1} kūdreņos un 1 līdz 19 C t ha^{-1} Nd meža tipā.



Attēls 38. Vidējais oglekļa uzkrājums atmirušajā koksne (kritālas, sausokņi, stumbeņi) purvaiņu un kūdreņu meža tipos vecās bērza audzēs ($\pm 95\%$ ticamības intervāls)

Sausieņos un stubeņos novērots mazāks oglekļa uzkrājums kā kritalās gan Nd, gan purvaiņu mežu tipos vecās bērza audzēs, tomēr Nd meža tipā atšķirības starp atmiruma veidiem nav statistiski būtiska. Kūdreņos kritalās konstatēts būtiski lielāks oglekļa uzkrājums nekā sausokņos un stubeņos, kur tas ir mazāks un līdzīgs.

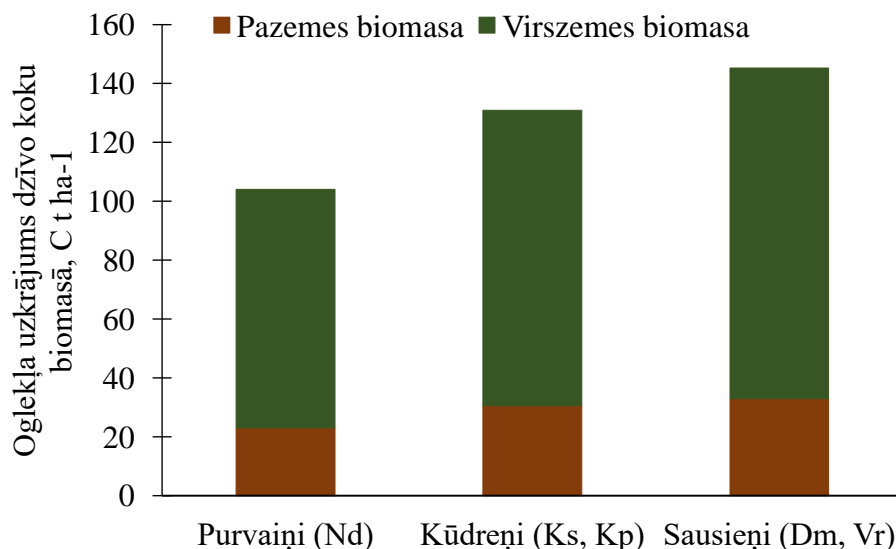
Lai novērtētu oglekļa uzkrājuma izmaiņas laikā, aprēķināts ikgadējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksniē. Audzes vecumam palielinoties, ikgadējais oglekļa uzkrājums samazinās vecās bērza audzēs gan Nd, gan kūdreņu meža tipā. Līdz ar to var secināt, ka, lai arī audzes krāja līdz ar vecuma turpina pieaugt, tas notiek ievērojami lēnāk nekā jaunākās audzēs. Vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums statistiski būtiski atšķiras ($p < 0,001$) starp meža tipiēm bērza audzēs, Nd sastāda $0,9 \pm 0,06 \text{ C t ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$, kūdreņos $1,2 \pm 0,06 \text{ C t ha}^{-1} \text{ gadā}^{-1}$ un abos meža tipos tas līdz ar vecumu būtiski samazinās ($p < 0,01$, att. 39).



Attēls 39. Vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksniē vecās bērza mežaudzēs Nd un kūdreņu (Ks, Kp) meža tipos

Lai gūtu priekšstatu par oglekļa uzkrājuma atšķirībām vecās bērzu audzēs minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs, izmantoti iepriekšējā pētījuma dati par oglekļa uzkrājumu vecās bērza audzēs damakšņa (Dm) un vēra (Vr) meža tipos salīdzināšanai (vidējais vecums 128 ± 2 gadi).

Vecās bērza audzēs ar minerālaugsnēm (Dm, Vr) oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā ir būtiski lielāks ($p < 0,001$), kā purvaiņu (Nd) un kūdreņu (Ks, Kp) meža tipos (att. 40).



Attēls 40. Vidējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā vecās bērza audzēs ar sausieņu (Dm, Vr), purvaiņu (Nd) un kūdreņu (Ks, Kp) meža tipos (± 95 % ticamības intervāls)

Tāpat kā oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā, arī vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku un atmiruma biomasās vecās bērzu audzēs ar minerālaugsnēm (vidēji $1,2 \pm 0,07 \text{ C t ha}^{-1}$ gadā⁻¹) ir būtiski lielāks ($p < 0,001$) nekā purvainu un kūdreņu meža tipos. Vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums atmirušajā koksne bija līdzīgs ($p = 0,2$) vecās bērza audzēs ar minerālaugsnēm un ar organiskajām augsnēm (gan purvainu, gan kūdreņu meža tipos). Tomēr ir novērotas būtiskas atšķirības stubeņu oglekļa uzkrājumā starp dažādiem meža tipiēm – minerālaugsnēs novēro būtiski mazāku vidējo ikgadējo oglekļa uzkrājumu (vidēji $1,7 \pm 0,41 \text{ C t ha}^{-1}$ gadā).

Salīdzināšanai izmantojam arī pieejamos MSI datus par pieaugušām bērza audzēm (vidējais vecums 69 ± 1 gadi) sausieņu mežu tipos (Dm un Vr). Pieaugušās bērza audzēs sausieņos oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā (vidēji $124 \pm 7,3 \text{ C t ha}^{-1}$) ir būtiski mazāks ($p < 0,001$) kā vecās bērza audzēs Nd meža tipā, bet līdzīgs ($p = 0,3$) kā kūdreņu (Ks, Kp) meža tipos. Oglekļa uzkrājums atmirušajā koksne pieaugušās bērza audzēs ir $3 \pm 0,6 \text{ C t ha}^{-1}$ un tas ir būtiski mazāk ($p < 0,001$) kā vecās bērza audzēs gan sausieņos, gan purvainos un kūdreņos. Tomēr, vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums pieaugušās bērza audzēs dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksne sausieņos (vidēji $1,9 \pm 0,1 \text{ C t ha}^{-1}$ gadā⁻¹) ir būtiski lielāks ($p < 0,001$) kā vecās bērza audzēs Nd meža tipā (pat divas reizes), gan arī vecās bērza audzēs kūdreņos. Līdz ar to var secināt, ka neatkarīgi no meža tipa, vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksne pieaugušās audzēs ir nozīmīgi un būtiski lielāks kā vecās mežaudzēs. Jāņem vērā, ka dati par pieaugušām audzēm iegūti no MSI monitoringa laukumiem, kuri lielākoties izvietoti saimnieciskajos mežos, kur notiek aktīva saimnieciskā darbība – tajā skaitā krājas kopšanas cirtes, sanitārās cirtes. Saimnieciskās darbības rezultātā iegūtā koksnes biomasā un tajā uzkrātais oglekļa apjoms netiek ņemts vērā veicot vidējā ikgadējā oglekļa uzkrājuma aprēķinus šajā pētījumā. Tāpat šobrīd netiek ņemts vērā oglekļa uzkrājums augsnē, vērtējot vidējo ikgadējo oglekļa uzkrājumu mežaudzē.

Saskaņā ar iepriekšējām analizēm Meža pētīšanas stacijas (MPS) Kalsnavas MN Vesetnieki stacionārā, secināts, ka oglekļa uzkrājums augsnē hidrotehniskās meliorācijas ietekmē nesamazinās (Lupiķis u.c., 2017). Ņemot vērā iegūtos rezultātus, nepieciešams arī izvērtēt arī oglekļa bilanci vecās mežaudzēs ar organiskajām augsnēm – gan purvainos, gan kūdreņos, lai papildinātu datu materiālu par oglekļa uzkrājuma bilanci (gan CO_2 , gan CH_4) meliorētās un dabiskās kūdras augsnēs, kā arī veco mežaudžu lomu klimata pārmaiņu kontekstā.

Sākotnējie secinājumi par oglekļa apriti vecās audzēs

Sistemātiski paplašinot pieejamo empīrisko datu koku par oglekļa uzkrājumu un piesaistes dinamiku vecās mežaudzēs ar organiskām augsnēm visās galvenajās oglekļa krātuvēs ir nozīmīgi, lai precīzāk novērtēt esošo un potenciālo veco mežaudžu lomu klimata pārmaiņu mazināšanā, jo šobrīd Eiropā joprojām ir pieejami maz datu par oglekļa uzkrājumu, kā arī nav datu par oglekļa bilanci kūdras augsnēs vecās mežaudzēs.

Lielāks oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā ir nosusinātos auglīgos kūdreņu meža tipos, salīdzinot ar niedrājiem vecās bērza audzēs. Tātad, klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā mežaudzes meliorētās auglīgās organiskās augsnēs var sniegt nozīmīgāku ieguldījumu kā mežaudzes dabiski slapjās kūdras augsnēs.

Vidējais oglekļa uzkrājums gadā dzīvo koku biomasā un atmirušajā koksne samazinās līdz ar audzes vecumu, kaut arī vecākās mežaudzēs, kur nav bijusi dabisko traucējumu ietekme, oglekļa uzkrājums lēni palielinās. Līdz ar to svarīgi saimniekot mērķtiecīgi tajās platībās, kur galvenais mērķis ir bioekonomika un ietekmes uz klimata pārmaiņām mazināšana.

Oglekļa uzkrājuma vērtēšana vecās mežaudzēs ir būtiska, lai iegūtu references datus, tomēr, nepieciešams iegūt arī salīdzināmus datus par jaunākām mežaudzēm, lai precīzāk novērtētu audzes vecuma lomu oglekļa uzkrājuma nodrošināšanai ilgtermiņā, lai sasniegtu ambiciozos klimata mērķus.

Būtiski turpināt pētījumus, mainot fokusu no oglekļa uzkrājuma fiksācijas laikā, uz oglekļa dinamiku – vērtēt oglekļa bilanci atkarībā no audzes vecuma (veidot izpratni par kārtējā gada SEG emisijām un piesaistēm) no augsnes un veģetācijas, kas mežaudzēs ar organiskajām augsnēm var būt

ļoti nozīmīga komponenti. Tādēļ pētījuma nākamajos etapos fokuss būs tieši oglekļa bilances noteikšana.

Nākamā etapa darba plāns – padziļināti fokusējamies uz lapkokiem, t.sk. ierīkosim SEG bilances laukumus apses audzes un uzmērīsim bērza un apses audzēs un sagatavosim zinātnisku publikāciju par oglekļa uzkrājumu bērza un apses audzēs.

2.8.2. Tradicionālo koksnes produktu dzīves cikla analīze

Pētījumā secināts, ka, līdzsvarojot dažādus mežsaimniecības mērķus, kā arī meklējot risinājumus klimata pārmaiņu mazināšanas efekta kāpināšanai, nozīmīgi dati par oglekļa uzkrājumu ne tikai koku biomasā, bet arī koksnes produktos un to ietekme uz fosilo resursu mazāku izmantošanu (ekspozīcijas efekts).

Konstatēts, ka vienlīdz ilgā laika periodā skujkokiem 180, bet lapu kokiem 130 gadi saimnieciskajos mežos iegūstamā pozitīvā ietekme uz klimata pārmaiņu mazināšanu ir par 15% lielāka nekā vecajās audzēs, kur netiek veikta saimnieciskā darbība. Būtiska nozīme uzkrājumā ir koku sugai, kur lielākās atšķirības oglekļa uzkrājumā audzes līmenī novērotas mežaudzēs ar valdošo koku sugu psi un bērzs.

Ļoti svarīga nozīme šajā ir ekspozīcijas efektam, kas kopumā veido 31% no kopējā oglekļa uzkrājuma. Paildzinot koksnes produkta dzīves ilgumu, oglekļa uzkrājums tajā pieaug par 8% (optimālais scenārijs). Savukārt, izmantojot skaidas ķīmiskās pārstrādes produktu ražošanā – vēl par 36% (rūpnieciskais scenārijs), kopumā sasniedzot jau $423,2 \pm 108,4 \text{ t C ha}^{-1}$ pret uzkrājumu veco audžu koku biomasā tādā pat laika periodā.

Nākamajos pētījuma etapos plānotie uzdevumi:

- raksturot oglekļa uzkrājumu vecā mežā (2022. gads – attālās izpētes datu analīze; 2023. gads – parauglaukumu ierīkošana, datu analīze);
- novērtēt kopējo oglekļa uzkrājumu saimnieciskajās audzēs, optimizējot aprites ciklu pa koku sugām un aprēķinos ietverot koksnes produktu ieguvu retināšanā (2024. gads);
- ņemot vērā datus no bioloģiski vecām audzēm ar organiskajam augsnēm un papildinātās metodes, uzkrājuma sagatavot kopējā oglekļa uzkrājuma vērtējumu dažāda vecuma audzēs, izveidot paplašinātu teritoriju izmantošanas ietekmes uz klimata pārmaiņu mazināšanu alternatīvu salīdzinājumu un sagatavot pētījuma gala pārskatu (2025. gads).

NOVĒROJUMI UN SECINĀJUMI

1. Darbības “Mežaudžu oglekļa piesaistes un uzkrājuma aprēķina metodika AS “Latvijas valsts meži” apsaimniekotajiem mežiem” pētījuma “Biomasas un oglekļa uzkrājuma novērtēšanas metodes izstrādāšana” ietvaros 2021. gadā veikta MRM parauglaukumu atlase, sagatavoti aprēķinu vienādojumi un veikta to aprobācija. Papildus plānotajiem darbiem vienādojumos iekļautas oglekļa satura vērtības, kas palielina oglekļa uzkrājuma rādītājus vidēji par 5%, salīdzinot ar noklusētajiem rādītājiem. Pētījuma īstenošanas gaitā nav konstatēti šķēršļi plānoto mērķu sasniegšanai.
2. Darbības “SEG inventarizācijas un prognožu datu modelēšanas rīku pilnveidošana” pētījuma “Metodikas izstrādāšana koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai Latvijas teritorijā un oglekļa uzkrājuma dinamikas modelēšanai, izmantojot attālās izpētes datus un mašīnmācības metodes” ietvaros izstrādāti mežaudžu augstuma modeļi. Optimāla sezonas izvēle nodrošina lielu koku augstuma modeļu precizitāti ($R^2 > 0,94$), taču jāveic atkārtota MRM datu analīze, kad visiem parauglaukumiem būs pieejamas precīzas centra koordinātes. Pētījumā secināts, ka pietiekoši precīzus koku augstuma datus var iegūt, neatkarīgi no koku sugas.
3. Pētījuma “Metodikas koku sugu sastāva telpiskās izplatības novērtēšanai integrēšana SEG inventarizācijas un prognožu sistēmā” ietvaros sagatavoti nosacījumi MRM datu ekstrapolācijas metožu pilnveidošanai, veicot ikgadējo SEG inventarizācijai, lai gan secināts, ka gan attālās izpētes metožu pielietošanas rezultāti, gan regulas (ES) 2018/1999 grozījumi var būtiski ietekmēt SEG inventarizācijā izmantojamo risinājumu, tāpēc šī pētījuma īstenošana turpināma pēc ekstrapolācijas metožu izstrādāšanas un inventarizācijai būtisko regulu grozījumu stāšanās spēkā. Neskaidrības rada arī tas, vai Latvijā turpināsies periodiska LiDAR datu ieguve visai valsts teritorijai, kas ir obligāts priekšnosacījums korektai MRM parauglaukumu datu ekstrapolācijai uz visām meža platībām.
4. Darbības “Trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšana” pētījuma “Izstrādāt metodi un novērtēt trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu dzīvajā biomasā LVM apsaimniekotajos mežos” izstrādāta metodika trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšanai. Uzsākta paraugu ievākšana, baltalkšņa un melnalkšņa audzēs, kā arī ievākto koksnes paraugu analīzes (blīvums, C, N saturs) LVMI Silava Meža vides laboratorijā. Saskaņā ar sākotnējiem rezultātiem oglekļa uzkrājuma samazināšanos trupes ietekmē rada koksnes blīvuma samazināšanās (vidēji par 3-5% apsekotajās Ba un M audzēs), attiecīgi, trupeī ir būtiska ietekme uz šo koku sugu oglekļa uzkrājuma un šībrīža novērtējums pārspilē oglekļa uzkrājumu dzīvajā un nedzīvajā koksneī.
5. Pētījuma “Izstrādāt oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes trupes ietekmē pie dažādiem meža apsaimniekošanas scenārijiem” ietvaros sagatavoti darba uzdevumi trupes ietekmes uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā modelēšanai un sagatavotas darbību datu specifikācijas. Darba uzdevums īstenojams sasaistē ar klimata pārmaiņu mazināšanas darbību novērtējumu un AGM modeļa pilnveidošanu, integrējot tajā pieņēmumus par trupes ietekmi uz oglekļa uzkrājumu un kokmateriālu struktūru.
6. Pētījuma “Novērtēt trupes ierobežošanas pasākumu ietekmi uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti meža zemēs” ietvaros trupes ierobežošanas pasākumu ietekmes novērtēšanai pielāgota pētījuma ietvaros izveidotā sagatave klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu raksturošanai. Turpmākajos pētījumu programmas etapos šie darba uzdevumi apvienojami. Ietekmes novērtējums visiem pasākumiem veicams ar AGM modeļa starpniecību, iestrādājot tajā iespēju mainīt pieņēmumus pasākumu ietekmes prognozēšanai. Pasākuma ietekmes novērtēšanu var būtiski sarežģīt regulas (ES) 2018/1999 grozījumu un t.s. taksonomijas regulas stāšanās spēkā, kas radīs papildus ilgtspējas novērtēšanas kritērijus.

7. Darbības “SEG emisiju samazināšana meža apsaimniekošanā klimata pārmaiņu mazināšanas kontekstā” pētījuma “Esošo modeļteritoriju un pētījumu apzināšana un ietekmes uz oglekļa uzkrājumu un SEG emisijām apzināšana” apzināti esošie izpētes objekti un mežsaimnieciskās darbības ietekmes uz SEG emisijām novērtēšanai, tajā skaitā 2012.-2015. gadā ierīkotie kopšanas ciršu parauglaukumi, LIFE REstore un LIFE OrgBalt ietvaros ierīkotie organisko augšņu apsaimniekošanas objekti un meža mēslošanas pētījumu programmas izmēģinājumu platības. Vairumā pētījumu objekti pieejami dati par dzīvo biomasu, tikai LIFE projektos iegūta informācija par gāzu apmaiņu no augsnes. Arī modelēšanai piemēroto objektu vecums ir nepietiekošs ilglaicīgu prognožu izstrādāšanai, it īpaši meža mēslošanas izmēģinājumos, kur sākotnējie novērojumi ir ļoti optimistiski, bet datu rindu garums nepārsniedz 4-5 gadus.
8. Pētījuma “Jaunu izpētes objektu ierīkošana klimata pārmaiņu mazināšanas darbību īstermiņa un ilgtermiņa ietekmes novērtēšanai” izstrādāta metodikas izstrāde jaunu izpētes objektu ierīkošanai šādiem pasākumiem – maza biežuma klonu stādījumi intensīvai mežsaimniecībai meža un nemeža zemēs, degradētu kūdras atradņu rekultivēšana, jaunaudžu kopšanas cirtes, saudzīga mežizstrāde, novēršot risu veidošanos un CH₄ emisijas no augsnes, izlases cirtes egles audzēs āreņos, kūdreņos un slapjainos, kā arī bērza audzēs purvainos CH₄ emisiju ierobežošanai un oglekļa ieneses augsnē palielināšanai un jauni risinājumi meža atjaunošanā. Sagatavots darba apjoms esošā finansējuma ietvaros, kā arī paredzot papildus publiskā finansējuma piesaisti. Izpētes objektus augsnes ielabošanai ar minerālmēslojumu un koksnes pelniem paredzēts ierīkot “Koku augšanas apstākļu uzlabošanas programmas” turpinājuma ietvaros.
9. Darbības “Meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti izpēte” pētījuma “Eksperimentālo stādījumu ierīkošana un esošo apmežojumu apzināšana meža ieaudzēšanas un kokaugu stādījumu ietekmes uz SEG emisijām un CO₂ piesaisti demonstrēšanai minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs” ietvaros apsekoti līdz 2020. gadam ierīkotie apmežojumi, tajā skaitā noteikti taksācijas rādītāji 3-35 gadus vecos apmežojumos, bet 28 platībās ievācām augsnes paraugus. Pētījumā secināts, ka lielākā oglekļa piesaiste dzīvajā biomasā ir priedes audzēs, savukārt augsnes oglekļa uzkrājums ir pat samazinājies, kas var būt saistīts ar augsnes aerācijas uzlabošanu. Pētījumā sagatavoti priekšlikumi jaunu apmežošanas izmēģinājumu ierīkošanai, taču to īstenošana vēl jāaskaņo ar LVM, jo MPS nav pieejamas pietiekoši lielas un daudzveidīgas apmežojamas kūdras augsnes.
10. Darbības “Eksperimentālu kokaugu stādījumu ierīkošanas meliorācijas sistēmu buferjoslās LIZ ar organiskam augsnēm un minerālaugsnēm” ietvaros izstrādāts stādījuma dizains, kas dublē LIFE OrgBalt ietvaros ierīkoto izmēģinājumu platību un uzsākta iespējamo izmēģinājumu vietu atlase MPS. Lēmums par konkrētu platību vēl nav pieņemts, jo vēl nav pabeigtas augsnes analīzes.
11. Darbības “Sabiedrības informēšanas materiālu sagatavošana par meža ieaudzēšanas un citu darba uzdevumā iekļauto darbību ietekmi uz SEG emisijām” īstenošana notiek atbilstoši plānam, galvenokārt uzsverot organisko augšņu apmežošanas un meža mēslošanas pasākumu efektivitāti. Uzsākot empīrisku datu iegūvi un jaunu izmēģinājumu ierīkošanu visās pētījuma darbībās, publicitātei pieejamo datu apjoms palielināsies.
12. Darbības “Meža resursu izmantošanas efektivitātes palielināšana klimata pārmaiņu mazināšanai” ietvaros apkopoti dati par mežizstrādes risinājumiem, kas veicina SEG emisiju samazinājumu un izstrādāta metodika meža tehnikas ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai. Koksnes produktu ietekmes raksturošanai izmantosim metodiku, kas izstrādāta pēdējā darba uzdevumā, kā arī SEG inventarizācijas pieeju, kas faktiski raksturo kokmateriālu iznākumu.
13. Darbības “Meliorācijas sistēmu apsaimniekošanas plānošanas sistēma” ietvaros izstrādāta izpētes metodika un uzsākta pētījumu objektu atlase slapjainos un āreņos augsnes SEG

emisiju raksturošanai, kā arī izstrādāta metodika un uzsākta objektu atlase dziļvagu tīkla ietekmes uz SEG emisijām raksturošanai purvainos. Pētījuma īstenošanu vēlamajā apjomā (vismaz 3 atkārtējumi, vismaz 2 gadus ilgs novērojumu cikls, saimnieciski nozīmīgākās sugas un meža tipi, kas raksturo visu edafiskās rindas gradientu) ierobežo finansējuma pieejamība, tāpēc šī darba uzdevuma īstenošanai piesaistīt publisko finansējumu, pētījumu programmas ietvaros iegūstot indikatīvus datus, kas raksturo šāda pētījuma prognozējamo ietekmi.

14. Darbības “Oglekļa bilance vecās mežaudzēs” ietvaros veikta pētījuma objektu atlase, apsekošana, parauglaukumu ierīkošana pāraugušās lapkoku audzēs un empīrisko datu ieguve. Pētījuma ietvaros uzsākta gāzu apmaiņas mērīšana un papildus vides parametru monitorings, lai raksturotu gāzu apmaiņu vecās audzēs. Šajā pētījuma darbībā izstrādāta arī metodika koksnes produktu dzīves cikla analīzei, lai raksturotu dažādu meža apsaimniekošanas un koksnes izmantošanas scenāriju ietekmi uz SEG emisijām. Viena no galvenajām grūtībām aizstāšanas efekta aprēķinos ir atšķirīgi dati par SEG emisijām produktu ražošanas procesā, piemēram, akmeņogļu un slāpekļa minerālmēslojuma ražošanas emisijas dažādos avotos atšķiras pat 1000 reizes, kas dod daudz vietas spekulācijām.

LITERATŪRA

1. Arhipova, N., Gaitnieks, T., Donis, J., Stenlid, J., & Vasaitis, R. (2011a). Butt rot incidence, causal fungi, and related yield loss in picea abies stands of Latvia. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(12), 2337–2345. <https://doi.org/10.1139/X11-141>
2. Arhipova, N., Gaitnieks, T., Donis, J., Stenlid, J., & Vasaitis, R. (2011b). Decay, yield loss and associated fungi in stands of grey alder (*Alnus incana*) in Latvia. *Forestry*, 84(4), 337–348. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr018>
3. Askaer, L., Elberling, B., Friberg, T., Jørgensen, C. J., & Hansen, B. U. (2011). Plant-mediated CH₄ transport and C gas dynamics quantified in-situ in a Phalaris arundinacea-dominant wetland. *Plant and Soil*, 343(1–2), 287–301. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0718-x>
4. Aun, K., Kukumägi, M., Varik, M., Becker, H., Aosaar, J., Uri, M., Buht, M., & Uri, V. (2021). Short-term effect of thinning on the carbon budget of young and middle-aged silver birch (*Betula pendula* Roth) stands. *Forest Ecology and Management*, 480, 118660. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118660>
5. Bārdule, A., Liepiņš, J., Liepiņš, K., Stola, J., Butlers, A., & Lazdiņš, A. (2021). Variation in Carbon Content among the Major Tree Species in Hemiboreal Forests in Latvia. *Forests*, 12(9), 1292. <https://doi.org/10.3390/f12091292>
6. Bārdule, A., Petaja, G., Butlers, A., Purviņa, D., & Lazdiņš, A. (2021). Estimation of litter input in hemi-boreal forests with drained organic soils for improvement of GHG inventories. *BALTIC FORESTRY*, 27(2), Article 2. <https://doi.org/10.46490/BF534>
7. Bērziņa, L., Degola, L., Grīnberga, L., Kreišmane, D., Lagzdiņš, A., Lazdiņš, A., Lēnerts, A., Lupiķis, A., Naglis-Liepa, K., Popluga, D., Rivža, P., & Sudārs, R. (2018). *Siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas iespējas ar klimatam draudzīgu lauksaimniecību un mežsaimniecību Latvijā (Possibilities to reduce GHG emissions in Latvia by applying climate friendly measures in agriculture and forestry)*. SIA „Drukātava”.
8. Budzinski, M., Bezama, A., & Thrän, D. (2020). Estimating the potentials for reducing the impacts on climate change by increasing the cascade use and extending the lifetime of wood products in Germany. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100034>
9. 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>
10. Butlers, A., & Lazdiņš, A. (2020). *Carbon stock in litter and organic soil in drained and naturally wet forest lands in Latvia*. 47–54. <https://doi.org/10.22616/rrd.26.2020.007>
11. Christensen, T. R., Jonasson, S., Callaghan, T. V., & Havström, M. (1995). Spatial variation in high-latitude methane flux along a transect across Siberian and European tundra environments. *Journal of Geophysical Research*, 100(D10), 21035. <https://doi.org/10.1029/95JD02145>
12. Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
13. Curzon, M. T., D’Amato, A. W., & Palik, B. J. (2014). Harvest residue removal and soil compaction impact forest productivity and recovery: Potential implications for bioenergy harvests. *Forest Ecology and Management*, 329, 99–107. <https://doi.org/10/f6gw6s>

14. 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).
15. Ernfors, M., Rütting, T., & Klemetsson, L. (2011). Increased nitrous oxide emissions from a drained organic forest soil after exclusion of ectomycorrhizal mycelia. *Plant and Soil*, 343(1–2), 161–170. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0667-9>
16. Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Härkönen, L., Huttunen, M., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tattari, S., & Ukonmaanaho, L. (2021). Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of The Total Environment*, 762, 144098. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>
17. Gundersen, P., Thybring, E. E., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Nadelhoffer, K. J., & Johannsen, V. K. (2021). Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature*, 591(7851), E21–E23. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03266-z>
18. Hayes, D. J. M., Hayes, M. H. B., & Leahy, J. J. (2015). Analysis of the lignocellulosic components of peat samples with development of near infrared spectroscopy models for rapid quantitative predictions. *Fuel*, 150, 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.01.094>
19. 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
20. Högbom, L., Abbas, D., Armolaitis, K., Baders, E., Futter, M., Jansons, A., Jögiste, K., Lazdins, A., Lukminė, D., Mustonen, M., Øistad, K., Poska, A., Rautio, P., Svensson, J., Vodde, F., Varnagirytė-Kabašinskienė, I., Weslien, J., Wilhelmsson, L., & Zute, D. (2021). Trilemma of Nordic–Baltic Forestry—How to Implement UN Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 13(10), 5643. <https://doi.org/10.3390/su13105643>
21. Holmgren, A., & Nordén, B. (1988). Characterization of Peat Samples by Diffuse Reflectance FT-IR Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 42(2), 255–262. <https://doi.org/10.1366/0003702884428284>
22. Hou, G., Delang, C. O., Lu, X., & Gao, L. (2020). A meta-analysis of changes in soil organic carbon stocks after afforestation with deciduous broadleaved, sempervirent broadleaved, and conifer tree species. *Annals of Forest Science*, 77(4), 92. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00997-3>
23. ISO. (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040:2006)*. <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/74/37456.html>
24. Jauhainen, J., Alm, J., Bjarnadottir, B., Callesen, I., Christiansen, J. R., Clarke, N., Dalsgaard, L., He, H., Jordan, S., Kazanavičiūtė, V., Klemetsson, L., Lauren, A., Lazdins, A., Lehtonen, A., Lohila, A., Lupikis, A., Mander, Ü., Minkkinen, K., Kasimir, Å., ... Laiho, R. (2019). Reviews and syntheses: Greenhouse gas exchange data from drained organic forest soils – a review of current approaches and recommendations for future research. *Biogeosciences*, 16(23), 4687–4703. <https://doi.org/10.5194/bg-16-4687-2019>
25. Karjalainen, T., Kellomäki, S., & Pussinen, A. (1994). Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fennica*, 28(2). <https://doi.org/10.14214/sf.a9163>
26. Kārklīņa, I., Petaja, G., Lazdina, D., Lazdiņš, A., Kēniņa, L., Matisons, R., & Jansons, A.

- (2021). *Koku augšanas apstākļu uzlabošanas risinājumi un rekomendācijas to pielietošanai praksē.*
27. Köster, K., Metslaid, M., Engelhart, J., & Köster, E. (2015). Dead wood basic density, and the concentration of carbon and nitrogen for main tree species in managed hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 354, 35–42.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.039>
 28. Krumins, J., Klavins, M., Seglins, V., & Kaup, E. (2012). Comparative Study of Peat Composition by using FT-IR Spectroscopy. *Material Science and Applied Chemistry*, 26, 106–114.
 29. Krumšteds, L. L., Ivanovs, J., Jansons, J., & Lazdiņš, A. (2019). Development of Latvian land use and land use change matrix using geospatial data of National forest inventory. *Agronomy Research*, 17. <https://doi.org/10.15159/AR.19.195>
 30. Kun, Z., DellaSala, D., Keith, H., Kormos, C., Mercer, B., Moomaw, W. R., & Wiezik, M. (2020). Recognizing the importance of unmanaged forests to mitigate climate change. *GCB Bioenergy*, 12(12), 1034–1035. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12714>
 31. Ķēniņa, L., Elferts, D., Bāders, E., & Jansons, Ā. (2018). Carbon Pools in a Hemiboreal Over-Mature Norway Spruce Stands. *Forests*, 9(7), 435. <https://doi.org/10.3390/f9070435>
 32. Ķēniņa, L., Jaunslaviete, I., Liepa, L., Zute, D., & Jansons, Ā. (2019). Carbon Pools in Old-Growth Scots Pine Stands in Hemiboreal Latvia. *Forests*, 10(10), 911.
<https://doi.org/10/ggbmtj>
 33. Ķēniņa, L., Mača, S., Jaunslaviete, I., & Jansons, A. (2020). CARBON POOLS IN OLD-GROWTH SCOTS PINE STANDS ON ORGANIC SOILS AND ITS CONCENTRATION IN DEADWOOD: CASES STUDY IN LATVIA. *RURAL DEVELOPMENT 2019*, 2019(1), 284–288. <https://doi.org/10.15544/RD.2019.054>
 34. Laine, A. M., Mehtätalo, L., Tolvanen, A., Froking, S., & Tuittila, E.-S. (2019). Impacts of drainage, restoration and warming on boreal wetland greenhouse gas fluxes. *Science of The Total Environment*, 647, 169–181. <https://doi.org/10/gf7cb9>
 35. Lazdiņš, A. (2018). *Klimata izmaiņas un pasākumi to ietekmes mazināšanai mežsaimniecībā – jaunākās zināšanas un izpratne Latvijā.* Jaunākais mežzinātnē, Salaspils.
 36. Lazdiņš, A., Butlers, A., & Lupiķis, A. (2019). Contribution of LIFE REstore project to improvement of activity data for accounting greenhouse gas emissions due to management of wetlands. *Sustainable and responsible management and re-use of degraded peatlands in Latvia*, 23.
 37. Lazdiņš, A., & Lupiķis, A. (2014). *Hidrotehniskās meliorācijas ietekme uz CO2 emisijām mežaudzēs uz susinātām augsnēm* (290514/S138; lpp. 64).
 38. Lazdiņš, A., Lupiķis, A., Butlers, A., Bārdule, A., Kārklīņa, I., Šņepsts, G., & Donis, J. (2019). *Latvia's national forestry accounting plan and proposed forest reference level 2021-2025* (lpp. 200). LSFRI Silava.
https://www.researchgate.net/publication/338187883_Latvia's_national_forestry_accounting_plan_and_proposed_forest_reference_level_2021-2025
 39. Lazdiņš, A., Lupiķis, A., & Okmanis, M. (2014). Soil carbon stock change due to drainage of a forest stand growing on a transitional bog. No L. Finér, L. Karvinen, & I. Stupak (Red.), *Extended abstracts of the CAR-ES network meeting in Finland 20.–22.10.2014* (Sēj. 316, lpp. 48–50). Finnish Forest Research Institute.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp316.htm>
 40. Līcīte, I., Lupiķis, A., Peters, J., Butlers, A., Armolaitis, K., Soosaar, K., Laiho, R.,

- Čiuldiene, D., & Jauhiainen, J. (2019). *Report on the identified climate change mitigation targeted management practices on organic soils* (Nr. 2019-A1|3-1; Demonstration of climate change mitigation measures in nutrients rich drained organic soils in Baltic States and Finland, lpp. 119). Latvia State Forest Research Institute "Silava".
41. Liepiņš, J., Ivanovs, J., Lazdiņš, A., Jansons, J., & Liepiņš, K. (2017). Mapping of basic density within European aspen stems in Latvia. *Silva Fennica*, 51(5).
<https://doi.org/10.14214/sf.7798>
42. Liepiņš, J., Lazdiņš, A., & Liepiņš, K. (2018). Equations for estimating above- and belowground biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. And European aspen in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1–43.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1337923>
43. Liepiņš, J., Liepiņš, K., & Lazdiņš, A. (2021). Equations for estimating the above- and belowground biomass of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) and common alder (*Alnus glutinosa* L.) in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 0(0), 1–12.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1937696>
44. Lohila, A., Laurila, T., Aro, L., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Laine, J., Kolari, P., & Minkkinen, K. (2007). Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine plantation established on organic-soil cropland. *Boreal Environment Research*, 12, 141–157.
45. Lundmark, T., Bergh, J., Nordin, A., Fahlvik, N., & Poudel, B. C. (2016). Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden. *Ambio*, 45(S2), 203–213. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0756-3>
46. Lupiķis, A., & Lazdins, A. (2017). Soil carbon stock changes in transitional mire drained for forestry in Latvia: A case study. *Research for Rural Development*, 1, 55–61.
47. Lupiķis, A., Lazdiņš, A., Okmanis, M., Butlers, A., Saule, Z., Saule, L., Martinsone, K., Saule, G., Purviņa, D., Bārdule, A., & Skranda, I. (2017). *Empīrisku datu ieguve meža meliorācijas ietekmes uz CO2 emisijām no organiskajām augsnēm novērtēšanai (Elaboration of measurement data for evaluation of impact of amelioration systems on GH emissions from organic soils)* (2015/13, līguma 1.13 punkts; lpp. 43). LVMI Silava.
48. Lupiķis, A., Mūrniece, S., & Lazdiņš, A. (2014). Impact of reconstruction of forest drainage systems on increase of living woody biomass in thinned middle-age coniferous stands. *Forest ecosystems and its management: towards understanding in complexity*.
49. Melniks, R., Ivanovs, J., & Lazdins, A. (2019). Method for shallow drainage ditch network generation using remote sensing data. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development 2019*. <https://doi.org/10.15544/RD.2019.008>
50. Ministry of Environmental Protection and Regional Development. (2020). *Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto protocol Common Reporting Formats (CRF) 1990 – 2018* (lpp. 519). Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. <https://unfccc.int/documents/227704>
51. Ministry of Environmental Protection and Regional Development. (2021). *Latvia's National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto protocol Common Reporting Formats (CRF) 1990 – 2019* (lpp. 545). Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. <https://unfccc.int/documents/271530>
52. Molina-Valero, J. A., Camarero, J. J., Álvarez-González, J. G., Cerioni, M., Hevia, A., Sánchez-Salguero, R., Martín-Benito, D., & Pérez-Cruzado, C. (2021). Mature forests hold maximum live biomass stocks. *Forest Ecology and Management*, 480, 118635.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118635>
53. Nieminen, T. M., De Vos, B., Cools, N., König, N., Fischer, R., Iost, S., Meesenburg, H.,

- Nicolas, M., O’Dea, P., Cecchini, G., Ferretti, M., De La Cruz, A., Derome, K., Lindroos, A. J., & Graf Pannatier, E. (2016). Part XI Soil Solution Collection and Analysis. No *UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* (lpp. 20). Thünen Institute of Forest Ecosystems.
54. O’Brien, L., Schuck, A., Fraccaroli, C., Pötzelsberger, E., Winkel, G., & Lindner, M. (2021). *Protecting old-growth forests in Europe—A review of scientific evidence to inform policy implementation*. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/rs1>
 55. Ozolins, R. (2002). Forest stand assortment structure analysis using mathematical modelling. *Forest Structure and Growth*. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Forest+stand+assortment+structure+analysis+using+mathematical+modelling&author=Ozolins%2C+R.+%28Latvia+University+of+Ag+riculture%2C+Jelgava+%28Latvia%29.+Department+of+Mathematics%29&publication_year=2002
 56. Parobek, J., Paluš, H., Moravčík, M., Kovalčík, M., Dzian, M., Murgaš, V., & Šimo-Svrček, S. (2019). Changes in Carbon Balance of Harvested Wood Products Resulting from Different Wood Utilization Scenarios. *Forests*, *10*(7), 590. <https://doi.org/10.3390/f10070590>
 57. Pokorný, R., & Stojnič, S. (2012). Leaf area index of Norway spruce stands in relation to age and defoliation. *Beskydy*, *5*(2), 173–180. <https://doi.org/10.11118/beskyd201205020173>
 58. Pregitzer, K. S., & Euskirchen, E. S. (2004). Carbon cycling and storage in world forests: Biome patterns related to forest age: CARBON CYCLING AND STORAGE IN WORLD FORESTS. *Global Change Biology*, *10*(12), 2052–2077. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00866.x>
 59. Pukkala, T. (2014). Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *Forest Policy and Economics*, *43*, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.03.004>
 60. Pukkala, T. (2017). Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry: An International Journal of Forest Research*, *90*(1), 125–135. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw043>
 61. R Development Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
 62. Saleniece, I., Līcīte, I., & Lazdiņš, A. (2019). Legal framework for climate policy. No A. Priede & A. Gancone (Red.), *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas* (lpp. 14–21). Baltijas Krasti.
 63. Sandström, F., Petersson, H., Kruys, N., & Ståhl, G. (2007). Biomass conversion factors (density and carbon concentration) by decay classes for dead wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. In boreal forests of Sweden. *Forest Ecology and Management*, *243*(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.081>
 64. Strack, M., Waller, M. F., & Waddington, J. M. (2006). Sedge Succession and Peatland Methane Dynamics: A Potential Feedback to Climate Change. *Ecosystems*, *9*(2), 278–287. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0070-1>
 65. Straková, P., & Laiho, R. (2016). Application of infrared spectroscopy for assessing quality (chemical composition) of peatland plants, litter and soil. *Geophysical Research Abstracts*, *18*.
 66. Šēnhofa, S., Jaunslaviete, I., Šņepsts, G., Jansons, J., Liepa, L., & Jansons, Ā. (2020). Deadwood Characteristics in Mature and Old-Growth Birch Stands and Their Implications

for Carbon Storage. *Forests*, 11(5), 536. <https://doi.org/10.3390/f11050536>

67. Triviño, M., Pohjanmies, T., Mazziotta, A., Juutinen, A., Podkopaev, D., Le Tortorec, E., & Mönkkönen, M. (2017). Optimizing management to enhance multifunctionality in a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 61–70. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12790>
68. Tubiello, F., Biancalani, R., Salvatore, M., Rossi, S., & Conchedda, G. (2016). A Worldwide Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Drained Organic Soils. *Sustainability*, 8(4), 371. <https://doi.org/10/gfj4jr>
69. Vesterdal, L., Rosenqvist, L., Van Der Salm, C., Hansen, K., Groenenberg, B.-J., & Johansson, M.-B. (2007). Carbon Sequestration in Soil and Biomass Following Afforestation: Experiences from Oak and Norway Spruce Chronosequences in Denmark, Sweden and the Netherlands. No G. W. Heil, B. Muys, & K. Hansen (Red.), *Environmental Effects of Afforestation in North-Western Europe: From Field Observations to Decision Support* (pp. 19–51). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4568-9_2
70. Villa, J. A., Smith, G. J., Ju, Y., Renteria, L., Angle, J. C., Arntzen, E., Harding, S. F., Ren, H., Chen, X., Sawyer, A. H., Graham, E. B., Stegen, J. C., Wrighton, K. C., & Bohrer, G. (2020). Methane and nitrous oxide porewater concentrations and surface fluxes of a regulated river. *Science of The Total Environment*, 715, 136920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136920>
71. Zhu, X., Zhu, T., Pumpanen, J., Palviainen, M., Zhou, X., Kulmala, L., Bruckman, V. J., Köster, E., Köster, K., Aaltonen, H., Makita, N., Wang, Y., & Berninger, F. (2020). Short-term effects of biochar on soil CO₂ efflux in boreal Scots pine forests. *Annals of Forest Science*, 77(2), 59. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00960-2>