



Meža attīstības fonda
PĒTĪJUMA PĀRSKATS

PĒTĪJUMA
NOSAUKUMS:

Veco mežu loma klimata pārmaiņu mazināšanā:
informācija Latvijas un Eiropas Savienības meža un
saistīto nozaru politiku veidotājiem

IZPILDES LAIKS:

15.03.2022.–30.12.2022.

IZPILDĪTĀJS:

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”

PĒTĪJUMA VADĪTĀJS:

Daiga Zute, LVMI “Silava” pētniece

Kopsavilkums

Zinātniskais pētījums: **Veco mežu loma klimata pārmaiņu mazināšanā: informācija Latvijas un Eiropas Savienības meža un saistīto nozaru politikai veidotājiem**

Izpildes laiks: 15.03.2022.–30.12.2022.

Izpildītājs: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”

Pētījuma zinātniskais vadītājs: Daiga Zute

Projekts Nr. 22-00-SOMF10-000045

Pētījuma mērķis – sagatavot zinātniskās informācijas analīzi par vecu mežu lomu klimata pārmaiņu mazināšanā kontekstā ar saistītajām Eiropas Savienības un Latvijas mēroga politikām, un nodrošināt tās izplatīšanu šo politikai veidotājiem.

Pētījuma uzdevumi:

- 1) Informācijas sagatavošana un nodošana Latvijas lēmumu pieņēmējiem un Eiropas Komisijai.
- 2) Starptautiska sadarbība ar meža nozares pārstāvjiem un pētnieciskajiem institūtiem.
- 3) Parauglaukumu ierīkošana.
- 4) Mežsaimniecības darbības cikla garuma un tā aizlieguma ietekmes analīze, ņemot vērā oglekļa uzkrājumu gan dzīvo koku biomasā, gan koksnes produktos, gan fosilo materiālu aizstāšanas efektu.
- 5) Attālā izpētes datu analīze.

Meža politikas veidotājiem ir būtiski iegūt zinātniski pamatotu informāciju par veco mežaudžu un veco mežu attīstības dinamiku, gan nacionālo, gan ES un politiku izstrādes kontekstā. Pieņemot lēmumus par zemes lietošanai nosakāmiem mērķiem, būtiski balstīties uz verificētu zinātnisku informāciju. Palielinoties zemes platībām bez saimnieciskās darbības, pieaug arī vecu mežu teritorija, un ir nozīmīgi apzināt šīs tendences ilgtermiņa ietekmi uz oglekļa uzkrājumu gan mežā, gan koksnes produktos un fosilo resursu izmantošanas aizstāšanas efektu. Projekta secinājumi Latvijas un ES meža politikas veidotājiem balstīti uz empīriskiem datiem, attālo izpēti, kā arī realizēto starptautisko (īpaši – Ziemeļeiropas) zinātnisko sadarbību, turpinot un paplašinot 2021. gadā uzsākto Meža attīstības fonda (MAF) projektu (21-00-SOMF10-000019).

Pētījumā iegūtās zinātniskās atziņas sniegtas gan Latvijas ministrijām: Zemkopības ministrijai un Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijai, gan Eiropas Komisijai, kā arī meža nozares interešu grupām un Eiropas meža nozares ekspertiem.

Saturs

1. Informācijas sniegšana Latvijas un Eiropas Savienības lēmumu pieņēmējiem.....	4
1.1. Starptautiska konference	4
1.2. Seminārs Latvijas lēmumu pieņēmējiem	12
1.3. Seminārs Eiropas savienības lēmumu pieņēmējiem	14
1.4. Latvijas mežzinātnes diena.....	15
1.5. Eiropas Klimata Pakta vēstnieka pasākumi	17
2. Starptautiskā sadarbība ar meža nozares pārstāvjiem un pētnieciskajiem institūtiem.....	18
3. Datu ievākšana un analīze.....	20
3.1. Parauglaukumu ierīkošana	20
3.2. Mežsaimniecības darbības cikla garuma novērtējums: oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā, koksnes produktos, un fosilo materiālu aizstāšanas efekts	22
3.3. Attālās izpētes datu analīze	24
4. Secinājumi.....	33
Izmantotā literatūra	34

1. Informācijas sagatavošana un nodošana Latvijas lēmumu pieņēmējiem un Eiropas Komisijai

Pētījuma mērķis “sagatavot informāciju Latvijas un Eiropas Savienības (ES) meža politikas veidotājiem par veco mežaudžu un veco mežu attīstības dinamiku un lomu dažādu ES un nacionālo politiku kontekstā un nodrošināt tās izplatīšanu šo politiku veidotājiem” tika sasniegts, gan organizējot zinātnisku konferenci un seminārus, gan sadarbojoties ar Eiropas zinātniskajām institūcijām, analizējot jaunākas publikācijas par veciem mežiem Eiropā, kā arī ievācot empīrisku materiālu (lauka darbi Latvijas mežos) un uzsākot veco mežu analīzi ar attālās izpētes metodēm, turpinot un paplašinot 2021. gadā uzsākto MAF projektu (Nr. 21-00-SOMF10-000019).

Projekta ietvaros tika organizēti trīs informatīvi pasākumi: seminārs LR ministriju ekspertiem (8.12.2022.), divpusēja tikšanas-diskusija ar EK pārstāvjiem (13.12.2022.) un starptautiska konference (8.12.2022.).

1.1. Starptautiska konference “Old-growth forests in the context of climate policy” (Veci meži klimata politikas kontekstā)

Kā projekta centrālais pasākums tika organizēta starptautiska konference “Old-growth forests in the context of climate policy” Veci meži klimata politikas kontekstā (8.12.2022.). Pulcējot 65 dalībniekus (gan zinātnieki, gan ministriju pārstāvji, gan starptautisku projektu dalībnieki), konference aptvēra gandrīz visus Eiropas reģionus.

LVMI Silava aicina Eiropas zinātniekus diskutēt par vecu mežu izpētes aspektiem



- Starptautiskajā konferencē piedalījās dažādu Eiropas valstu – Nīderlandes, Spānijas, Somijas, Zviedrijas, Itālijas, Igaunijas, Šveices un Beļģijas, zinātnieki.
- Prezentācijas sniedza 4 Eiropas mēroga (H2020) sadarbības ietvaru pārstāvji (FORWARDS, ForestPaths, CLIMB-FOREST un PROGNOSIS), kas veic vecu mežu un mežaudžu izpēti dažādos aspektos.
- Kopā 65 konferences dalībnieki.

“Old-growth forests in the context of climate policy: information for decision-makers” international conference
 Date: December 8, 2022
 11:00 am – 16:30 pm (EET); 10:00 am – 15:30 pm (CET)
 Co-organized by Latvian State Forest Research Institute Silava (Latvia) and project FORWARDS
 ONLINE

AGENDA	
11:00 (30 min)	Welcome and introduction to the project Forest Development Fund (MAF) supported research Old-growth forests in the context of climate policy: information for decision-makers. Dr. Jozef LJM Silava, Latvia
11:20 (30 min)	Climate smart forestry: introducing the FORWARDS and ForestPaths projects. Dr. M. Tarkenton, European Forest Institute
11:40 (30 min)	Climate change mitigation potential of forests with organic soils: ditch or no ditch? T. Stanciu, K. Bolocant, LJM Silava, Latvia
12:10 (30 min)	Research-oriented methods for identification of old-growth stands in Latvia. E. Basker, LJM Silava, Latvia
12:30 (30 min)	Possible climate smart forestry approaches in managing old-growth stands. A. Amore, LJM Silava, Latvia
12:50 (30 min)	Defining old-growth forest indicators in European beech forests. K. Fauschert, Senior researcher at INBO, project Protection of Old-growth forests in Europe (Life Progress)

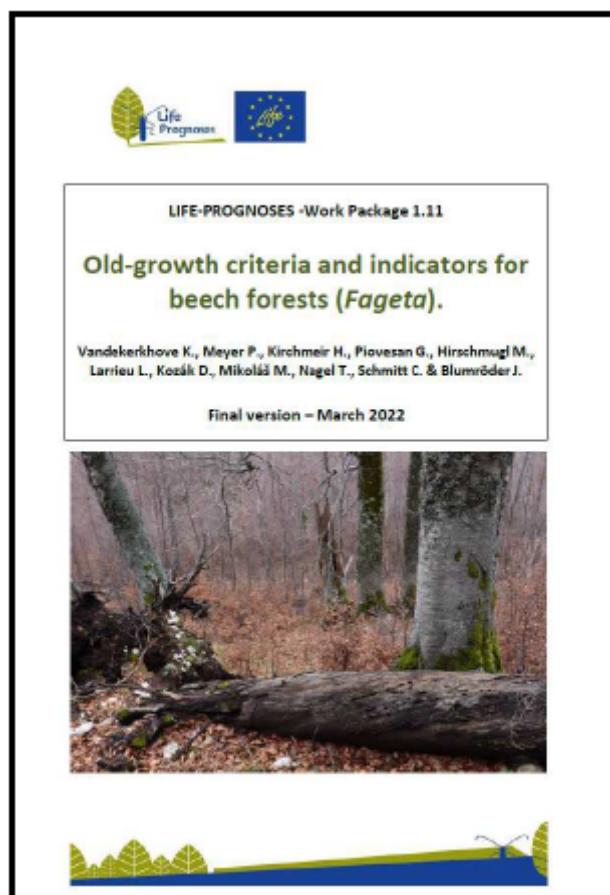
13:10 (30 min)	The future of European forests: What is sustainable management nowadays? prof. T. Stanciu, Transylvania University, Romania
13:30 (30 min)	Primary forest mapping and studies in Sweden and expected research in CLIMB-Forest A. Ahlstrom senior lecturer at Lund University, Horizon project CLIMB-Forest
13:50 (30 min)	The carbon balance of old-growth forests in Finland. Anu Ahijärvi, Researcher, Finnish Environment Institute
14:10 (30 min)	Q/A session
14:40 (40 min)	Break
Panel discussion networking of projects & researchers future research on old-growth forests: possible areas of co-operation	
15:20 – 16:20	<ul style="list-style-type: none"> • Horizon project FORWARDS – prof. R. Talluuma (SLU) • Estonian University of Life Sciences (Estonia) prof. K. Rõigaste • Transylvania University (Romania) prof. T. Stanciu • Horizon project CLIMB-FOREST A. Ahlstrom (Lund University) • Ministry of Agriculture, Forest dep. director A. Cools (Belgium)
16:20 – 16:30 (10 min)	Concluding remarks
Concluding at 16:30	

Avots: LVMI “Silava”

1. att. Starptautiskās konferences dienas kārtība un pasākuma apmeklējums

Zinātniskā diskusija starptautiskās konferences ietvaros aptvēra jautājumu loku, kas attiecas gan uz vecu mežu identificēšanu, monitoringu, gan grūtībām saistībā ar veco mežu definīcijas noteikšanu, ņemot vērā to, ka vienlaicīgi pastāv vairākas pieejas veco mežu un veco mežaudžu definīšanā. Ņemot vērā to, ka vecu mežu definīcija un attiecīgie iespējamie indikatori tiek diskutēti Briselē, ES līmenī, metodikas piemēri ir nozīmīgi turpmākajā darbā pie indikatoru izstrādes katras ES valsts nacionālā līmenī.

LIFE projekta PROGNOSIS partneris INBO (Beļģija) prezentēja projekta rezultātus vecu mežu indikatoru izstrādē (prof. K. Vandekerkhove).

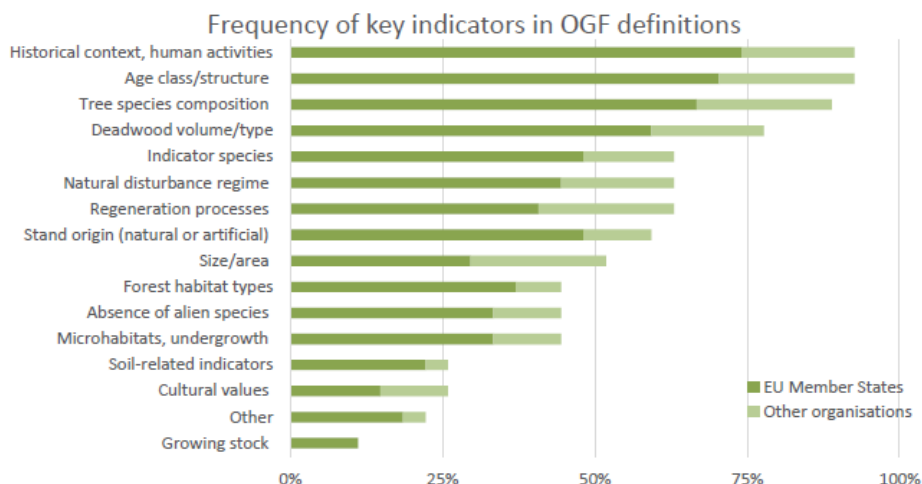


Avots: www.lifeprognoses.eu/outputs-of-the-project/

2. att. LIFE projekta PROGNOSIS ziņojums “Vecu mežu kritēriju un indikatori dižskābaržu (*Fageta*) mežiem

Projekta ietvaros analizēta veco mežu indikatoru piemērošana Centrāleiropas dižskābaržu audzēm. Lai gan pētījumā ietvaros netika aptverti boreālās zonas meži, metodika visticamāk ir adaptējama dažādam meža ekosistēmām, tostarp Latvijā.

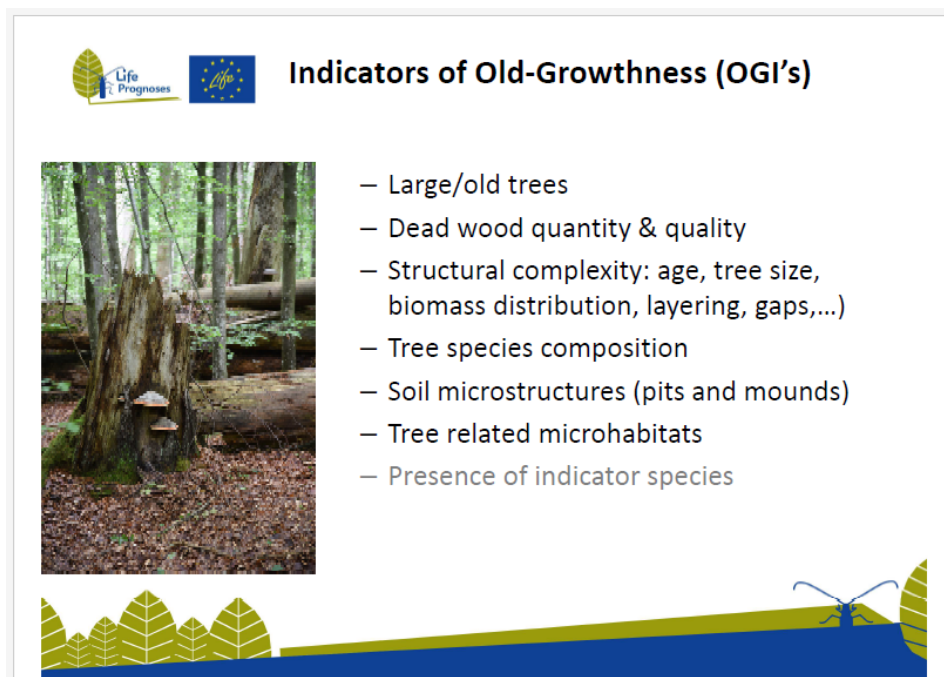
Eiropas līmenī veco mežu monitorings aizvien ir fragmentārs un prasa papildus ieguldījumu, lai būtu pieejama pilnīga informācijā par Eiropas mežiem, kas ir vecāki par 100 gadiem. Tāpat indikatori un kritēriju vecu mežu noteikšana nav vienoti. Tiek izmantoti vairāki atšķirīgi indikatori. Visbiežāk sastopamais indikators ir mežaudzes vecums, tomēr ar šo indikatoru ir grūti pilnvērtīgi raksturot mežaudzi, tāpēc tiek izmantoti vairāki papildus indikatori, kā, piem., atmirusī koksne, audzes struktūra koku sugu sastāvs. Retāk kā indikatori tiek noteiktas: vietējās koku sugas augsne, mikrodzīvotnes, indikatorsugas, kultūras vērtības (3. att.).



Avots: EK (2022)

3. att. ES valstīs un organizācijās biežāk izmantotie veco mežu indikatori

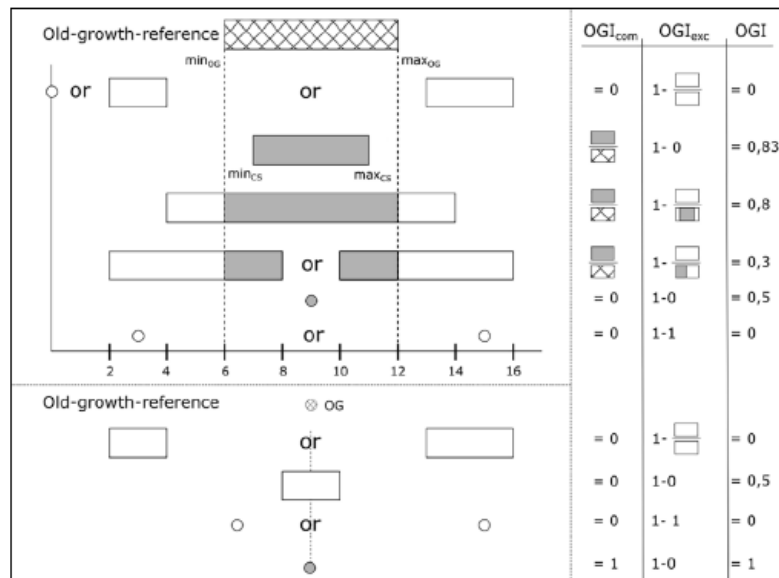
Pētījumā izvēlēti septiņi galvenie indikatori: 1) lieli un veci koki, 2) atmirušas koksnes apjoms un kvalitāte, 3) audzes struktūra (koku vecums, koku dimensijas, atvērumi), 4) koku sugu sastāvs, 5) augsne, 6) mikrodzīvotnes, 7) indikatorsugas (4. att.).



4. att. LIFE projekta PROGNOŠIS izstrādātie indikatori dižskābaržu mežiem

Indikatoru izvēle ir pirmais darba uzdevums, turpmākā audžu analīzē nepieciešams noteikt references vērtības jeb definēt tos mežaudzes parametrus, kas uzskatāmi par “etalonu”,

ar ko turpmāk tiks veikts parametru salīdzinājums (5. att.). Tiek atzīts, ka nav iespējams Eiropas līmenī noteikt ne universālus indikatorus un kritērijus, ne vēl jo vairāk, ņemot vērā veco mežu daudzveidību, nav iespējams noteikt veco mežu references vērtības Eiropas līmenī. Tas nozīmē, ka katrai ekosistēmai, atbilstoši augšanas apstākļiem, nepieciešama šāda analīze.



Avots: Meyer et al. (2021) Ecol. Indic.

5. att. Veco mežu indikatoru analīze un mežaudzes references vērtības

Somija. Somijas Vides institūts (A. Akujärvi, R. K. Heikkinen, A. Nirhamo, J. Pykälä, O. Saikkonen, T. Green, M. Peltoniemi & A. Mäkelä) sniedza prezentāciju par veco mežu izpētes aktualitātēm Boreālās zonas mežos, galveno uzmanību veltot oglekļa uzkrājuma potenciālam un pieaugušās un vecās mežaudzēs.

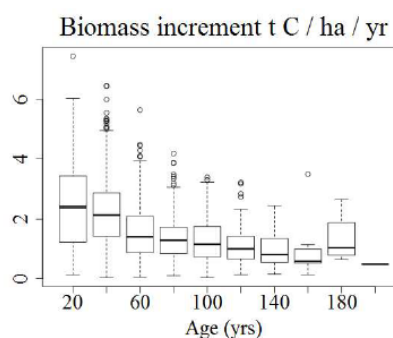


6. att. Somijas Vides institūts ziņojums starptautiskajā konferencē, A. Akujärvi

Somijā tika pētītas 100–200 gadus vecas audzes, kas pārsniegušas ciršanas vecumu. Pētījuma rezultātā (uz 2022. gada decembri nepublicēts manuskripts) tiek secināts, ka līdz ar audzes vecumu ikgadējais koksnes pieaugums samazinās, īpaši audzei pārsniedzot 120 gadus (7. att).

The effect of stand age on carbon balance

- Volume increment slows down with stand age
- More biomass is allocated to the litter and deadwood pools (NPP = change of biomass C stock + litter)
- Research needed to improve scenario modelling



Source: National Forest Inventory

7. att. Somijas Vides institūts ziņojums starptautiskajā konferencē, A. Akujärvi

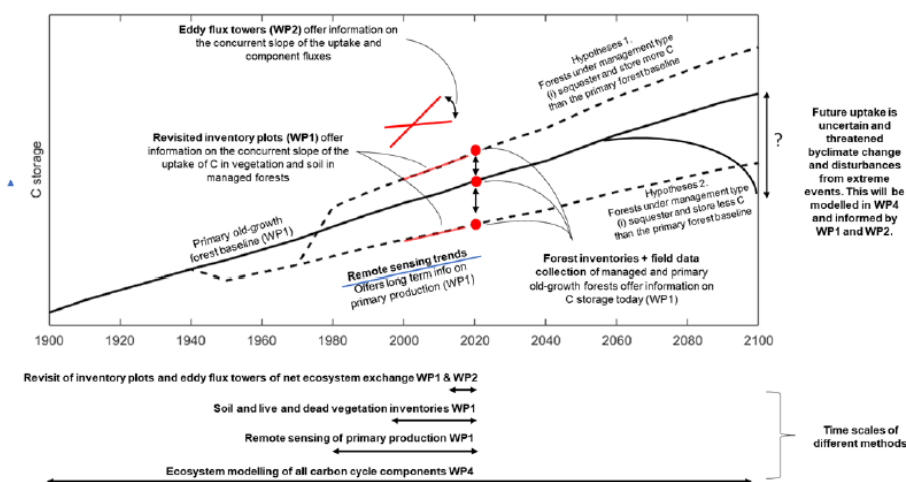
Koksnes krāja šādās audzēs pārsniedza koksnes krāju apsaimniekotos mežos. Vērojams lielāks nedzīvās koksnes apjoms, un līdz ar to arī lielāks oglekļa uzkrājums nedzīvās koksnes oglekļa krātuvē. Secinājumi saskan ar Norvēģijas pētījuma atziņām (Stokland et al. 2021, FORECO), novērtējot zemas un vidējas ražības mežaudzes un Dānijas pētījumu (Gundersen et al. 2021), vid. neto primārā produktivitātē (NPP) Somijas vecās mežaudzēs sastāda $420 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. Secināts, ka vecās mežaudzēs oglekļa uzkrājums ekosistēmā ir atkarīgs no augsnes emisijām, kuras šajā pētījumā netika vērtētas. Vienlaicīgi Somijas zinātnieki atzīst, ka veco mežaudžu attīstības gaitas scenāriju modelēšanai nepieciešama turpmāka izpēte.

H2020 projekta CLIMB-FOREST partneris – Lundas Universitāte iepazīstināja ar veco mežu izpēti **Zviedrijā**.



8. att. Zviedrijas ziņojums starptautiskajā konferencē A. Ahlstrom Lundas Universitātē

Viens no projekta CLIMB-FOREST uzdevumiem ir apzināt meža apsaimniekošanas vēsturi un esošo meža stāvokli, kas ietver mežaudžu ražības un oglekļa uzkrājumā potenciāla novērtējumu vecos mežos. Tiek apzināti ne tikai veci meži, bet arī tiek, kas uzskatāmi par daļēji cilvēka darbības neietekmēti (primary forests). Tiek nošķirti veci meži (old-growth forests) un neskarti veci meži (primary forests). Izpēte Zviedrijā tiek izmatotas arī attālās izpētes pieejas.

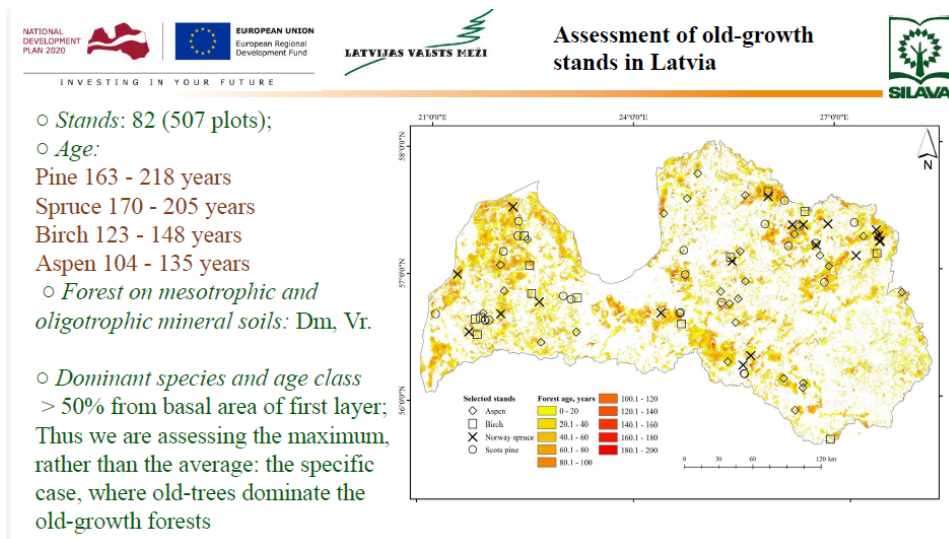


Avots: A. Ahlstrom

9. att. Projekta CLIMB-FOREST veco mežu novērtējums, kombinējot tradicionālās un attālās izpētes metodes

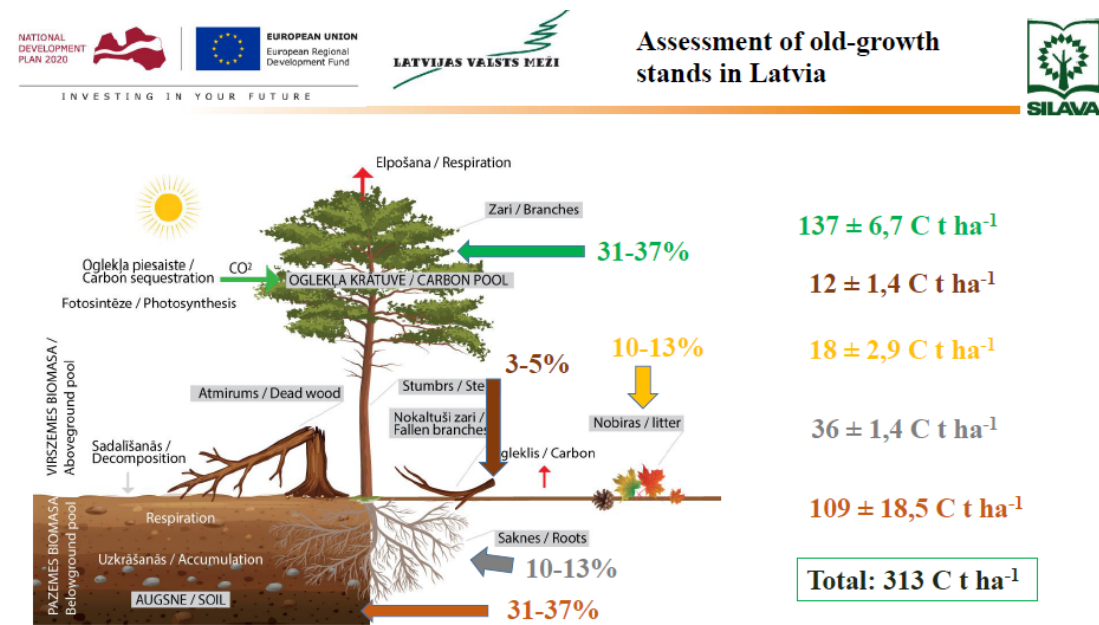
LVMI “Silava” konferencē iepazīstināja starptautisko auditoriju ar jaunākajam atziņām veco mežu izpētē, sniedzot trīs prezentācijas: 1) Climate change mitigation potential of forests with organic soils: ditch or no ditch. V. Samariks, K. Bickovskis; 2) Remote-sensing methods for identification of old-growth stands in Latvia. E. Baders; 3) Possible climate smart forestry approaches in managing old-growth stands. A. Jansons.

LVMI “Silava” veco mežu izpētē aptver izplatītākās koku sugas (priede (163–218 gadi), egle (170–205 gadi), bērzs (123–148 gadi), apse (104–135 gadi), analizējot parauglaukumos iegūtos datus no visas Latvijas teritorijas (10. att.).



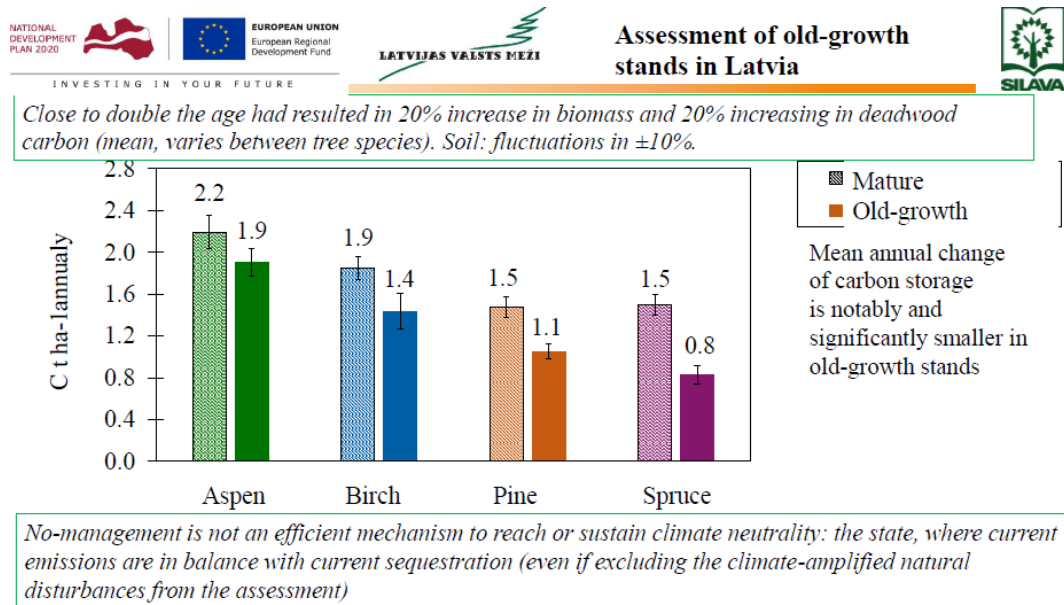
10. att. LVMI “Silava” ierīkto veco mežu parauglaukumi Latvijā

Latvijā ir novērtēts meža ekosistēmas oglekļa uzkrājums, kas vidēji sastādot 313 C t ha⁻¹. Dzīvo koku biomasā tiek uzkrāts 31–37% no kopējā ekosistēmas oglekļa un tikpat liels apjoms oglekļa (31–37%) tiek uzkrāts augsnē. Papildus ogleklis tiek uzkrāts nobīrās (10–13%) un atmirušajā koksne (3–5%) (11. att.).



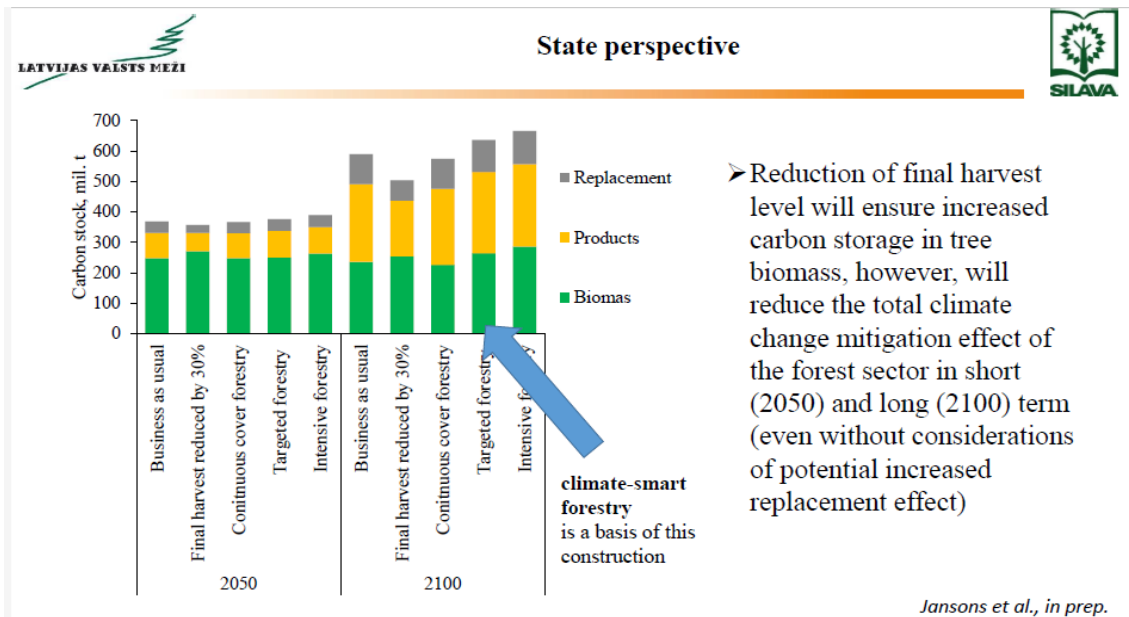
11. att. Meža ekosistēmas oglekļa uzkrājums Latvijā

Ikgadējais koksnes pieaugums līdz ar mežaudzes vecumu samazinās, un līdz ar to samazinās arī ikgadēji uzkrātais oglekļa apjoms. Šī tendence ir vienāda visām analizētajām koku sugām (egle, priede, apse, bērzs). Lielākā atšķirība starp oglekļa ikgadējo uzkrājumu konstatēta egļu audzēs (pieaugušas audzes 1,5 C t ha⁻¹ vs. vecas audzes 0,8 C t ha⁻¹) (12. att.).

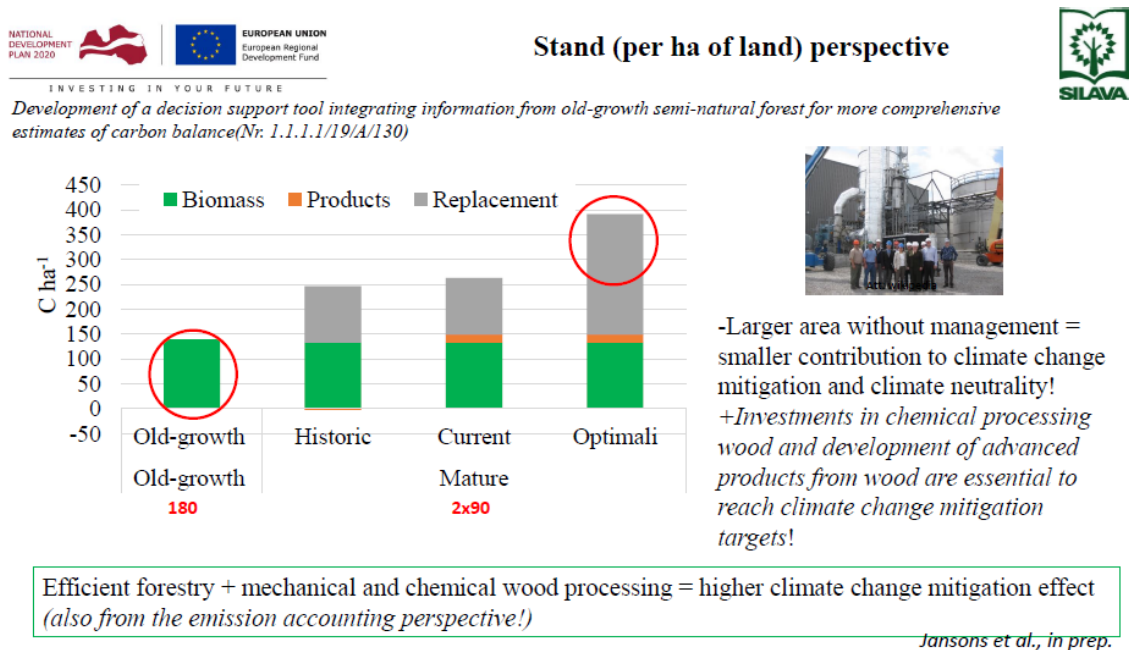


12. att. Ikgadēji uzkrātais ogleklis vecās un pieaugušas audzēs, C t ha⁻¹

Notika diskusija par oglekļa uzkrāšanas potenciālu un ierobežojumiem mežā, dzīvo koku biomasā, kā arī par fosilo resursu aizstāšanas efekts mežsaimniecībā. No klimata viedas mežsaimniecības perspektīvas raugoties, jāņem vērā dažādas iespējas uzkrāt oglekli, proti, ne tikai augošos kokos, bet arī koksnes produktos. Oglekļa uzkrājums novērtējams ilgtermiņā. LVMI “Silava” veikta vairāku scenāriju analīze uz 2050. un 2100. gadu (14. att un 15. att).



14. att. Uzkrātais ogleklis un fosilo resursu aizstāšanas efekts mežsaimniecībā

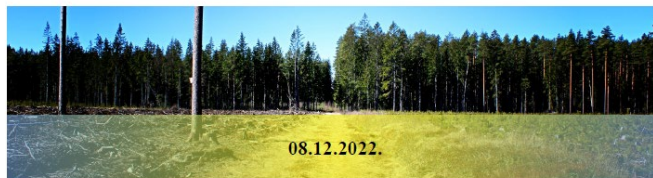


15. att. Meža apsaimniekošanas scenāriji

1.2. Seminārs “Veco mežu loma klimata pārmaiņu mazināšanā” ZM un VARAM

Latvijas meža politikas veidotāji (Zemkopības ministrijas eksperti un Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas eksperti) tika informēti par zinātnieku jaunākajām atziņām saistībā ar veco mežaudžu un veco mežu attīstības dinamiku un lomu dažādu ES un nacionālo politiku kontekstā. Semināru apmeklēja 20 eksperti (ZM un VARAM).

Klimata pārmaiņu mazināšana un mežsaimniecība



Āris Jansons, Andis Lazdiņš, Guntars Šņepsts,
LVMI Silava, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169

16. att. LVMI “Silava” prezentācija seminārā, Ā. Jansons

Secinājumi:

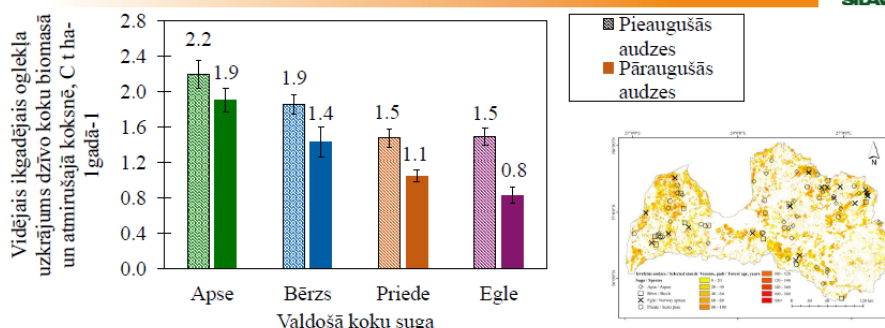
- **Situācija** – saistību izpilde, saglabājoties esošajam stāvoklim, nav iespējama; **darāmais** – organisko augšņu apmežošana, stādīšana, miruma režīma regulācija, un citu pasākumi ar būtisku īstermiņa ietekmi (koksnes produkti, enerģētika).
- **Lauksaimniecības un ZIZIMM kopīgās saistības 2035. gadā** var izpildīt, apmežojot organiskās augsnes, veicot meža mēslošanu, veicinot koksnes produktu (šķiedras un biodegvielu) ražošanu.
- **Virzība uz klimatneitralitāti 2050. gadā** – vismaz 10% no šī brīža SEG emisijām ārpus ZIZIMM, intensificējot mežsaimniecību, taču nav novērtēta saimnieciskās darbības ierobežojumu un koksnes pieprasījuma izmaiņu ietekme.
- Galvenie **pasākumi klimata mērķu izpildei** – pasākumi īstermiņa saistību izpildei (apmežošana, stādīšana, barības vielu atgriešanas mežā, koksnes produkti) un ilgtermiņa piesaistes nodrošināšanai (mērķtiecīga mežsaimniecība, agromežsaimniecība, augsnes oglekļa uzkrāšana).

Rekomendācijas:

1. Apzinoties, ka dzīvo koku biomasā ir lielākā dinamiskā oglekļa krātuve, rekomendējams meža platībās, kurās ietekme uz klimata pārmaiņu mazināšanu ir galvenais mērķis, pielietot tādu mežsaimniecības modeli, lai veidotu iespējami ražīgas un pret dabiskajiem traucējumiem noturīgas audzes, tādējādi veicinot arī oglekļa uzkrājuma palielināšanās efektivitāti.
2. Meža platībās, kurās primārais mērķis ir dabas aizsardzība, jāņem vērā, ka oglekļa uzkrāšanās efektivitāte (oglekļa uzkrājums gadā) koku biomasā un atmirušajā koksni laika periodā starp jaunākām kontroles un veco audžu stadiju būtiski samazinās. Vecās mežaudzes (vecas kokaudzes) turpina lēni uzkrāt oglekli koku biomasā tik ilgi, kamēr koku vecuma un/vai dabisko traucējumu ietekmē nemainās dominējošais meža elements. Tādēļ, plānojot šādu teritoriju izvietojumu, ieteicams rīkoties tā, lai atstātu iespējami mazāku negatīvo ietekmi uz ES līmeņa klimata politikas realizāciju.

3. Mērķtiecīga mežsaimniecības realizācijai ir nozīmīga uz faktiem (zinātniski apstiprinātas informācijas) balstīta, pārdomāta ilgtermiņa rīcībpolitika.

Klimatneitralitāte nav vienreiz sasniedzams mērķis – tas ir ilgtermiņā uzturam stāvoklis



- Saimnieciskās darbības ilgstoši neietekmētās vecās mežaudzēs (104-218 gadi), kur vecie koki ir dominējošais meža elements, kopējais oglekļa uzkrājums ir vidēji par 20% lielāks nekā par 54-103 gadiem jaunākās (kontroles) audzēs: atšķirības atkarīgas no valdošās koku sugas.
- Oglekļa uzkrāšanās efektivitāte (oglekļa uzkrājums gadā) koku biomasā un atmirušajā koksnē vecās priedes, bērzu un egles mežaudzēs ir būtiski (par 27% līdz 47% atkarībā no koku sugas) mazāka nekā vidēji divas reizes jaunākās kontroles audzēs.

17. att. Vidējais oglekļa uzkrājums vecās (pāraugušās) un pieaugušās audzēs

1.3. LVMI “Silava” pētnieku attālināta divpusēja tikšanās-diskusija ar Eiropas Komisijas pārstāvjiem

Ar mērķi informēt Eiropas Savienības (ES) meža politikas veidotājus par zinātnieku jaunākajām atziņām saistība ar veco mežaudžu un veco mežu attīstības dinamiku un lomu dažādu ES un nacionālo politiku kontekstā, tika organizēta LVMI Silava pētnieku attālināta divpusēja tikšanās-diskusija ar Eiropas Komisijas pārstāvjiem. Piedalījās 3 Eiropas Komisijas ierēdņi (DG AGRI).

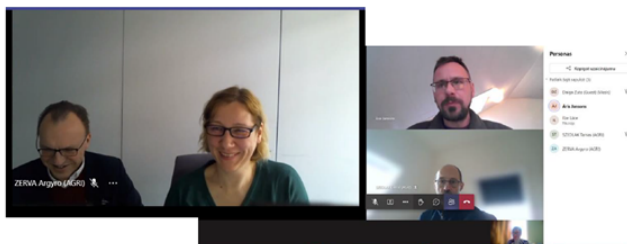
Eiropas Komisija (DG AGRI)



LVMI Silava pētnieku attālināta divpusēja tikšanās-diskusija ar Eiropas Komisijas (DG AGRI) pārstāvjiem (13.12.2022.)

Vecu mežu galveno zinātnisko atziņu apkopojums angļu valodā “Executive summary”

- Latvijas politikas veidotājiem: ZM un VARAM,
- ES politikas veidotājiem: Eiropas Komisija (DG AGRI, DG ENVI, DG CLIMA).



Argyro ZERVA, Team Leader- Forestry team at European Commission

Risto ARTJOKI, Policy Officer - Climate Change and Environment, Deputy Director General, in charge of Directorates B, C and D Sustainability Environmental Sustainability (AGRI.B.2)

Tamas SZEDLAK, Forestry expert at DG AGRI

7

18. att. LVMI “Silava” tikšanās ar DG AGRI pārstāvjiem 13.12.2022.

Projekta ietvaros sagatavots galveno zinātnisko atziņu apkopojums angļu valodā “Executive summary”, kas caur Latvijas pārstāvniecību Eiropas Savienībā nosūtīts 3 EK ģenerāldirektorātiem (DG ENVI, DG CLIMA, DG AGRI). Atziņas prezentētas DG AGRI pārstāvjiem attālināti Teams platformā. Eiropas Komisijas pārstāvji atzinīgi novērtēja iespēju tuvāk iepazīties ar jaunākajām zinātniskajām atziņām attiecībā uz veco mežu lomu dažādu ES līmeņa stratēģiju kontekstā (t.sk. ES Bioloģiskās daudzveidības stratēģija).

12/12/2022



Old-growth Forests in the Context of Climate Policy

19. att. Executive summary “Old-growth forests in the context of climate policy”

1.4. Latvijas mežzinātnes diena “Ogleklis vecos mežos un mežaudzēs klimata pārmaiņu laikos”

LVMI “Silava” sadarbībā ar akciju sabiedrību “Latvijas valsts meži” un Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmiju Salaspilī un tās apkārtnē organizēja Latvijas mežzinātnes dienu “Ogleklis vecos mežos un mežaudzēs klimata pārmaiņu laikos”, kurā piedalījās vairāk nekā 140 dalībnieki (21.10.2022.). Pasākums tika plaši atspoguļots presē.

21. oktobrī organizēja Latvijas mežzinātnes dienu "Ogleklis vecos mežos un mežaudzēs klimata pārmaiņu laikos".



20. att. Latvijas mežzinātnes dienā LVMI "Silava" eksperti skaidro meža meliorācijas ietekmi: no kreisās A. Lazdiņš, Ā. Jansons, V. Samariks

Plašāka sabiedrība tika informēta, sniedzot informāciju Latvijas presē (LVMI "Silava" preses relīze 10.03.2022. (www.silava.lv) "Latvijas mežzinātnes diena: Ogleklis vecos mežos un mežaudzēs klimata pārmaiņu laikos" <http://www.silava.lv/73/section.aspx/1403> un pēc pasākuma <http://www.silava.lv/73/section.aspx/1412> (26.03.2022.). Raksts laikrakstā "Meža avīze" "Ogleklis, mežs un koki mainīgā pasaulē" (novembris, 2022 www.mezzaavize.lv), LZA mājas lapā raksts "Ogleklis, mežs un koki mainīgā pasaulē. Latvijas mežzinātnes diena 2022" <https://www.lza.lv/aktualitates/jaunumi/1262-ogleklis-mezs-un-koki-mainiga-pasaule-latvijas-mezzinatnes-diena-2022>; (kopā 4 preses relīzes un raksti). Ziņu portālā Apollo.lv publicēts raksts un video par Latvijas mežzinātnes dienu: [VIDEO } Latvijas mežzinātnes dienā aktualizē oglekļa nozīmību klimata pārmaiņu laikos \(apollo.lv\)](#).



21. att. Latvijas mežzinātnes dienas ietvaros LVMI “Silava” iepazīstina pasākuma dalībniekus ar vecām mežaudzēm

1.5. Eiropas Klimata Pakta vēstnieka pasākumi

Projekta ietvaros tika paredzēta Eiropas Klimata Pakta vēstnieka iniciatīvu integrēšana un saskaņošana ar projekta mērķi, lielāku uzmanību veltot tieši veco mežu jautājumiem. LVMI “Silava” pētniece D. Zute apstiprināta Latvijas Eiropas Klimata Pakta vēstnieka statusā kopš 2021. gada, un regulāri piedalās sabiedrības informēšanas pasākumos attiecībā uz klimata pārmaiņām un meža ekosistēmām. Aktuālākās informācijas nodošana lēmumu pieņēmējiem un sabiedrībai nacionālā mērogā veikta, t.sk. ar dalību Eiropas Klimata Pakta vēstnieka iniciatīvā. LVMI “Silava” piedalījās “Latvijas Finiera” organizētajā pasākumā “Zaļā klase” Rēzeknes novada Verēmu pagasta “Sarkaņkalnā” (8.09.2022.).

Daiga Zute - Klimata Pakta vēstniece Latvijā

- Nodrošinot aktuālākās informācijas nodošanu lēmumu pieņēmējiem Eiropas Savienības mērogā (un to efektīvāk realizēt, sadarbojoties vairāku valstu pētniekiem) un nacionālā mērogā (t.sk. ar dalību Eiropas Klimata pakta vēstnieka iniciatīvā).



22. att. LVMI “Silava” pētniece D. Zute Eiropas Klimata Pakta vēstnieka statusā sabiedrības informēšanas pasākumos stāsta par vecu mežu un klimata jautājumiem

2. Starptautiska sadarbība ar meža nozares pārstāvjiem un pētnieciskajiem institūtiem

Šis projekta uzdevums paredz sadarbību un līdzdalību Eiropas Savienības iniciatīvās un projektos, ietverot sadarbību ar ārvalstu zinātniekiem, gan arī valsts pārvaldes ierēdņiem un citu interešu grupu pārstāvjiem. Organizējot projekta centrālo pasākumu – starptautisko konferenci “Old-growth forests in the context of climate policy” Veci meži klimata politikas kontekstā tika piesaistīti zinātniskie institūti no dažādiem Eiropas reģioniem. LVMI “Silava” ir jau izveidota cieša sadarbība ar Baltijas valstu zinātniskajiem institūtiem, jauni kontakti tika veidoti ar H2020 un LIFE projektu partneriem.

Sadarbību apliecina starptautiskas konferences “Old-growth forests in the context of climate policy” plašā dalība. Konferencē piedalījās zinātnieki un interešu grupu pārstāvji, aptverot gandrīz visus Eiropas reģionus. Izveidotie kontakti ļaus arī turpmāk sadarboties veco mežu izpētes jautājumos, tādējādi nodrošinot plašu šī jautājuma apskatu.

Tika izmantoti jau nodibināti kontakti (SNS projekta PROFOR sadarbības tīklu) kā platforma, lai iesaistītu diskusijā Ziemeļvalstu un Baltijas valstu reģiona zinātniekus. SNS sadarbības tīkla projekta PROFOR līdzdalība LVMI “Silava” organizētajā starptautiskajā konferencē pārstāvēja Prof. J. Kalev (Igaunija), piedaloties paneļdiskusijās.

Nodibināti jauni kontakti ar trijiem H2020 projektu partneriem: projekts CLIMB-Forests, projekts FORWARDS, projekts INFORMA. Projekta FORWARDS līdzdalība starptautiskās konferences “Old-growth forests in the context of climate policy” organizēšanā un dalība (prezentācija, Prof. H. Verkerk). Projekts CLIMB-Forests – dalība starptautiskajā konferencē “Old-growth forests in the context of climate policy” un dalība (prezentācija, A. Ahlstrom, Lundas Universitāte). Nodibināti jauni kontakti LIFE projekta PROGNOSIS partneriem, kuriem ir pieredze veco mežu zinātniskās izpētes jomā (Prof. K. Vandekerkhove (INBO) u.c.). Sadarbība ar LIFE projektu PROGNOSIS ir nozīmīga, jo šobrīd šis ir vienīgais Eiropas projekts, kas pēta tiešo veco mežu indikatorus (dižskābārdis). Lai gan projekts neapskata heiboreālos un boreālos mežus, vērtīgi iepazīties ar metodikas jautājumiem, kas

potenciāli varētu būt piemērojami arī Latvijas mežu novērtēšanā (adaptējot vietējiem apstākļiem).

Latvijai projekta ietvaros bija iespēja dalīties ar savām atziņām par veco mežu izpēti starptautiskā arēnā. Uzstājoties starptautiskajā konferencē, LVMI “Silava” prezentēja Latvijas jaunākās atziņas vecu mežu izpētē: 1) Climate change mitigation potential of forests with organic soils: ditch or no ditch. V. Samariks, K. Bickovskis, LVMI “Silava”, Latvia; 2) Remote-sensing methods for identification of old-growth stands in Latvia. E. Bāders, LVMI “Silava”, Latvia; 3) Possible climate smart forestry approaches in managing old-growth stands. A. Jansons, LVMI “Silava”, Latvia.

Sadarbības rezultātā starptautiskajā konferencē tika sniegtas prezentācijas, pārstāvējot veco mežu izpēti dažādos Eiropas reģionos: 1) Defining old-growth forest indicators in European beech forests. K. Vandekerkhove. Senior researcher at INBO, project “Protection of Old-Growth forests in Europe” (Life Prognoses); 2) The future of European forests: What is sustainable management nowadays? Prof. T. Stancioiu, Transylvania University, Romania; 3) Primary forest mapping and studies in Sweden and expected research in CLIMB-Forest A. Ahlstrom, senior lecturer at Lund University, Horizon project CLIMB-Forest; 4) The carbon balance of old-growth forests in Finland. A. Akujärvi, researcher, Finnish Environment Institute.

LVMI Silava starptautiskā sadarbība vecu mežu izpētē



Latvija var dalīties ar Eiropu atziņās un informācijā (ES projektos, pētījumos, publikācijās).

LVMI SILAVA sadarbojas, lai attīstītu veco mežu izpētes tēmu **kopīgi ar ES zinātniskajām**

institūcijām. (piem., ES Horizon projekti: FORWARDS (2023), HORIZON-CL6-2021-CLIMATE-01-09. Enhancing science-based knowledge on EU forests, including old-growth forests, capacities to climate change mitigation (2023))

- **Datu kopu kopīga analīze**, iekļaujot Latvijas datus.
- Kopīgu **publikāciju sagatavošana**.
- Nodrošinātu, ka **Latvija piedalās Eiropas zinātnieku diskusijā**.



Sabatini et al. (2018) Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distribution* 24, pp. 1426-1439.

Avots: LVMI “Silava” pēc Sabatini et al.

23. att. Veco mežu datu apzināšana Eiropas līmenī

Sadarbība starp Latvijas un Eiropas zinātniskajiem institūtiem gan ES projektu ietvaros, gan citos formātos ir būtiska, lai turpinātu veco mežu izpēti un sekmīgi veiktu Eiropas Komisijas iecerēto Eiropas veco mežu kartēšanu 2030. gadā. Ņemot vērā to, ka uz 2022. gadu dati par vecām mežaudzēm ir Eiropā ir maz apzināti un nenotiek to sistemātisks monitorings, Eiropā nav iegūta pietiekama izpratne par vecu mežu lomu klimata politikas kontekstā. Zinātniskā sadarbība Eiropas līmenī veicinātu EK klimata un bioloģiskās daudzveidības mērķu iespējami labāku īstenošanu nacionālā līmenī, balstoties jau jaunākajiem zinātniskās izpētes rezultātiem.

3. Datu ievākšana un analīze

Projekta ietvaros ierīkoti parauglaukumi papildus empīrisko datu ieguvei ar mērķi pilnīgāk raksturot veco mežu audzes. Izmantota iepriekš aprobēta metodiku (Ķēniņa 2019). Oglekļa apjoms nobirās noteikts LVMI “Silava” Meža vides laboratorijā, izmantojot standartizētu metodiku, bet tā koncentrācija augsnē neietilpa šī projekta ietvaros, un tiks vērtēta iespējamā nākamajā pētījuma etapā.

Papildus dati par oglekļa uzkrājumu bērza-egles mistraudzēs un valdaudzes pakāpeniskā nomaiņā (izlases cirtē) iegūti no iepriekš ierīkoti ilgtērmiņa pētījumu objektiem un kontroles platībām tīraudzēs. Noteiks oglekļa uzkrājums mežā (visas galvenās krātuves) pie dažādām apsaimniekošanas alternatīvām, izmantojot iepriekš aprobētu metodiku (Ķēniņa 2018), savukārt oglekļa uzkrājums koksnes produktos un aizstāšanas efekts – izmantojot starptautiski pieņemtu (publicētu) metodiku (Pukkala 2017, Leskinen et al. 2019).

Iegūtie rezultāti par veco audžu īpatsvaru veco mežu platība un tā izmaiņām laikā analizēti kontekstā ar šobrīd uz meža statistiskās inventarizācijas pamata izstrādātām atmiruma funkcijām un citu valstu pētījumu datiem (Molina-Valero 2021), precīzāk raksturojot uzkrājuma dinamiku laikā saimnieciskās darbības neietekmētās platībās.

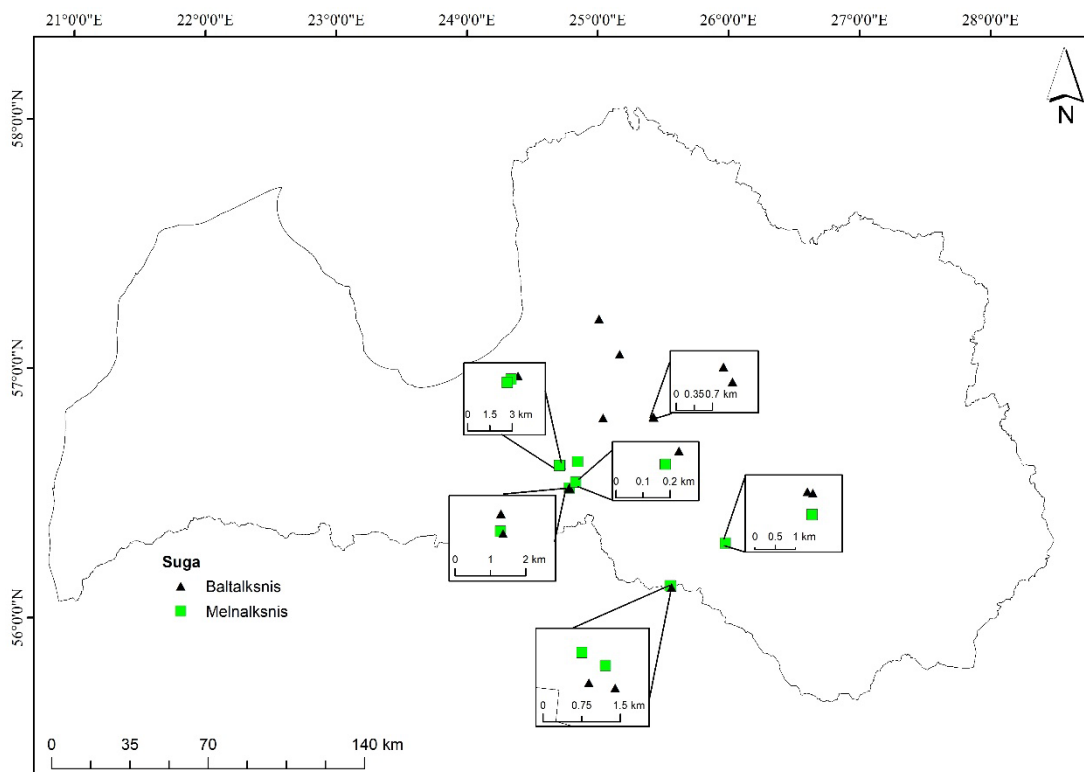
Papildus tradicionālajām empīriskajām datu ieguves metodēm veco mežaudžu identificēšanai un raksturošanai 2022. gadā Latvijā pirmo reizi tiek izmantotas attālās izpētes metodes. LVMI “Silava”, izmantojot mašīnmācīšanās algoritmus, veco mežu identifikācijai pielietoja konvolūciju tīklu modeļus, kas jau šajā etapā uzrāda samērā augstu precizitāti. Nākotnē, lai vēl vairāk uzlabotu modeļa spēju identificēt vecas audzes Sentinel 2B attēlos, būtu nepieciešams palielināt pieejamo attēlu kopas, tostarp, izmantojot augstākas izšķirtspējas attēlus, kas ļautu attēlu veidošanā izmantot arī mazākas platības veco audžu nogabalus.

3.1. Parauglaukumu ierīkošana atsevišķu oglekļa krātuvju raksturošanai

Lai novērtētu iztrūkstošās veco mežu datu kopas, kas raksturo papildus oglekļa krātuves mežā (nobiras un augsne), ierīkoti parauglaukumi un veikta paraugu ievākšana.

Nobiru ievākšana

Parauglaukumi regulārai nobiru ievākšanai ierīkoti 21 dažāda vecuma baltalkšņu (13) un melnalkšņu (8) audzēs, lai raksturotu oglekļa ienesi augsnē. Pētījuma objekti izvietoti dažādās Latvijas vietās sausieņu (Vr) un slapjainu (Vrs, Db) meža tipos (24. att).



24. att. Atlasīto mežaudžu izvietojums Latvijā

Katrā mežaudzē izvietoti 4 nobiru uztvērēji, kuros nobiru paraugi tiek ievākti vienu reizi mēnesī, gada garumā. Ievāktie paraugi tiek nogādāti uz LVMI “Silava” Meža vides laboratoriju, kur tos tālāk izžāvē un nosver, lai noteiktu parauga sausu masu, kas tālāk tiek izmantota oglekļa satura un ieneses augsnē noteikšanai.

Zemsegas un augsnes paraugi

Mežaudzēs, kurās izvietoti nobiru uztvērēji, tika ievākti zemsegas un augsnes paraugi 4 dažādos dziļumos (0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, 40–80 cm) 2 atkārtojumos, un nogādāti uz LVMI “Silava” laboratoriju tālākai paraugu apstrādei un analīzei.



25. att. Augsnes paraugu ievākšanas profilbedre



26. att. Augsnes paraugs

Augsnes paraugi (26. att) ievākti, lai raksturotu oglekļa saturu, koncentrāciju un augsnes blīvumu dažādos dziļumos, kā arī zemsegas blīvuma un ķīmiskās analīzes raksturošanai. Ievāktie augsnes paraugi tiek analizēti, rezultāti un to apkopojums būs iespējamos nākamajos etapos (ārpus šī projekta uzdevumiem).

3.2. Mežsaimniecības darbības cikla garuma novērtējums: oglekļa uzkrājums dzīvo koku biomasā, koksnes produktos, un fosilo materiālu aizstāšanas efekts

Projekta ietvaros tika novērtētas bērza un egles mistraudžu apsaimniekošanas stratēģijas ietekme uz oglekļa uzkrājumu dzīvo koku biomasā, koksnes produktos un fosilo resursu aizstāšanas efekts.

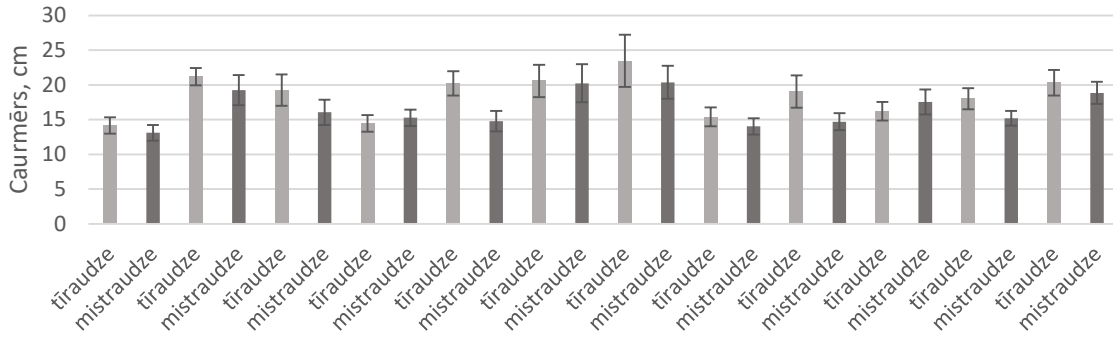
Materiāls un metodes

Pētījuma objekts ir bērzu un egļu mistraudzes – 12 mežaudzes sausieņu meža tipos minerālaugsnēs (Dm, Vr). Katrā mežaudzē tika ierīkoti parauglaukumi 400 m² platībā, kur veikta sākotnējā parauglaukumu uzmērīšana. Katrā audzē uzmērīti divi parauglaukumi, kuros plānotas dažādas apsaimniekošanas stratēģijas: mistraudze jeb nekopta audze (apzīmē lēmumu par papildzinātu rotācijas perioda garumu), un tīraudze jeb kopta audze (apzīmē lēmumu veikt izlases cirti izņemot bērzu un atstājot egli). Parauglaukumos tika mērīts koka augstums (H) un diametrs krūšaugstumā (DBH) visiem dzīvajiem kokiem. Parauglaukumu mērījumi veikti atkārtoti 8 gadus pēc retināšanas. Audžu vecuma noteikšanai desmit valdaudzes kokiem celmu augstumā ievāktas koksnes urbuma skaidas. Mežaudžu vidējais vecums ir 72 gadi.

Oglekļa uzkrājums dzīvajā koksnes biomasā aprēķināts no individuāla koka biomasas, izmantojot Latvijas apstākļiem izstrādātus biomasas modeļus galvenajām koku sugām (Liepiņš et al. 2017), un sareizinot ar oglekļa saturu (50%) koksnē (Lamlom & Savidge 2003). Oglekļa bilance un uzkrājums koksnes produktos aizstājot fosilos resursus aprēķināta pēc Pukkala (2014) pētījuma metodikas.

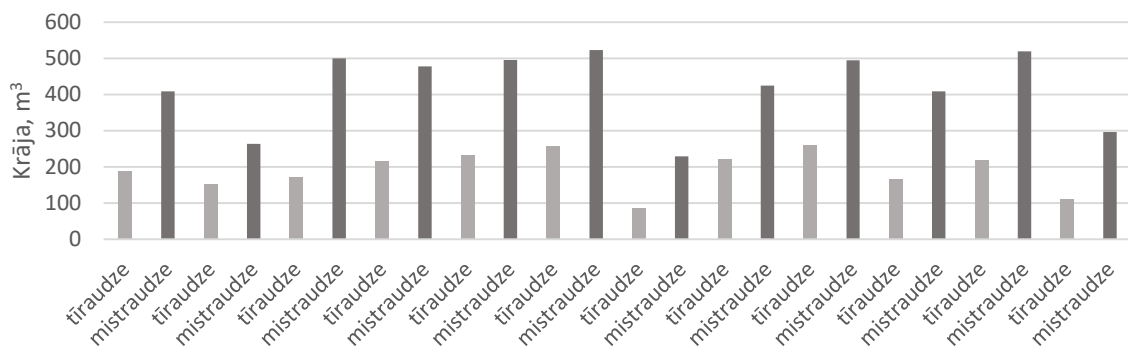
Rezultāti

Vidējais egļu caurmērs tīraudzēs ir $18,5 \pm 0,42$ cm, bet mistraudzēs $16,6 \pm 0,31$ cm, turklāt atšķirības starp analizētajām mežaudzēm ir statistiski būtiskas. Egļu vidējais caurmērs tīraudzēs ir par 10,9% lielāks, kā mistraudzēs (27. att.).



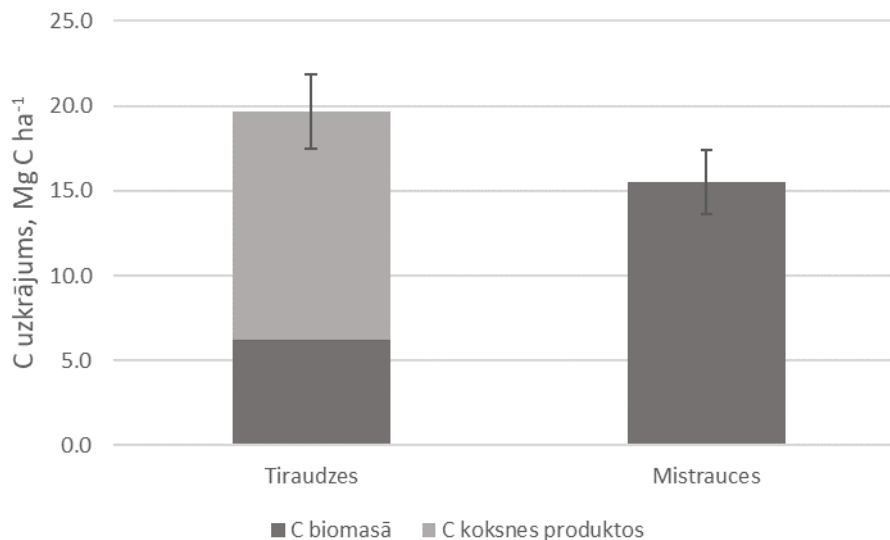
27. att. Vidējais egļu caurmērs (cm) tīraudzēs (koptas audzes) un mistraudzēs (nekoptas audzes)

Analizēto mežaudžu egļu vidējā krāja tīraudzēs ir $189,7 \pm 31,28 \text{ m}^3$, bet mistraudzēs $419,8 \pm 58,64 \text{ m}^3$, turklāt krāja ir statistiski būtiski augstāka mistraudzē, kur retināšana nav veikta. Taču jāņem vērā, ka tīraudzēs retināšana ir veikta, iegūstot daļu krājas ienākumus un uzkrāto oglekli koksnes produktos.



28. att. Vidējā egļu krāja (m^3) tīraudzēs (koptas audzes) un mistraudzēs (nekoptas audzes)

Oglekļa uzkrājums tīraudzēs (C dzīvo koku biomasā + C koksnes produktos) bija ievērojami augstāki ($p < 0,05$) kā mistraudzēs (tikai C dzīvo koku biomasā). Tīraudzēs C uzkrājums koku biomasā veido $6,3 \pm 1,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$, bet oglekļa uzkrājums koksnes produktos ir $13,4 \pm 2,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (29. att.). Mistraudzēs C uzkrājums dzīvo koku biomasā veido $15,9 \pm 1,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$.



29. att. Oglekļa uzkrājuma salīdzinājums starp tīraudzēm un mistrāudzēm. Tīraudzēs oglekļa uzkrājums ir ogleklis dzīvo koku biomasā un oglekļa bilance koksnes produktos pēc retināšanas. Mistrāudzēs oglekļa uzkrājums ir ogleklis dzīvo koku biomasā

Kopsavilkums

Apsaimniekošana (retināšana), ņemot vērā oglekļa uzkrājumu biomasā un koksnes produktos, deva ievērojami lielāku ieguldījumu klimata pārmaiņu mazināšanā, salīdzinot ar neapsaimniekotām mežaudzēm. Fosilo resursu aizstāšanai ar koksnes produktiem ir izšķiroša loma klimata pārmaiņu mazināšanā. Oglekļa bilance Latvijā izplatītākajiem koksnes sortimentiem 8 gadus pēc izlases cirtes parāda, cik svarīgi ir mērķtiecīgi tiekties uz augstvērtīgiem koksnes gala produktiem, lai vēl vairāk palielinātu meža nozares ieguldījumu klimata pārmaiņās. mazināšana.

3.3. Attālās izpētes datu analīze

Veco mežaudžu identificēšanā Latvijā pirmo reizi tiek izmantotas attālās izpētes metodes. Zemes uzmērīšana no gaisa, izmantojot dažādus attālās izpētes sensorus, ir laika un izmaksu ziņā efektīvs rīks meža apsekošanā un kartēšanas darbu veikšanā. Sentinel 2 attēli pēdējā desmitgadē ir kļuvuši par galveno avotu fiziskās, ķīmiskās un bioloģiskās informācijas vākšanai, izmantojot attālās izpētes metodes (ESA 2022). Sentinel 2 ir brīvi pieejami attēli ar 13 spektra joslām un tiek uzņemti ik pēc 5 dienām, radot plašas un sistemātiskas pielietojšanas iespējas. Spektrālā diskriminācija un dažādas šo joslu kombinācijas ir plaši izmantotas attālās izpētes attēlu analīzē un veiksmīgi izmantotas dažādās jomās, piemēram, zemes seguma klasifikācijā (Weng et al. 2018) un ekosistēmu izmaiņu uzraudzībā (Puletti et al. 2017, Spracklen & Spracklen, 2021).

Attēlu klasifikācija jau līdz šim ļauj veidot augstas precizitātes kartes, izmantojot tradicionālos attēlu klasifikācijas algoritmus (Krizhevsky et al. 2012, Congalton & Green 2019). Turklāt straujā datoru attīstība un uz dziļās mašīnmācīšanās balstītie algoritmi papildina attēlu klasifikācijas iespējas, nodrošinot daudz detālākus un precīzākus rezultātus (Yao et al. 2017, Shafaey et al. 2019). Dziļās mašīnmācīšanās arhitektūra tiek raksturota kā mākslīgs neironu tīkls, kura pamatā ir bioloģiskā neironu tīkla struktūra un funkcija. Jaunākās dziļās mašīnmācīšanās metodes ir koncentrētas uz citu dziļās mācīšanās arhitektūru-konvolūciju

neironu tīkliem (Lecun et al. 1998). Konvolūciju neironu tīkli ir neparametriska mašīnmācīšanās metode, kas izmanto savstarpēji savienotus neironus vai mezglus, kas sakārtoti slāņos (parasti vairāk nekā divos slāņos) (Maxwell et al. 2021), lai prognozētu izvadī, piemēram, klasifikācijas birkas no ievades datiem. Konvolūciju neironu tīklu modeļu priekšrocība salīdzinot ar citiem modeļiem ir tāda, ka tos vieglāk ir vispārināt un piemērot dažādām vietām, tā arī (Sertel 2022). Līdz šīm tradicionālas klasifikācijas pieejas bijušas klasificējot zemes seguma un lietojuma klases, bet mazāk vienas klases ietvaros, līdz šīm ir mēģinājumi no meža zemēm nošķirt lapkokus un skujkokus, bet vēl retāk mēģinājumi segmentēt mežaudzes pēc vecumiem.

Metodika

Lai veiktu veco mežu izdalīšanu no satelīta attēliem, tika pielietas semantiskās segmentācijas metodes. Šīs metodes pamatā ir katram ievades pikselim, piešķirt lietotājam zināmu, iepriekš pārbaudītu vērtību, kas parasti ir kāda no zemes lietošanā vai zemes seguma klasēm, piemēram, mežs, lauksaimniecības zeme vai infrastruktūra, gala rezultātā iegūstot informāciju par objektu telpisko novietojumu un tematisko informāciju par interesējošo reģionu. Semantiskās segmentācijas procesa laikā vienlaikus var tikt aplūkotas dažādas klases, kas galvenokārt, nosaka šīs metodes priekšrocības salīdzinot ar tradicionālam klasifikācijas metodēm. Turklāt, attīstoties attālās izpētes tehnoloģijām un pieaugot datoru spējām vienā reizē apstrādātās informācijas apjoma, pieaug arī sarežģītāku attēla objektu atpazīšanas iespējas, piemēram, atsevišķas zemes lietošanas vai zemes seguma klašu detalizētāka analīze.

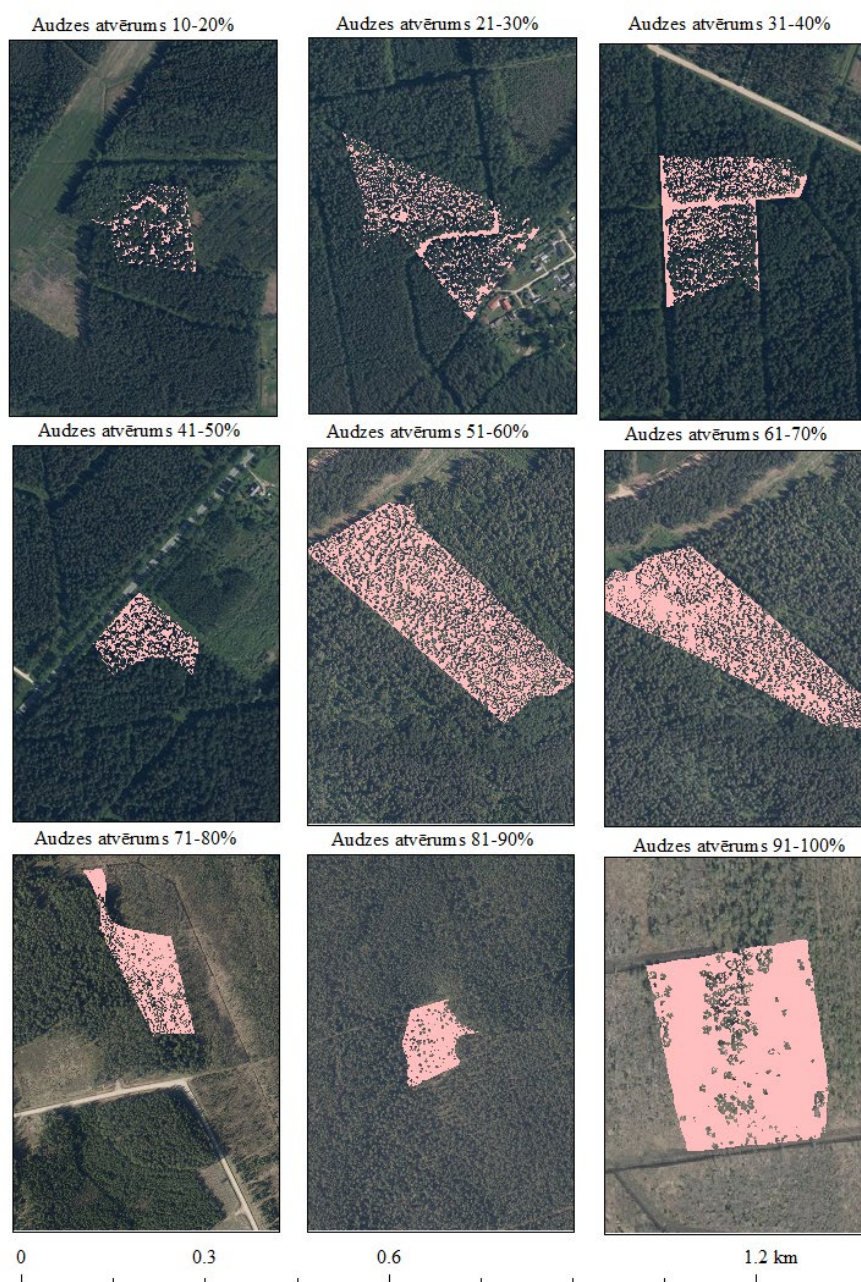
Šajā analīzē semantiskā segmentācijas vajadzībām bija nepieciešams sagatavot references datus. Šim nolūkam sākotnēji tika izmantoti LVMI "Silava" veco audžu pastāvīgie parauglaukumi, kas atrodas 66 priežu un egļu vecās audzēs (vecākas par 140 gadiem) visā Latvijas teritorijā. Tomēr ņemot vērā, ka šo audžu platības bija samērā nelielas (~1,5 ha), tad, veidojot modeļa ievades attēlus ar minimāli pieļaujamām dimensijām, 32 × 32 pikseļu izmērā, bija nepieciešams papildināt datu kopu arī ar citām vecām priežu un egļu tīraudzēm, kā arī telpiskie dati (poligonu formas slāņi, kam pievienoti 2021. gada meža inventarizācija atribūtu tabulas veidā). Par citām mežaudzēm iegūti no Valsts meža dienesta (VMD).

Veco audžu atlase no Valsts meža dienesta datubāzes un pārbaude

Atlasot audzes no VMD datubāzes veikta sākotnējā koku vainagu pārklājuma un audzes atvēruma pārbaude, šādā veidā atmetot audzes, kurām lielākajā daļā no audzes platības nav saglabāties koku vainagu klājs. Pārbaude veikta izmantojot digitālā augstuma modeļa datus, kas iegūti ar aerolāzerskenēšanas (LIDAR) metodi.

Visas Latvijas teritorijas kartēšanu Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LGIA) pārziņā notika laika periodā no 2013. līdz 2019. gadam. Neapstrādāti LIDAR punktu dati tika saņemti no LGIA .las faila formātā sadalīti 1 × 1 km karšu lapās. Iegūto punktu blīvums ne mazāks par 1,5 p m⁻². Lai raksturotu koku vainagu pārklājuma un audzes atvērumus vecās audzēs, no .las datiem sagatavots vainagu virsmas modelis (CHM) ar 1 m izšķirtspēju, sagatavojot .img formāta virsmas modeļa kartes ar izmēru 25 × 25 km. Kopumā no VMD datu bāzes atlasītas 61 378 audzes. Ņemot vērā ievērojamo datu apjomu, ko aizņem viena CHM karšu lapa, tad analīzei tika izmantotas tās audzes, kas atradās uz tām pašām karšu lapām, kur LVMI "Silava" ierīkoto veco audžu parauglaukumi, analīzei atstājot 23 353 audzes, kas izvietotas visā Latvijas teritorijā atlasītajās karšu lapās. Katrai audzei no CHM modeļa izdalīti audzes pirmā stāva koku vainagi. Šim nolūkam sākotnēji izveidotie CHM modeļi tika

pārklasificēti, atstājot pikselus, kuru vērtības ir robežās no 10 līdz 35, un izgriezta atsevišķā attēlā.



30. att. Audžu atvērumu sadalījums pēc to aizņemtās nogabala platības

Izveidotais attēls ar jaunajām pikseļu vērtībām pārveidots no rastra formāta uz vektora datu slāni, kas saturēja informāciju par koku vainagiem un fona informāciju jeb šajā gadījumā tā tika uzskatīta par audzes atvērumu, kur vecā kokaudze vairs nav dominējošais meža elements (sukcesijas ietvaros notikusi paaudžu maiņa). Audzes atvērumu īpatsvars noskaidrots, no audzes kopējās platības atņemot koku vainagu platību un apkopotu ņemot vērā to aizņemtās platības daļu pret kopējo nogabala platību, ievērojot 10% soli tika izveidotas 10 grupas. (30. att.). Aprēķinātā audzes atvēruma grupa pievienota kā atsevišķa kolona VMD datu bāzes

meža vektora slāņu atribūtu tabulā. Ģeotelpiskā analīze un datu sagatavošana veikta ArcMap 10.5. programmatūrā (ESRI 2017).

References datu (masku) izveidošana

Konvolūciju neironu tīklu semantiskās segmentācijas vajadzībām, veidojot maksas slāņus, iesaka izmantot vairāk par vienu klasi, neaprobežojoties tikai ar interesējošo klasi. Lai veiktu dziļās mašīnmācīšanās eksperimentus, sagatavota modeļa apmācības datu kopa, un iepriekš izveidotas piecas klases: “Lapkoki”, “Skujkoki”, “Vecas audzes”, “Jaunaudzes”, “Fons”.

Izmantots VMD datubāzes vektora slānis ar mežaudžu telpisko informāciju un atribūtu tabulā atrodamo informāciju par audžu vecumu, sugu (skuju vai lapu koki) un zemes lietojuma veidu. No pieejamās VMD datubāzes tika atlasītas egļu un priežu tīraudzes (dominējošās sugas īpatsvars no audzes sugu sastāva vairāk par 70%) vecumā no 6 līdz 139 gadiem, apvienojot tās klasē “Skujkoki”, lapkoku tīraudzes, kas vecākas par 5 gadiem, apvienotas klasē “Lapkoki”. Savukārt audzēs, kas jaunākas par 5 gadiem (ieskaitot), apvienotas klasē “Jaunaudzes”. Priežu un egļu tīraudzes, kas atrodas sausos meža tipos, ir vecākas par 140 gadiem un kurās audžu atvērumš mazāks ir par 70% no audzes kopējās platības, apvienotas klasē “Vecas audzes”. Visas pārējās mežaudzes, kā arī citas zemes pārseguma un lietojuma tipi tika apkopotas klasē “Fons”. Sentinel 2B satelītattēlu analīzes vajadzībām VMD datubāzes mežaudžu vektora slānis pārveidots par rastra slāni, piešķirot 10×10 m lielu izšķirtspēju vienam pikselim, par rastra vērtību norādot iepriekš izveidotās klases. Līdzīgi sagatavoti maskas slāņi aerofotogrāfiju analīzei, šajā gadījumā VMD datubāzes mežaudžu vektora slānis pārveidots par rastra slāni piešķirot 60 cm lielu izšķirtspēju vienam pikselim. Izmantojot kvadrātveida (320×320 m) vektora slāni, kas novietots uz VMD mežaudžu rastra slāni, maksimāli nosedzot interesējošo klasi un izmantojot ArcMap 10.5. pieejamo rastra apstrādes rīku Clip (ESRI 2017). Šādā veidā katrai klasei izveidotas 550 maskas. Kopumā izveidotas 2750 maskas Sentinel 2B datu kopai un tik pat aerofotogrāfiju datu kopai.

References attēlu izveidošana divām datu kopām Sentinel 2B un aerofotogrāfijas

Jaunu rastra attēlu datu kopas ģenerēšanai izmantoti Sentinel-2B satelītattēli, kas iegūti no Eiropas Kosmosa aģentūras. Kopā tika izmantotas desmit Sentinel 2B satelītattēli. Lai izvairītos no trokšņainiem datiem, tika izvēlēti tikai tie attēli, kuros mākoņu segas pārklājums nepārsniedza 5%, kas savukārt samazināja pieejamo attēlu izvēli, tad, lai nosegtu pētījuma teritoriju, izvēlēti satelītattēli, kas tika uzņemti laika posmā no 2021. gada oktobra līdz 2022. gada augustam. Sentinel 2B priekšapstrāde tika veikta, izmantojot SNAP 8.0. programmatūru (ESA SNAP 2023) sagatavots četrus joslu (Green, Blue, Red un NIR) attēls ar 10 cm viena pikseļa telpisko izšķirtspēju. Ņemot vērā, ka modeļi izveidotajiem attēliem pikseļu novietošanai jābūt identiskiem, tad Sentinel 2B attēli tika pārprojicēti no EPSG:32635- WGS 84/UTM zonas 35N koordinātu sistēmas uz EPSG: 3059-LKS 92 koordinātu sistēmas.

Papildus attēlu datu kopa izveidota no veģetācijas indeksus NDVI, NDRE, EVI, kas aprēķināti SNAP 8.0 programmatūrā, izmantojot Sentinel 2B attēlus un integrēto veģetācijas radiometrisko indeksu procesoru. Aprēķinātie indeksi un NIR spektra joslas attēls apvienoti vienā attēlā ar ArcMap 10.5. rīku Combine izveidojot Indeksu attēlu. Noslēgumā izmantojot tos pašus kvadrātveida vektora slāņus, ko izmantoja veidojot VMD mežaudžu masku attēlus, no Sentinel 2B attēliem un indeksu attēla izgriezti jauni attēli ar izmēru 320×320 m (32×32 pikseļu). Noslēgumā katra datu kopa un to maskas sadalītas trīs daļās treniņa, validācijas un testa kopās, attiecīgi sadalot 70, 20 un 10% no visiem attēliem.

Izvēlētā modeļa apraksts, apmācība, novērtēšana

Šajā pētījumā mēs izmantojam Sertel et al. (2022) izveidoto dziļās mašīnmācīšanās tīklu, kura pamatā ir DeepLab v3+ semantiskās segmentācijas arhitektūra (Sertel et al. 2022). Mūsu pētījumā, lai izveidotu blīvi prognozētas segmentācijas kartes no ievades attēliem, tika izmantots iepriekš apmācītu resNet50 modelis, kas sastāvēja no 48 konvolūcijas slāņiem un 1 MaxPool slāņa. Līdzīgi tradicionālajām klasifikācijas metodēm mūsu pieeja ietvēra trīs posmu: modeļa apmācību, attēlu klasifikāciju un precizitātes novērtēšanu. Modeļa apmācība tika veikta datorā ar Intel(R) Core (TM) i3-9100 CPU @ 3.60GHz un NVIDIA GeForce GTX 1650. Modelis ieviests, izmantojot Pytorch (1.14.0) bibliotēku un Python (3.8) programmēšanas valodā. Ņemot vērā, ka apmācības datu kopa bija salīdzinoši neliela, veikta datu pavairošana, piemēram, pagriežot par 90°, pagriežot par 180°, pagriežot par 270°, apvēršot un mērogojot, lai palielinātu apmācības datu kopu. Modeļa apmācības process sastāvēja no vairākiem soļiem, kas ietver hiperparametru norādīšanu. Soļu skaits (Batch size) jeb vienā iterācijā apstrādāto objektu skaits tika noteikts 16, korekcijas soļu skaits jeb epochu (epochs) ierobežots līdz 150 epochām, Adam optimizācijas algoritms ar β vērtību 0,9, mācīšanās ātrumu (learning rate) 10-4 un zuduma funkcija (1).

$$L = \frac{2 \sum_i^N p_i g_i}{\sum_i^N p_i^2 + \sum_i^N g_i^2} + (-a_t(1 - p_t)^\gamma \log \log(pt)) \times 0.5 \quad (1)$$

Lai novērtētu izveidoto klasifikatoru, tika izmantotas kvantitatīvie analīzes rādītāji, kā piemēram, Džakarda indekss (Jaccard index (IoU)) (2), precizitāte (3), atsauksana (4), F-1 rādītājs (5) un precizitātes kļūdu matrica (Csurka et al. 2013). Džakarda indekss (IoU) kvantitatīvi parāda objektu pārklāšanos attiecību starp dažādām klasēm, kas prognozētas dažādos iznākumos. Džakarda indeksa vērtība ir robežās no 0 līdz 1, piemēram, ja vērtība ir 0,5 vai vairāk tas parasti tiek uzskatīts par patiesi pozitīvu, pretējā gadījumā tas tiek uzskatīts par viltus pozitīvu (Choi et al. 2010). F-1 rādītājs atspoguļo precizitātes un atsauksanas rādītāju harmoniski vidējās vērtības, tas mēra klasifikatoru precizitāti un jutīguma spējas. F-1 vērtība norāda uz modeļa kvalitāti, proti, zema F1 vērtība norāda uz nelīdzsvarotiem precizitātes un atsauksanas rādītājiem (Kattenborn et al. 2021).

$$IoU = \frac{\text{Pārklāšanās platība}}{\text{Krustotās vietas platība}} \quad (2)$$

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$R = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

$$F - 1 = 2 \times \frac{P \times R}{P + R} \quad (5)$$

kur P ir precizitāte, R ir atsauksana, TP ir patiesi pozitīvs (skaits ar pareizi saklasificētiem pikseļiem pret tās pašas klases pikseļiem references datos), FP viltus pozitīvs (pikseļu skaits, kas klasificēts kā noteikta klase, kas saistītās klases nav, L ir zuduma funkcija, pi un gi norāda uz saskaņoto pikseļu skaitu, attiecīgi prognozēto un patieso kategoriju pikseļu vērtībām, at ir svērtā hiperparametra nobīde, kas mērogo galveno terminu, lai risinātu klases nelīdzsvarotības problēmu, γ darbojas kā relaksācijas parametrs, kas pielāgo nozīmi pareizi vai nepareizi klasificētiem paraugiem (Sertel et al. 2022).

Rezultāti

Lai identificētu veco audžu teritorijas ar attālās izpētes metodēm tika pārbaudītas dažādas mašīnmācīšanās arhitektūras un izmantoti vairāki iepriekš apmācīto modeļu versijas (ietvari), attēlu segmentācijas validācijas metrikas. Katrai no izmanto arhitektūru un modeļu kombinācijām Sentinel attēliem dots 1. tabulā un Indeksu attēliem dots 2. tabulā.

1. tabula. Izmantoto arhitektūru un modeļu salīdzinājums, veicot Sentinel attēlu segmentāciju

Arhitektūra	Modelis	IoU	P, %	F-1, %
DeeplabV3+	resNet50	44,6	60,2	60,7
	resNeXt50_32x4d	46,6	63,7	62,9
	resNet18	47,4	63,8	63,4
UNet	ResNet50	47,5	63,7	63,5
	ResNeXt50_32x4d	40,3	57,2	56,4
	resNet18	46,1	61,5	62,4
	vgg19	42,7	58,8	59,0

2. tabula. Izmantoto arhitektūru un modeļu salīdzinājums, veicot Indeksu attēlu segmentāciju

Arhitektūra	Modelis	IoU	P, %	F-1, %
DeeplabV3+	resNet50	43,6	60,2	59,9
	resNeXt50_32x4d	44,5	61,1	60,8
	resNet18	42,8	59,5	59,1
UNet	ResNet50	43,3	60,1	59,5
	ResNeXt50_32x4d	45,2	60,8	61,3
	resNet18	44,8	60,7	60,8
	vgg19	43,7	59,8	59,6

Kopumā, konvolūciju neironu tīklu veiktspēja uzrādīja labāku rezultātu, kad tika izmantoti Sentinel 2B attēli. Labākajā mēģinājumā izmantojot UNet arhitektūru un resNet50 ietvaru IoU bija 47,5%, precizitāte 63,7% un F-1 rādītājs 63,5%. Kamēr zemākais izpildījums bija, izmantojot UNet arhitektūru kombinācijā ar ResNeXt50_32x4d ietvaru, šajā gadījumā IoU bija 40,3%, precizitāte 57,2% un F-1 rādītājs 56,4% (1. tabula).

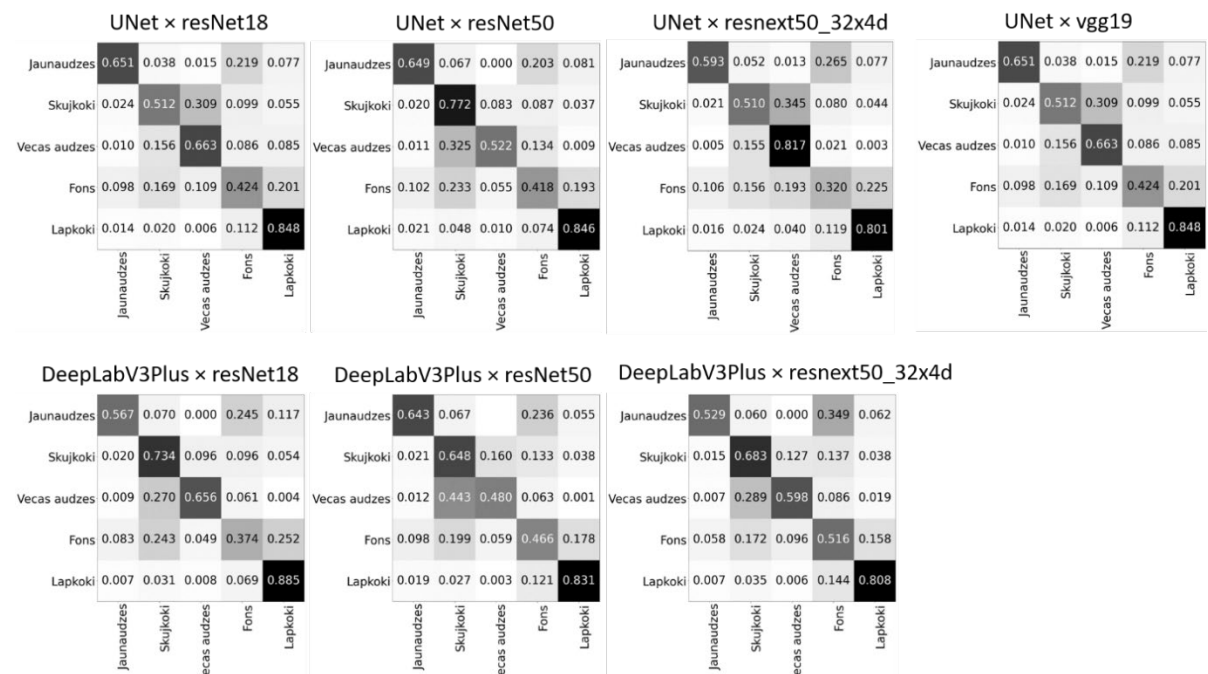
Mūsu iegūtie segmentācijas validācijas parametri Indeksu attēliem uzskatāmi par vidējiem, viens no faktoriem, šādu klasifikācijas iznākuma varēja ietekmēt objekta forma, piemēram, gadījumos, kad objekti ir šauri vai mazi, kā šauras ūdenstilpnes vai nelielas meža platības (Safanov et al. 2022), segmentācijas precizitāte var samazināties. Turklāt kombinācijā ar zemu attēlu izšķirtspēju, attēliem ir daudz trokšņu un krāsu kropļojumi, kas būtiski varēja ietekmēt klasifikācijas iznākumi. Iepriekšējos pētījumos noskaidrojies, ka Sentinel 2B SWIR, NIR un sarkanās joslas, parasti bija vissvarīgākās klasificējot (Key et al. 2001), tomēr arī attēlu

uzņemšanas laikam ir nozīme. Spracklen & Spracklen (2019) noskaidrojuši, ka veģetācijas indeksi, kas veidoti no attēliem, kas uzņemti vasaras un rudens sezonā, uzrādīju nedaudz augstāku precizitāti nekā tikai joslu attēli.

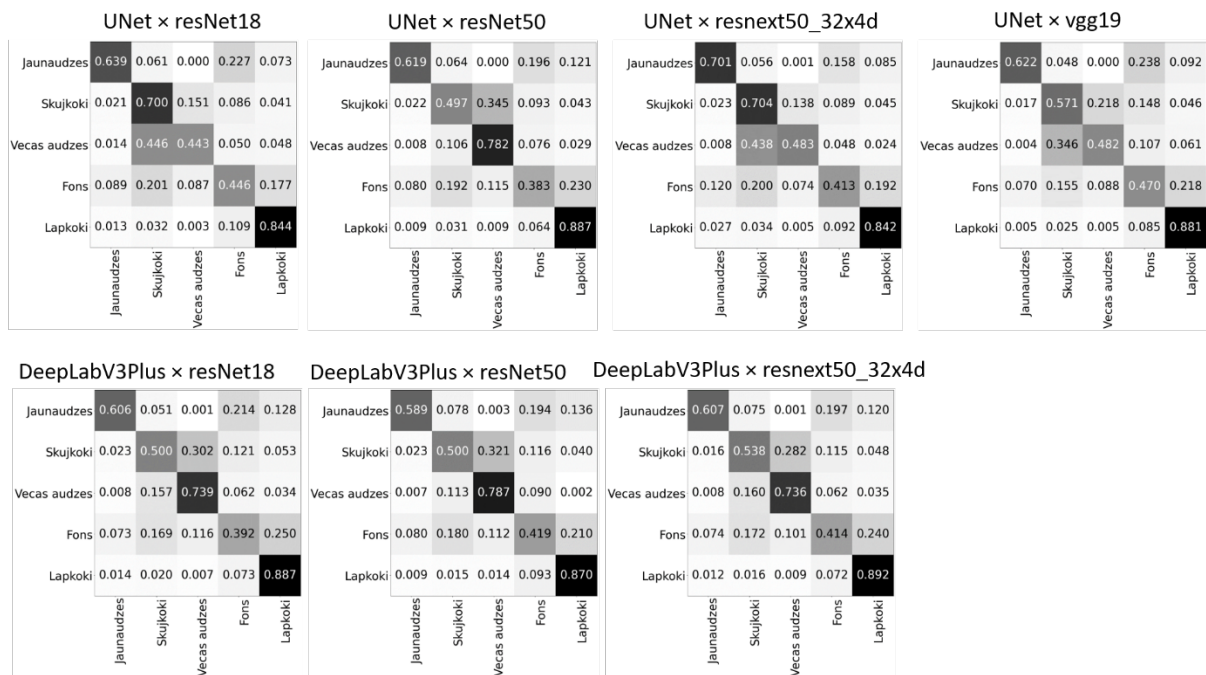
Standarta segmentācijas pieejas fokusējas uz zemes seguma un lietojuma klašu segmentāciju attālās izpētes datos, kas ir samērā lielas klases un neprasa lielu attēlu detalizāciju, un bieži vien tiek sasniegtas augsta (virs 85%) modeļa kopējā precizitāte (Yang et al. 2018, De Luca et al. 2022), tajā pašā laikā retāk ir bijuši mēģinājumi meža zemēs identificēt lapkokus un skujkoku, sasniedzot vidēji 74% precizitāti (Illarionova et al. 2021). Tomēr, mūsu pētījumā tika konstatēts, ka veģetācijas indeksi, kas veidoti no attēliem, kas uzņemti agrā pavasarī (2022. gada 21. martā), kopumā uzrādīja zemāku precizitāti nekā, izmantojot attēlus, kas veidoti tikai no spektra joslām (Red, Green, Blue un NIR).

Labākajā mēģinājumā Indeksu attēlu iegūtās metrikas IoU bija par 2,3% zemāka, precizitāte par 3% un F-1 rādītājs par 2,2% nekā labākajā Sentinel 2B mēģinājumā (2. tabula). Ko iespējams izskaidrot ar to, ka līdzīgi kā ar rudens vidū uzņemtiem attēliem, arī attēliem, kas uzņemti agrā pavasarī, atsevišķām spektra joslām var novērot krasākas izmaiņas sarkanās un sarkanās malas joslu spektra daļā. Uz to norāda arī kļūdu matricas (31. att. un 32. att.), kurās redzams, ka atsevišķi visaugstākā precizitāte bija “Lapkoku” klasei sasniedzot 88,5 un 89,2%, attiecīgi Sentinel 2B un Indeksu attēliem.

Savukārt “Skujkoku” klases un “Veco audžu” klases pēc būtības ir diezgan līdzīgas, tāpēc arī modeļiem šo klašu noteikšanai sagādāja lielākās grūtības. Lai gan labākajā gadījumā “Veco audžu” klase, izmantojot Sentinel 2B attēlus, tika noteikta ar 81,7% precizitāti, kopumā “Veco audžu” identificēšanas precizitāte bija robežās no 48% līdz 66%. Galvenokārt, “Veco audžu” pikseļi tika sajaukti ar “Skujkoku” klasi (32. att.).

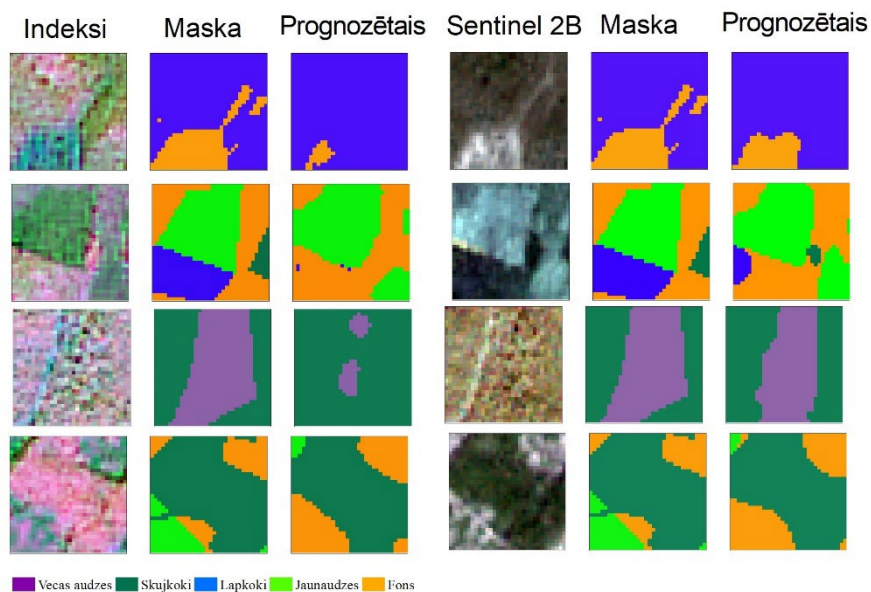


31. att. Kļūdu matricas Sentinel 2B attēlu konvolūciju neironu tīklu modeļiem. (uz Y ass dotas patiesās klases, uz X ass dotas prognozētās klases)



32. att. Kļūdu matricas Indeksu attēlu konvolūciju neironu tīklu modeļiem. (uz Y ass dotas patiesās klases, uz X ass dotas prognozētās klases)

Kartējot, konvolūcijas neironu tīklu labākā modeļa iznākumu, katrai no izvēlētās attālas izpētes datu kopai, dotajos piemēros (33. att.) redzams, ka Sentinel 2B attēliem, modelis visprecīzāk identificē objektus pēc saistītā modeļa, taču redzams, ka mazi un šauri objekti, piemēram zemes ceļi vai nelielas jaunaudzes netiek identificētas. Kartēs redzams, ka, prognozējot Fonsa klasi, tā tiek visbiežāk jaukta ar citām klasēm. Tas izskaidrojams ar to, ka šo klasi veido ļoti dažādi objekti, piemēram, mistraudzes, kas iespējams daļu no pikseļiem var nodēvēt par lapkokiem vai skujkokiem. Sentinel 2B attēlos vairumā gadījumu modelis labi identificēja Veco audžu klases platības, tomēr, kā redzams 33. attēlā, starp līdzīgām klasēm modelim bija grūtības nošķirt skaidras robežas.



33. att. Izmantoto attālās izpētes datu kopas, attiecīgās maskas un prognozētais segmentācijas iznākums

Secinājumi

Veco mežu identifikācijai pielietot konvolūciju tīklu modeļi uzrādīja labu precizitāti, augstāko precizitāti sasniedzot izmantojot UNet arhitektūru kombinācijā ar resNet50 ietvaru. Atsevišķi modeļi vislabāk prognozēja lapkoki klasi, tāpat atsevišķu modeļu spēja prognozēt veco mežu klase bija augsta, sasniedzot pat 81,7%. Lai vēl vairāk uzlabotu modeļa spēju identificēt vecas audzes Sentinel 2B attēlos, būtu nepieciešams palielināt pieejamo attēlu kopas. Daļēji, tas būtu risināms, izmantojot augstākas izšķirtspējas attēlus, kas ļautu attēlu veidošanā izmantot arī mazākas platības veco audžu nogabalus. Tāpat būtu nepieciešams veikt citu klašu validāciju, līdzīgi, kā veco audžu gadījumā ar Lidar datiem pārbaudot vainaga atvēršanu īpatsvaru.

4. Secinājumi

1. Mērķtiecīga mežsaimniecības realizācijai ir nozīmīga uz faktiem (zinātniski apstiprinātas informācijas) balstīta, pārdomāta ilgtermiņa rīcībpolitika.
2. Apzinoties, ka dzīvo koku biomasa ir lielākā dinamiskā oglekļa krātuve, rekomendējams meža platībās, kurās ietekme uz klimata pārmaiņu mazināšanu ir galvenais mērķis, pielietot tādu mežsaimniecības modeli, lai veidotu iespējami ražīgas un pret dabiskajiem traucējumiem noturīgas audzes, tādējādi veicinot arī oglekļa uzkrājuma palielināšanās efektivitāti.
3. Meža platībās, kurās primārais mērķis ir dabas aizsardzība, jāņem vērā, ka oglekļa uzkrāšanās efektivitāte (oglekļa uzkrājums gadā) koku biomasā un atmirušajā koksne laika periodā starp jaunākām kontroles un veco audžu stadiju būtiski samazinās. Vecās mežaudzes (vecas kokaudzes) turpina lēni uzkrāt oglekli koku biomasā tik ilgi, kamēr koku vecuma un/vai dabisko traucējumu ietekmē nemainās dominējošais meža elements. Tādēļ, plānojot šādu teritoriju izvietojumu, ieteicams rīkoties tā, lai atstātu iespējami mazāku negatīvo ietekmi uz ES līmeņa klimata politikas realizāciju.
4. Mežaudžu apsaimniekošana (retināšana), ņemot vērā oglekļa uzkrājumu biomasā un koksnes produktos, uzrāda ievērojami lielāku ieguldījumu klimata pārmaiņu mazināšanā, salīdzinot ar neapsaimniekotām mežaudzēm.
5. Fosilo resursu aizstāšanai ar koksnes produktiem ir ļoti nozīmīga loma klimata pārmaiņu mazināšanā. Oglekļa bilance Latvijā izplatītākajiem koksnes sortimentiem 8 gadus pēc izlases cirtes parāda, cik svarīgi ir mērķtiecīgi tiekties uz augstvērtīgiem koksnes gala produktiem, lai vēl vairāk palielinātu meža nozares ieguldījumu klimata pārmaiņās. mazināšana.
6. Attālās izpētes metodes veco mežu identifikācijai pielietot konvolūciju tīklu modeļi uzrādīja labu precizitāti, augstāko precizitāti sasniedzot izmantojot UNet arhitektūru kombinācijā ar resNet50 ietvaru. Attālās izpētes metodes ir perspektīvs izpētes virziens, tostarp veco mežu identifikācijai.

Izmantotā literatūra

1. Barredo J. I., Brailescu C., Teller A., Sabatini F.M., Mauri A., Janouskova K. 2021. Mapping and assessment of primary and old-growth forests in Europe, EUR 30661 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI: 10.2760/797591, ISBN 978-92-76-34230-4, JRC124671.
2. Choi S.-S., Cha S.-H., Tappert C. C. 2010. A survey of binary similarity and distance measures. *J. Syst. Cyberne. Inform.*, 8, 43–48.
3. COM. 2020. EU Biodiversity Strategy for 2030-Bringing Nature Back into our Lives; Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM (2020) 380 Final: Brussels, Belgium.
4. Congalton R. G., Green K. 2019. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
5. De Luca G., Silva J. M. N., Di Fazio S., Modica G. 2022. Integrated use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data and open-source machine learning algorithms for land cover mapping in a Mediterranean region. *European Journal of Remote Sensing*, 55(1), 52–70.
6. ESA SNAP. 2023. URL: <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>. Last access 11/01/2023.
7. ESA. 2020. Sentinel-2 Mission. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
8. ESRI. 2017: ArcGIS Desktop: Redlands, CA: Redlands, CA Environ. Syst. Res. Institute, Release 10.5.
9. Gundersen P., Thybring E. E., Nord-Larsen T. et al. 2021. Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature*, 591, E21–E23. DOI: 10.1038/s41586-021-03266-z.
10. Illarionova S., Trekin A., Ignatiev V., Oseledets I. 2021. Tree species mapping on sentinel-2 satellite imagery with weakly supervised classification and object-wise sampling. *Forests*, 12(10).
11. Kattenborn T., Leitloff J., Schiefer F., Hinz S. 2021. Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 173, 24–49.
12. Ķēniņa L., Elferts D., Bāders E., Jansons Ā. 2018. Carbon pools in a hemiboreal over-mature Norway Spruce stands. *Forests*, 9, 435. DOI: 10.3390/f9070435.
13. Ķēniņa L., Jaunslaviete I., Liepa L., Zute D., Jansons Ā. 2019. Carbon pools in old-growth Scots pine stands in hemiboreal Latvia. *Forests*, 10, 911. DOI: 10.3390/f10100911.
14. Ķēniņa L., Zute D., Jaunslaviete I., Samariks V., Jansons Ā. 2022. Old-Growth Coniferous Stands on Fertile Drained Organic Soil: First Results of Tree Biomass and Deadwood Carbon Stocks in Hemiboreal Latvia. *Forests*, 13(2): 279. DOI: 10.3390/f13020279.
15. Key T., Warner T. A., McGraw J. B., Fajvan M. A. 2001. A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest. *Remote Sens. Environ.*, 75, 100–112.

16. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Paper presented at International Conference on Neural Information Processing Systems, Doha, Qatar, p. 1097–1105.
17. Lamtom S. H., Savidge R. A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: Variation within and between 41 North American species. *Biomass Bioenergy*, 25, 381–388.
18. Lecun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. 1998. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2324.
19. Liepiņš J., Lazdiņš A., Liepiņš K. 2017. Equations for estimating above- and belowground biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. and European aspen in Latvia. *Scand. J. Forest Res.* DOI: 10.1080/02827581.2017.1337923.
20. Lingua E., Garbarino M., Mondino E. B., Motta R. 2011. Natural disturbance dynamics in an old-growth forest: from tree to landscape. *Proc. Environ. Sci.*, 7, 365–370.
21. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. 2021. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies – Part 1: Literature Review. *Remote Sensing*.
22. Merce O., Borlea G.F., Turcu D. O. 2014. Definitions and structural attributes of the ecosystems from natural forests-short review. *J. Hortic. For. Biotechnol.*, 18, 114–120.
23. Meyer P., Aljes M., Culmsee H., Feldmann E., Glatthorn J., Leuschner C., Schneider, H. 2021. Quantifying old-growthness of lowland European beech forests by a multivariate indicator for forest structure. *Ecological Indicators* 25, 107575.
24. 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. Final report. European Forest Institute. DOI: 10.36333/rs1.
25. Pukkala T. 2014. Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *For. Policy Econ.*, 43, 41–50.
26. Puletti N., Chianucci F., Castaldi C. 2018. Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments. *Annals of Silvicultural Research*, 42(1), 32–38.
27. Safarov F., Temurbek K., Jamoljon D., Temur O., Chedjou J. C., Abdusalomov A. B., Cho Y.-I. 2022. Improved Agricultural Field Segmentation in Satellite Imagery Using TL-ResUNet Architecture. *Sensors*, 22, 9784.
28. Seedre M., Kopáček J., Janda P., Bace R., Svoboda M. 2015. Carbon pools in a montane old-growth Norway spruce ecosystem in Bohemian Forest: Effects of stand age and elevation. *For. Ecol. Manag.*, 346, 106–113.
29. 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. DOI: 10.3390/f11050536.
30. Sertel E., Ekim B., Ettehadi Osgouei P., Kabadayi M. E. 2022. Land Use and Land Cover Mapping Using Deep Learning Based Segmentation Approaches and VHR Worldview-3 Images. *Remote Sensing*, 14(18).
31. Shafaey M. A., Salem M. A. M., Ebied H. M., Al-Berry M. N., Tolba M. F. 2019. *Deep Learning for Satellite Image Classification*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, Vol. 2019, p. 383–391.

32. Spracklen B., Spracklen D. V. 2021. Synergistic use of sentinel-1 and sentinel-2 to map natural forest and acacia plantation and stand ages in north-central Vietnam. *Remote Sensing*, 13(2), 1–19.
33. Spracklen B.D., Spracklen D. V. 2019. Identifying European old-growth forests using remote sensing: A study in the Ukrainian Carpathians. *Forests*, 10(2).
34. Tyrell L. et al. 1998. Information about old growth for selected forest type groups in the eastern United States. USDA General Technical Report NC-197. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 507 pp. DOI: 10.2737/NC-GTR-197.
35. USDA Forest Service. 1989. Generic definition and description of old-growth forests. Report onfile at PNW Research. Station, Forestry Sciences Laboratory, Corvallis, Oregon.
36. Vandekerkhove K., De Keersmaecker L., Menke N., Meyer P., Verschelde P. 2009. When nature takes over from man: dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-West- and Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 258, 425–435.
37. Vandekerkhove K., De Keersmaecker L., Walley R., Köhler F., Crevecoeur L., Govaere L., Thomaes A., Verheyen K. 2011. Reappearance of old-growth elements in lowland woodlands in northern Belgium: do the associated species follow? *Silva Fennica*, 45, 909–935.
38. Vandekerkhove K., Thomaes A., Jonsson B.G., 2013. Connectivity and fragmentation: Island biogeography and metapopulation applied to old-growth-elements. In: Kraus D., Krumm F. (Eds.) Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity. In Focus: managing forest in Europe. European Forest Institute – Central European Office (EFI-CENT), Freiburg, p. 104–115.
39. Vandekerkhove K., Vanhellefont M., Vrška T., Meyer P., Tabaku V., Thomaes A., Leyman A., De Keersmaecker L., Verheyen K. 2018. Very large trees in a lowland old-growth beech (*Fagus sylvatica* L.) forest: Density, size, growth and spatial patterns in comparison to reference sites in Europe. *Forest Ecology and Management*, 417, 1–17.
40. Weng Q., Mao Z., Lin J., Liao X. 2018. Land-use scene classification based on a CNN using a constrained extreme learning machine. *International Journal of Remote Sensing*, 39, 6281–6299.
41. Yang C., Rottensteiner F., Heipke C. 2018. Classification of land cover and land use based on convolutional neural networks. *ISPRS Annals Photogr. Remote Sensing Spatial Inf. Sci.*, 4(3), 251–258.
42. Yao C., Luo X., Zhao Y., Zeng W., Chen X. 2017. A review on image classification of remote sensing using deep learning. In: Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Comput. Commun., p. 1947–1955.