



PAR PĒTĪJUMA 2022. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Pētījumi meža koku sugu sēklkopības atbalstam

LĪGUMA NR. 5-5.9.1_0080_101_21_86

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS VADĪTĀJS:

Dr. Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

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

Salaspils, 2022

Kopsavilkums

Pētījuma otrajā etapā īstenoti visi plānotie uzdevumi tā sešās aktivitātēs.

1. Ozola un liepas selekcijas materiāla un perspektīvu novērtējums.

Veikta ozola audžu fenotipiskā novērtēšana ar LVM saskaņotā reģionā, nodrošinot pluskoku atlasī sēklu plantācijai. Veikta pluskoku atzīmēšana dabā.

2. Dižskābarža selekcijas attīstība.

Dižskābarža sēklu bāzes izveidei ievākti potzari no atlasītajiem dižskābarža pluskokiem un nodrošināta audžu fenotipiskā atlase MPS Šķēdes MN, koku izzīmēšana. Bioloģiskās daudzveidības raksturošanai veikta mikrodzīvotņu inventarizācija. Sagatavota publikācija. Novērtēta dižskābarža vēja noturība un par iegūtajiem rezultātiem sagatavota publikācija.

3. Klinškalnu priedes selekcijas un mežsaimniecības perspektīvu novērtējums.

Veikta sešu Klinškalnu priedes stādījumu uzmērīšana, kā arī pētījuma abos etapos iegūto datu analīze un augstvērtīgāko genotipu atlase sēklu bāzei.

4. Selekcijas ietekmes novērtējums uz meža ģenētisko daudzveidību.

Bioloģiskās daudzveidības indikatoru noteikšanai ievākti dati par zemsedzes veģetāciju 4 egles klonu stādījumos un 4 mežaudzēs, veikta ievākto datu analīze salīdzinājumā ar citā pētījumā vecās egles audzēs ievākto materiālu. Rezultāti iekļauti ziņojumā konferencē.

5. Egles sēklu ražas kāpināšanas metožu aprobācija.

Saskaņots rūpnieciska mēroga eksperimenta dizains LVM sēklu plantācijā, veikta ierīkošana, čiekuru ievākšana, datu analīze.

6. Metožu klimata noturīgu genotipu atlasei selekcijā attīstība.

Ievākti paraugi padēlu ilgtermiņa ietekmes uz stumbra kvalitāti raksturošanai, kā arī veikta atkārtota uzmērīšana 2 priedes stādījumos, raksturojot stumbra defektu attīstības dinamiku un ģenētisko nosacītību. Sagatavota publikācija.

Summary

Research tasks had been completed in accordance to plan in all six thematic areas of the project.

1. Assessment of tree breeding material and perspectives of oak and linden

A phenotypic evaluation of oak stands was carried out in a region selected in coordination with LVM, and selection and marking of new plus trees carried out.

2. Development of European beech breeding.

To ensure seed production, scions had been collected from plus trees for grafting and establishment of seed orchard of European beech as well as seed stands selected and quality thinning carried out. Microhabitat inventory carried out as part of the assessment of biological diversity, results prepared in a form of publication. Wind resistance of beech assessed in tree pulling tests and results prepared in a form of publication.

3. Assessment of lodgepole pine breeding and silviculture.

Lodgepole pine provenance trials in Latvia had been re-measured, growth modelling carried out and phenotypic forward selection of material for seed orchard and further testing done.

4. Assessment of effect of tree breeding on genetic diversity of forest trees.

For assessment of biological diversity, data on ground-cover vegetation had been collected in 4 clonal plantations and 4 stands of Norway spruce; results presented in scientific conference

5. Approbation of seed crop stimulation methods for Norway spruce.

An experimental design to test different schedules of fungicide application in industrial scale seed orchard had been prepared, an experiment carried out and results analyzed.

6. Development of methods for selection of climate resilient genotypes in tree breeding.

Sample trees had been harvested to assess the influence of spike knots on stem quality. Two trials of Scots pine had been re-measured to characterize the development of stem defects and their genetic determination and results prepared in a form of publication.

Saturs

Kopsavilkums.....	2
Summary	3
2022. gada darba uzdevumi un to izpildes statuss	5
1. Ozola un liepas selekcijas materiāla un perspektīvu novērtējums	8
2. Dižskābarža selekcijas attīstība.....	10
3. Klinškalnu priedes selekcijas un mežsaimniecības perspektīvu novērtējums	15
4. Selekcijas ietekmes novērtējums uz meža ģenētisko daudzveidību.	18
5. Egles sēklu ražas kāpināšanas metožu aprobācija	28
6. Metožu klimata noturīgu genotipu atlasei selekcijā attīstība	33
Izmantotā literatūra	37

2022. gada darba uzdevumi un to izpildes statuss

Pētījums, uzdevums	Darbs, nodevumi	Paveiktais	Izpildes termiņš
1. Ozola un liepas selekcijas materiāla un perspektīvu novērtējums			
1.1. Provenienču vērtēšana	<p>Darbu nolūks: veikt ozola audžu fenotipisko novērtējumu, nodrošinot pluskoku atlasī sēkļu plantācijai un to atzīmēšanu dabā.</p> <p>Lauka darbu laikā: pluskoku atlasī paredzēts veikt reģionos, kur iepriekš zināmas ozola audzes ar vēlamajām pazīmēm, no kurām līdz šim nav vai ir maz izvēlēti pluskoki, lai nodrošinātu plašāku iespējami labākā Latvijā atrodamā šīs koku sugas ģenētiskā materiāla pārstāvētību selekcijas populācijā.</p> <p>Kamerālo darbu laikā: metodikas sagatavošana, ar pasūtītāju saskaņojot izvēlētos reģionus un audzes.</p> <p>Rezultāts: Izvēlēti ozola pluskoki.</p>	Veikta ozola audžu fenotipiskā novērtēšana ar LVM saskaņotā reģionā, nodrošinot pluskoku atlasī sēkļu plantācijai. Veikta pluskoku atzīmēšana dabā.	15.01.2023.
2. Dižskābarža selekcijas attīstība			
2.1. Dižskābarža audžu vērtējums un sēkļu bāzes nodrošināšana	<p>Darbu nolūks: veikt dižskābarža audžu fenotipisko novērtējumu, nodrošinot labāko koku atlasī un kopšanu sēkļu bāzes nodrošināšanai un sākotnējo informāciju par mikrodzīvotnēm.</p> <p>Lauka darbu laikā: potzaru ievākšana no iepriekšējā etapā izvēlētajiem pluskokiem. Sēkļu bāzes nodrošināšanai relatīvi īsākā laika periodā paredzēta dižskābarža audžu fenotipiskā atlase MPS Šķēdes MN, koku izzīmēšana un kopšanas uzraudzība, veidojot skrajās audzes, kurās saglabāti tikai fenotipiski labākie koki. Mikrodzīvotņu analīzei, uzsākot dižskābarža audžu raksturošanu bioloģiskās daudzveidības kontekstā, iegūti dati no 6 audzēm MPS Šķēdes MN.</p> <p>Kamerālo darbu laikā: metodikas sagatavošana, saskaņošana objektu ierīkošanai sēkļu bāzes nodrošināšanai; publikācijas sagatavošana, raksturojot mikrodzīvotnes.</p> <p>Rezultāts: ievākti potzari no atlasītajiem dižskābarža pluskokiem. Sagatavota publikācija.</p>	Ievākti potzari no atlasītajiem dižskābarža pluskokiem. Veikta plānotā dižskābarža audžu fenotipiskā atlase MPS Šķēdes MN, koku izzīmēšana. Sagatavota publikācija	15.01.2023.
2.2. Dižskābarža audzēšanas risku analīze	<p>Darbu nolūks: veikt dižskābarža audzēšanas abiotisko risku analīzi: mehāniskās noturības datu ieguvī.</p> <p>Lauka darbu laikā Vēja noturības pārbaude 18 kokiem MPS Šķēdes MN.</p> <p>Kamerālo darbu laikā</p>	Veikta vēja noturības datu ieguve visam plānotajam materiāla apjomam, sagatavota publikācija	15.01.2023.

Pētījums, uzdevums	Darbs, nodevumi	Paveiktais	Izpildes termiņš
	Iegūto datu pēcapstrāde un publikācijas sagatavošana, vērtējot abu pētījuma etapu rezultātus. Rezultāts: Sagatavota publikācija.		
3. Klinškalnu priedes selekcijas un mežsaimniecības perspektīvu novērtējums			
3.1. Pēcnācēju pārbaudes stādījumu uzmērīšana	Darbu nolūks: veikt Klinškalnu priedes pieauguma un bojājumu raksturošanu, atlasīt piemērotākos kokus potzaru un sēklu (pēcnācēju pārbaudēm) ievākšanai Lauka darbu laikā 4 Klinškalnu priedes stādījumu uzmērīšana. Kamerālo darbu laikā Bojājumu izmaiņu dinamikas un pieauguma aprēķini ģenētikas ietekmes raksturojumam uz šiem rādītājiem; abos pētījuma etapos ievākto datu kompleksa analīze, atlasot fenotipiski augstvērtīgākos kokus. Rezultāts: genotipu komplekts turpmākai pavairošanai (potzaru ievākšanai) un pēcnācēju pārbaudēm.	Veikta sešu Klinškalnu priedes stādījumu uzmērīšana (vairāk nekā plānots), kā arī pētījuma abos etapos iegūto datu analīze un augstvērtīgāko genotipu atlase nākotnes sēklu bāzei.	15.01.2023.
4. Selekcijas ietekmes novērtējums uz meža ģenētisko daudzveidību			
4.1. Bioloģiskās daudzveidības indikatoru datu ievākšana un analīze	Darbu nolūks: nodalīt selekcijas (un reprodutīvā materiāla veida) un atjaunošanas veida ietekmi no audzes parametru ietekmes uz bioloģisko daudzveidību. Lauka darbu laikā Parauglaukumu ierīkošana 4 klonu stādījumos un 4 mežaudzēs zemsedzes veģetācijas raksturošanai egles audzēs. Kamerālo darbu laikā Ar zemsedzes veģetāciju saistīto bioloģiskās daudzveidības indikatoru aprēķini un salīdzinājums starp klonu stādījumiem un citām audzēm. Sagatavots plāns citu indikatoru datu ievākšanai un analīzei, rezultātu publicēšanai. Rezultāts: pārskats par bioloģiskās daudzveidības indikatoriem egles klonu stādījumos, ziņojums konferencē.	Parauglaukumu ierīkošana 4 klonu stādījumos un 4 mežaudzēs zemsedzes veģetācijas raksturošanai egles audzēs. Rezultāti iekļauti ziņojumā konferencē.	15.01.2023.
5. Egles sēklu ražas kāpināšanas metožu aprobācija			
5.1. Egles čiekuru rūsas patogēnu analīze un darba plāna realizācija	Darbu nolūks: novērtēt iespējamās metodes egles čiekuru rūsas patogēnu klātbūtnes mazināšanai sēklu plantācijās. Lauka darbu laikā LVMI Silava Klimata laboratorijā un/vai objektā Meža pētīšanas stacijā veiktas citās ražošanas nozarēs izmantoto aizsardzības metožu pret rūsas sēņu radītiem bojājumiem efektivitātes pārbaudes mikro mērogā. Ja tiek iegūti pozitīvi rezultāti –	Saskaņots rūpnieciska mēroga eksperimenta dizains LVM sēklu plantācijā (aizstājot mikro mēroga un ievu izzāģēšanas eksperimentu), veikta ierīkošana, čiekuru ievākšana, datu analīze.	15.01.2023.

Pētījums, uzdevums	Darbs, nodevumi	Paveiktais	Izpildes termiņš
	izstrādāts plāns plašākiem eksperimentiem. Izstrādāta metodika un vērtēta ievu izciršanas ap egles sēklu plantācijām ietekme uz čiekuru rūsas patogēnu klātbūtni (metodika un lauka darbi šajā pētījuma etapā, vērtējums – nākamajos).		
6. Metožu klimata noturīgu genotipu atlasei selekcijā attīstība			
6.1. Metožu klimata noturīgu genotipu atlasei selekcijā attīstība	<p>Darbu nolūks: izmantojot paraugkoku datus, raksturot egles stumbra defektu attīstības dinamiku un to nozīmi selekcijas indeksā.</p> <p>Lauka darbu laikā Paraugkoku zāģēšana pēcnācēju pārbaužu stādījumos ar zināmiem stumbra defektiem, stumbra analīzes paraugu ievākšana.</p> <p>Kamerālo darbu laikā Iegūto datu analīze kontekstā ar iepriekšējā pētījuma etapa datiem; sagatavota publikācija.</p> <p>Rezultāts: pārskats par atsevišķu stumbra defektu attīstības dinamiku, nozīmi selekcijas indeksā; publikācija</p>	Veikta egles paraugkoku atlase un zāģēšana, veikta divu priedes stādījumu datu analīze stumbra defektu attīstības dinamikas raksturošanai un par tās rezultātiem sagatavota publikācija	15.01.2023.

1. Ozola un liepas selekcijas materiāla un perspektīvu novērtējums

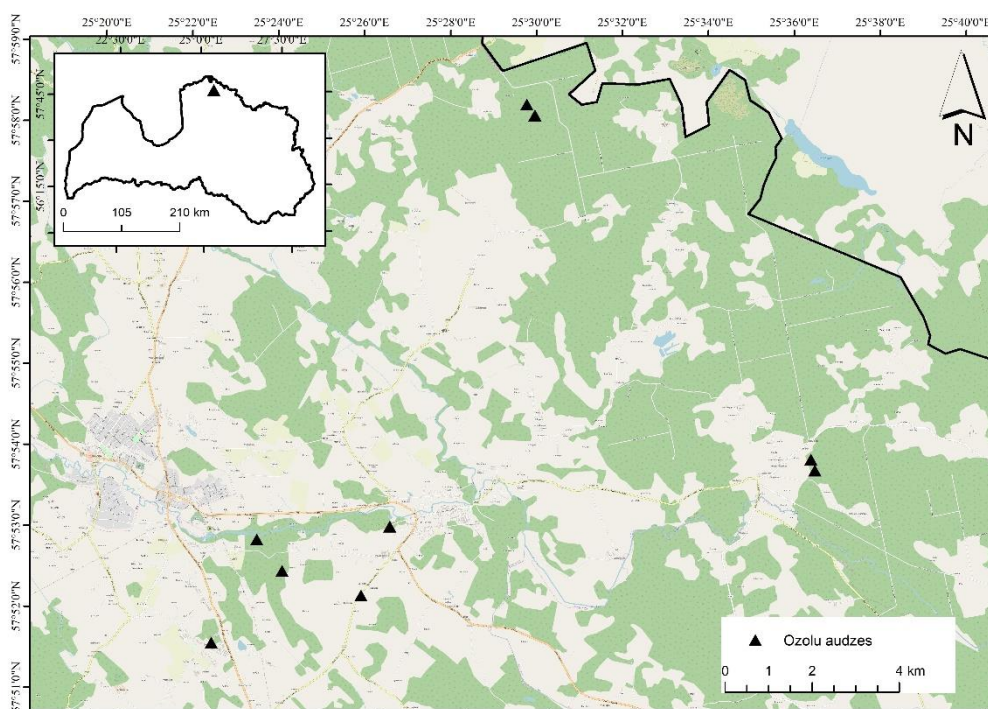
Veikta parastā ozola audžu atlase ar a/s “Latvijas valsts meži” struktūrvienību “Sēklas un stādi” (turpmāk tekstā LVM) saskaņotā reģionā, izmantojot Valsts meža reģistra informāciju (32 audzes) un to sākotnējā apsekošana. Identificētas fenotipiski kvalitatīvākās audzes un veikta to atkārtota apsekošana, saglabājot tādās, kurās varēja izvēlēties vismaz vienu pluskoku (1.1. tabula, 1.1., 1.2. attēls).

1.1.tabula

Izvēlētās ozola audzes

Nr	Kvartāl-apgabals	Kv.	Nog.	MT	Audzes sastāvs	Vecums	Platība, ha	Izcelsme	Ģeogrāfiskās koordinātes
1	404	264	2	Gr	10Oz	123	0,53	Stādīta	581234;413769
2	404	258	6	Vr	10Oz	121	0,25	Stādīta	582280;416135
3	404	261	18	Vr	10Oz	121	2,84	Stādīta	582859;415417
4	404	124	17	Gr	10Oz	116	0,49	Stādīta	588477;426107
5	privāts	579	27	Gr	10Oz	125	1,3	Stādīta	585330;416433
6	404	218	2	Gr	10Oz	121	0,2	Stādīta	594994;417966
7	privāts	601	1	Gr	10Oz	114	1,73	Nezināma	584669;414849
8	404	218	16	Vr	10Oz	120	0,55	Stādīta	595086;417715

Kv. - kvartāls, Nog. – nogabals, MT – meža tips



1.1. attēls. Izvēlētās ozola audzes



1.2. attēls. Audzes, kurās atlasīti ozola pluskoki

Šobrīd ozola audzes aizņem <1% no kopējās mežu platības Latvijā un tām pilnīgi visām ir kāds saimnieciskās darbības ierobežojums – aizliegta galvenā cirte, vienlaidus atjaunošanas cirte, kopšana vai jebkāda mežsaimnieciskā darbība. Tas neveicina zemju īpašnieku interesi par ozola audžu ierīkošanu meža vai neizmantotās lauksaimniecības zemēs, līdz ar to sēklkopības gala produkta – stādu – izmantošanu. Saskaņā ar Valsts meža dienesta datiem 2022. gadā kopumā ozols ieaudzēts 8,21 ha lielā platībā, no tiem gan 5 ha ir plantāciju meži. Kontekstam: kopumā 2022. gadā ieaudzēti 6500 ha meža, no tiem 4480 ha ir plantāciju meži. Pašsējas ceļā ozola jaunaudzēs izveidojušās 9,61 ha lielā platībā, mērķtiecīga atjaunošana (sēts vai stādīts) veikta 5,74 ha. Tas rada nevienmērīgu ozola audžu vecumstruktūru un potenciālu to trūkumu nākotnē. Tātad pēc būtības normatīvi, kuru mērķis ir veicināt bioloģiskās daudzveidības uzturēšanu, attiecībā uz ozolu ilgtermiņā var novest pie tās mazināšanas. Nozīmīgākie iemesli šādai situācijai: 1) normatīvā vide, kas veidota uz potenciāli negatīvo darbību aizlieguma, nevis pozitīvo veicināšanas pamata; 2) zināšanu trūkums. Bioloģiskās daudzveidības rādītāji ozolu audzēs Eiropā pētīti plaši, t.sk. arī mūsu klimatam atbilstošā reģionā (Zviedrijas dienvidu daļā); arī Latvijā veikta aprakstoša to analīze atsevišķās audzēs, dabas liegumos. Ir ierīkoti retināšanas (ap mērķakoku esošo citu sugu koku nozāģēšanas) eksperimenti ozola audzēs, to rezultātus plānots analizēt citā LVMI Silava īstenotā pētījumā. Tomēr trūkst izpratnes par saikni starp audzes atjaunošanas veidu (stādīšanu) un bioloģiskās daudzveidības elementiem, kas būtu pamats diskusijai par citādu pieeju šo elementu klātbūtnes nodrošināšanai nākotnē. Šajā aspektā interesanti, ka vairākās atlasītajās audzēs joprojām var identificēt stādītās rindas, un noteikts, ka sākotnējais attālums starp kokiem ir bijis 3,5 x 3,5 m. Arī vēsturiskos aprakstos ieejamā informācija liecina par samērā plašu ozola atjaunošanu stādot šajā reģionā. Tādēļ šī vai citu pētījumu ietvaros rekomendējams veikt daudzveidības indikatoru novērtējumu stādītajās audzēs, attīstot pieejas, kā šādās audzēs kombinēt vides aizsardzības un ekonomiskās intereses un tādējādi veicināt meža īpašnieku interesi par ozola stādīšanu – attiecīgi arī stādmateriāla pieprasījumu. Tāpat nākamajā pētījuma etapā iespējama pluskoku savstarpējās radniecības pārbaude un potzaru ievākšana no tiem.

2. Dižskābarža selekcijas attīstība

Atbilstoši plānotajam veikta potzaru ievākšana no iepriekšējā etapā atlasītajiem dižskābarža pluskokiem MPS Šķēdes MN, kā arī LVM Dienvidkuzemes reģionā (2.1. attēls), nodrošinot materiālu sēklu plantācijas ierīkošanai.



2.1. attēls. Skats no dižskābarža pluskoka potzaru ievākšanas darbos

Nemot vērā koku vecumu, potējumu pieaugšanas sekmes nav bijušas pārāk augstas, tādēļ nākamajos pētījuma etapos paredzēta papildus potzaru ievākšana no iepriekšējo zāģējumu vietā izaugušiem dzinumiem.

Izveidojot bāzi sēklu ieguvei, turpināta pirmajā etapā uzsāktā fenotipiski augstvērtīgu dižskābarža audžu izvēle (2 nogabali), veikta visu koku uzmērīšana un izvēlēti piemērotākie (iespējami augstākā stumbra kvalitāte, bez redzamiem citiem defektiem, iespējami vienmērīgs izvietojums platībā), kas izzīmēti saglabāšanai. Šajā etapā papildus veikta darbību saskaņošana ar Dabas aizsardzības pārvaldi, mežizstrādes darbu uzraudzība.

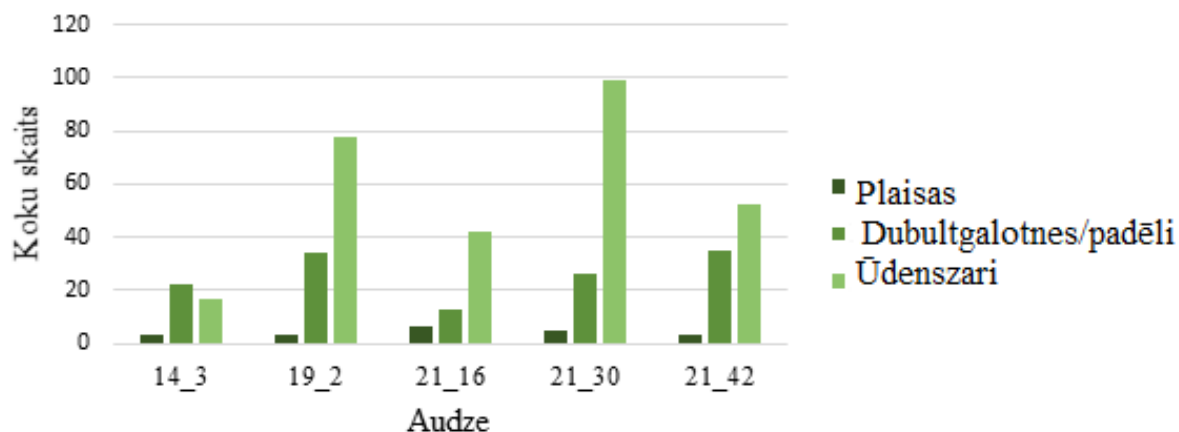
Vērtējot kādas koku sugas plašāku izmantošanu meža atjaunošanā, nozīmīgi analizēt ne tikai ekonomiskos aspektus un rūpnieciska apjoma sēklu ieguves iespējas stādu audzēšanai, bet arī šādas pieejas potenciālo ietekmi uz bioloģisko daudzveidību. Mikrodzīvotņu sastopamība un daudzveidība aizvien biežāk tiek izmantots kā nozīmīgs bioloģiskās daudzveidības indikators (Courbaud et al., 2022), t.sk. dižskābarža audzēs (Gossner et al., 2013). Pētījuma etapā veikta bioloģiskās daudzveidības (mikrodzīvotņu) novērtēšana dižskābarža tīraudzēs vecumā no 65 līdz 140 gadiem, izdalot 7 to grupas (2.2. attēls):

- 1) dobumi;
- 2) koka ievainojumi un eksponētā koksne;
- 3) atmirusī koksne;
- 4) izaugumi;
- 5) sēņu auglķermeņi;
- 6) epifītiskās un epiksīliskās struktūras;
- 7) izdalījumi.



2.2. attēls. Mikrodzīvotnes dižskābarža audzēs

Biežāk sastopamie mikrodzīvotņu veidi bija plaisas (koka ievainojumi un eksponēta koksne) un atmiruši zari, kā arī iedobumi līdz celma augstumam. Audzes iedalītas nosacītās vecuma grupās: pāraugušās audzēs (104-131 gadi) un briestaudzēs (69-91 gadi). Briestaudzēs konstatēti 29% koku bez mikrodzīvotnēm, kamēr pāraugušās 23%. Starp koku vecuma grupām būtiskas atšķirības konstatētas tikai stumbra plaisu sastopamībai. Tā nav tieši saistīta ar vecumu, bet gan adaptāciju ziemas perioda meteoroloģiskajiem apstākļiem, kas labāka otrajai paaudzei mūsu valstī (relatīvi jaunākajiem kokiem). To apliecina arī papildus veikts novērtējums jaunākās audzēs (44-69 gadi): tajās visbiežāk sastopamais koku stumbra ārējais defekts bija ūdenszari, plaisas konstatētas <5% koku (2.3. attēls).



2.3. attēls. Stumbra monetāro vērtību ietekmējošās pazīmes 44-69 gadus vecās dižskābarža audzēs

Par iegūtajiem rezultātiem sagatavota publikācija: “Structural diversity of European beech stands at the northeastern edge of distribution range”. Nākamajā etapā vērtējama valdošās koku sugas un vecuma ietekme uz mikrodzīvotņu sastopamību.

Informācija par dižskābarža audzēšanas perspektīvām Latvijā izplatīta Meža īpašnieku biedrības tiešsaistes seminārā 25.08.2022. stāstījumā un videosižetā “Introducēto koku sugu audzēšana”. Tāpat rezultāti iekļauti konferences ziņojumā: Assessment of microhabitats in different age European beech (*Fagus sylvatica*) stands in Šķēde (03.11.).

Nepieciešamie lauka darbi dižskābarža mežaudžu noturības novērtējuma pret vēja izraisītajiem bojājumiem izstrādei veikti MPS Šķēdes MN teritorijā, kas ietilpst dabas parkā "Talsu pauguraine". Pētījuma etapa ietvaros veikta plānotā parauglaukumu ierīkošana un 18 koku statistiskās vilkšanas testi – laušana: 27. kvartāla (turpmāk tekstā – kv.) 20. nogabalā (turpmāk tekstā – nog.), 14. kv. 3. nog. un 23. kv. 38. nog. (2.3. attēls). Iegūtie dati analizēti, kā referenci izmantojot āra bērza mehānisko stabilitāti (informācija par šo koku sugu ievākta citos LVMI Silava īstenotos pētījumos). Ņemot vērā abu sugu līdzīgo mežsaimniecisko pielietojumu (piemēram, mistraudžu veidošana, finierkluču iegūšana), līdzīgās koksnes īpašības, tomēr vienlaikus atšķirīgo prasījumu pret augšanas apstākļiem (temperatūra, sausuma noturība), dižskābardis ir uzskatāms par bērza alternatīvu Latvijas mežsaimniecībā nākotnes klimatā.



2.4. attēls. Dižskābarža audze MPS Šķēdes MN, kur sagatavoti laukumi šīs koku sugas statistiskās vilkšanas testiem

Datu ievākšanai izvēlētās dižskābarža audzes reprezentē pirmās (sākotnējais/ievestais materiāls) un otrās paaudzes (sākotnējā/ievestā materiāla pēcnācēji) kokus vecumā no 48–72 līdz 138 gadiem (2.1. tabula). Dati par bērza mehānisko stabilitāti ir iegūti audzēs ar līdzīga vecuma kokiem un augšanas apstākļiem MPS Šķēdes un Jelgavas MN. Mehāniskās stabilitātes mērījumi tika veikti audžu pirmā stāva kokiem, kuriem nebija vizuāli nosakāmas mehānisku bojājumu rētas vai patogenu darbības pazīmes, kā arī tie neatradās atvērumu malās vai viens pie otra tuvāk par vidējo attālumu starp kokiem attiecīgajā audzē.

2.1. tabula

Eiropas dižskābarža (*Fagus sylvatica* L.) un āra bērza (*Betula pendula* Roth.) paraugkoku vecums, skaits (N), vidējais (\pm standartklūda) stumbra caurmērs krūšu augstumā (DBH), augstums (H), stumbra koksnes tilpums (V_{st}), augsnes-sakņu plātnes dziļums (Dz_{asp}) un tilpums (V_{asp}), audzes šķērslaukums parauglaukumos (G) un augsnes blīvums (ρ_{aug})

Audzē	Vecums	N	DBH (cm)	H (m)	V_{st} (m ³)	Dz_{asp} (m)	V_{asp} (m ³)	G (m ² ha ⁻¹)	ρ_{aug} (kg m ⁻³)
Dižsk.									
1	72	6	34.7 \pm 4.6	30.6 \pm 2.1	1.59 \pm 0.43	1.01 \pm 0.11	2.93 \pm 0.49	44.2 \pm 3.2	1362 \pm 60
2	138	6	33.4 \pm 4.9	30.0 \pm 1.4	1.46 \pm 0.38	0.66 \pm 0.14	2.57 \pm 0.98	33.6 \pm 7.3	1324 \pm 88
3	48	6	32.7 \pm 5.3	26.6 \pm 0.5	1.23 \pm 0.36	1.04 \pm 0.18	3.23 \pm 1.44	38.8 \pm 2.3	1348 \pm 59
Bērzs									
4	73	9	27.0 \pm 1.4	29.0 \pm 1.7	0.75 \pm 0.09	0.83 \pm 0.09	1.71 \pm 0.40	48.9 \pm 6.0	1233 \pm 36
5	104	16	34.8 \pm 3.7	32.9 \pm 1.4	1.42 \pm 0.30	0.86 \pm 0.05	3.71 \pm 1.06	38.1 \pm 5.0	1268 \pm 50
6	46	6	30.0 \pm 4.4	30.1 \pm 1.0	0.99 \pm 0.33	0.86 \pm 0.06	1.84 \pm 0.69	60.8 \pm 3.6	1273 \pm 39
7	46	6	28.1 \pm 3.0	30.6 \pm 1.5	0.87 \pm 0.21	0.77 \pm 0.12	1.60 \pm 0.70	69.9 \pm 4.7	1260 \pm 51
8	53	6	29.4 \pm 2.6	29.7 \pm 1.1	0.92 \pm 0.18	0.79 \pm 0.12	2.20 \pm 0.71	26.3 \pm 0.3	1258 \pm 10

Dižsk. – dižskābardis

Koku mehāniskā noturība novērtēta kā pretestība statistikai liekšanai vilkšanas testa laikā. Testi izpildīti saskaņā ar iepriekš aprobētu metodiku pēc Krišāns (2020), kas paredz galotņot koku (lai izslēgtu koka masas un vēja ietekmi uz mērījumiem) un veikt destruktīvu statistiskās lieces pretestības pārbaudi. Katram paraugkokam aprēķināja tā pamatnes lieces momentu (BBM, kNm) kā:

$$BBM = F \cdot h_{ap1} \cdot \cos(Me_a), \quad (2.1)$$

kur:

F – vilkšanas spēks (kNm);

h_{ap1} – augstums, kurā piestiprināta vilkšanas līnija (trīšu sistēma) pie paraugkoka (m);

Me_α – mediāna ($^\circ$) leņķim α starp vilkšanas līniju un gaisa līniju starp enkurokoku un paraugkoku.

Vilkšanas laikā koka stumbra saliekums (N_Δ , $^\circ$) sākotnēji palielinās proporcionāli liekšanas spēkam (BBM), bet, kad stumbra saliekšanās kļūst straujāka nekā liekšanai nepieciešamā spēka palielināšanās, ir izveidojies koksnes šķiedru bojājums, un tas raksturo primāro lūšanu (PL). Savukārt koka nolūšana vai izgāšanās ar saknēm ir sekundārā lūšana (SL). Primārā lūšana apgrūtina koka ūdens pārvades spējas, kas ilgtermiņā pazemina vitalitāti un noturību pret sekundāro lūšanu.

Paraugkoka stumbra saliekumu izteica kā starpību (N_Δ , $^\circ$) starp inklinometru mērījumiem (pie stumbra pamatnes (N_0) un 5 m augstumā (N_{5m})):

$$N_\Delta = N_{5m} - N_0 \quad (2.2)$$

Augsnes-sakņu plātnes tilpums (V_{asp} , m^3) aprēķināts kā puse no eliptiska paraboloīda tilpuma:

$$V_{asp} = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \pi \cdot h \cdot a \cdot b, \quad (2.3)$$

kur:

h – augsnes-sakņu plātnes centra vidējais dziļums (m);

a – augsnes-sakņu plātnes vidējais vertikālais rādiuss (m);

b – augsnes-sakņu plātnes vidējais horizontālais rādiuss (m).

Koku stumbru koksnes tilpums (V_{st} , m^3) aprēķināts pēc pielāgotas stumbra tilpuma izteiksmes kā:

$$V_{dižsk.} = 0.785 \cdot DBH^2 \cdot H 10000 \cdot 0.99 \cdot 7501500 + DBH + 2.3DBH^2 - DBH 2000 \quad (2.4)$$

$$V_{bērs} = 0.0000909 \cdot H^{0.71677} \cdot DBH^{0.16692 \cdot 0.4343 \cdot \ln(H) + 1.7570}, \quad (2.5)$$

DBH – stumbra caurmērs 1,3 m augstumā no sakņu kakla (cm);

H – koka augstums (m).

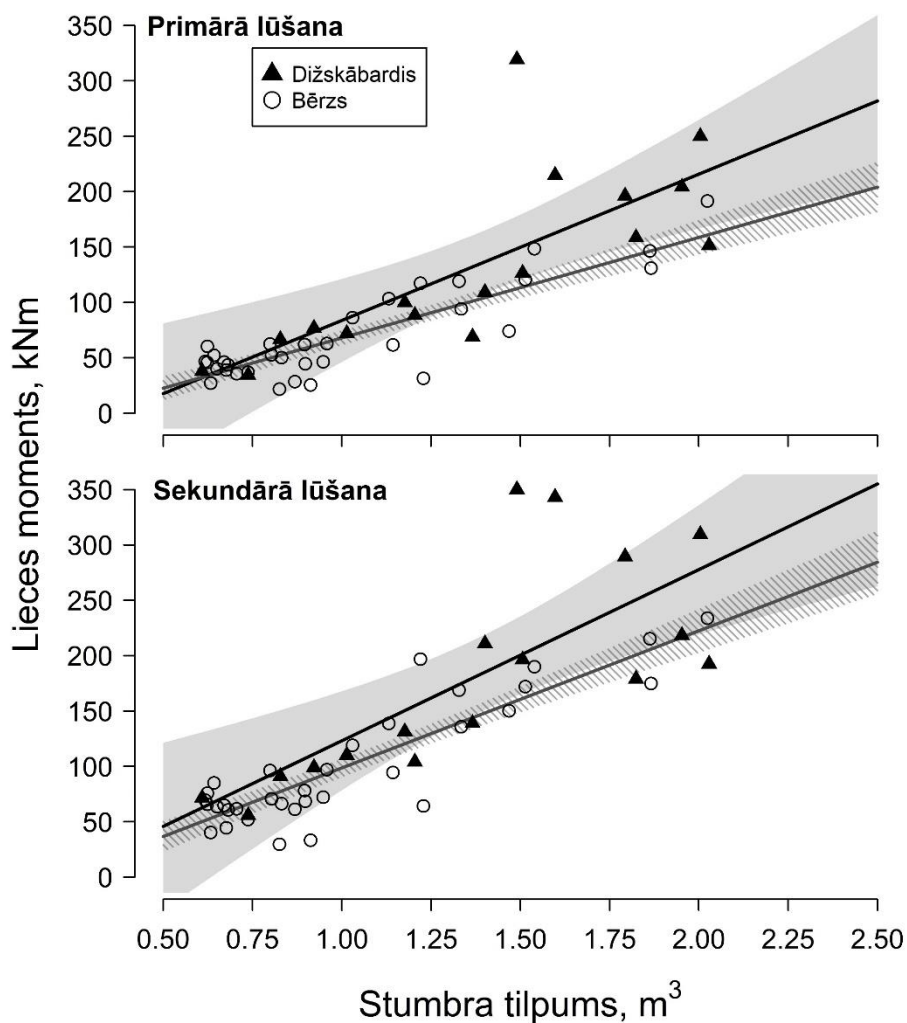
Koku noturība pret primāro un sekundāro lūšanu ir analizēta atkarībā no koka dimensijām (V_{st}). Izveidoti vispārināti lineāri jauktu efektu modeļi BBM raksturošanai gan primārajā (BBM_{pl}), gan sekundārajā lūšanā (BBM_{sl}):

$$y_{ij} = \mu + V_{ij} + s_{ij} + V_{ij} : s_{ij} + (audze_j) + \varepsilon \quad (2.6)$$

kuros kā fiksētie efekti ir koku dimensiju (V_{st}) kovariante (V_{ij}) un suga (s_{ij}), kā arī šo faktoru mijiedarbība ($V_{ij} : s_{ij}$), bet audze ($audze_j$) ir izmantotā kā nejaušās izvēles (randoma) efekts. Iegūto modeļu fiksēto efektu būtiskumu novērtēja ar Wald χ^2 testu.

Abu sugu mehāniskā stabilitāte bija atkarīga no augsnes-sakņu enkurojuma spēka, jo visi bērza paraugkoki un lielākā daļa no dižskābarža paraugkokiem (izņemot divus) izgāzās ar saknēm. Tātad tieši saknēs notika primārā lūšana. Saskaņā ar literatūru (Bolte et al., 2004; Büttner and Leuschner, 1994; Curt and Prévosto, 2003), divi atsevišķie nolūzušie dižskābarži liecina par iespējami augstākām dižskābarža sakņu sistēmas adaptācijas spējām, īpaši tāpēc, ka abām sugām stumbra koksnes un augsnes-sakņu plātnes tilpumu attiecības (arī augsnes-sakņu plātnes dziļumi) neatšķīrās statistiski būtiski.

Ar vispārinātajiem, lineārajiem jauktu efektu modeļiem dižskābardim un bērzam novērota līdzīga statistiski būtiska sakarība starp paraugkoku mehānisko stabilitāti raksturojošajiem parametriem (PL un SL) un stumbra tilpumu (2.5. attēls). Gan salīdzinājumā ar bērzu, gan ar citām vietējām sugām – egli (Šņepsts et al., 2022) un apsi (Krišāns et al., 2022a), dižskābardim ir novērota lielāka rezultātu (atsevišķu koku noturības) izkliede, un attiecīgi augstāka mehāniskās noturības un stumbra koksnes tilpuma sakarības nenoteiktība. Tomēr dižskābarža rezultātiem bija zemāka nejaušības (*random*) faktora ietekme, kas norāda uz noturības mazāku mainību audzes ietvaros (2.1. tabula).



2.5.attēls. Dižskābarža noturība pret statisko slodzi salīdzinājumā ar āra bērzu

Abu sugu līdzīgā noturība pret primāro lūšanu (strukturāliem koksnes bojājumiem) nozīmē to, ka pret sausumu jutīgākā suga pēc spēcīga vēja gadījumiem būs vairāk pakļauta negatīvajiem pēctecības efektiem (Csilléry et al., 2016; Gardiner et al., 2016; Seidl and Rammer, 2017), kā arī tai būs pazemināta noturība pret vēja ietekmi nākotnē (Csilléry et al., 2016). Dižskābarža noturībai pret primāro un sekundāro lūšanu, īpaši lielāku dimensiju kokiem, ir nedaudz augstāka nekā bērzam, norādot uz mazāku vēja bojājumu iespējamību šīs koku sugas audzēs nākotnes klimatā. Tātad dižskābarža plašāka izmantošana meža atjaunošanā nākotnē nepalielinās vētru postījumu risku Latvijas mežos.

Par iegūtajiem rezultātiem sagatavota publikācija: “In the northeasternmost stands in Europe, beech shows similar loading resistance to birch”.

Papildus plānotajam pētījuma etapā veikta dižskābarža sēklu ievākšana MPS Šķēdes MN, pirmapstrāde un nodošana Igaunijas dzīvības zinātņu universitātes (EMU) pētniekiem plānotam plašākam provenienču izmēģinājumam, kura rezultāti nākotnē būs noderīgi arī kā papildus informācijas avots tālākā šīs koku sugas selekcijā Latvijā.

3. Klinškalnu priedes selekcijas un mežsaimniecības perspektīvu novērtējums

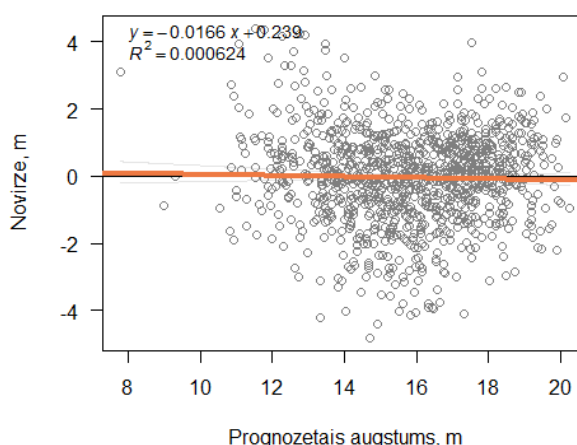
Veikta visu sešu (par 2 vairāk, nekā plānots) Klinškalnu priedes stādījumu uzmērīšana. Dati apvienoti ar iepriekšējā etapā iegūtajiem, un veikta 10 stādījumu kompleksa analīze (3.1. tabula).

3.1. tabula

Augšanas gaitas modelēšanai izmantojamie stādījumi

Stādījums Nr.	Provenienču skaits	Atkārtojumu skaits	Vecums uzmērīšanas brīdī
82	3	4	9; 13; 25; 31
704	5	4	23; 35
705	6	4	22; 34
706	7	6	22; 33
707	19	4	22; 33
79	9	5	29; 40
80	8	6	13; 24
358	10	4	16; 33
702	15	4	16; 33
81	3	4	24; 38

Koku augšanas gaitas raksturošanai pēc atkārtoto mērījumu datiem testētas vairākas funkcijas: Hossfeld, King Prodan un Chapman-Richards. Atbilstoši iegūto rezultātu AIC vērtībām un atlikumu izkliedei (3.1. attēls), novērtējumam izvēlēts Hossfeld modelis (Sharma et al., 2011 pēc Cieszewski, 2002).



3.1. attēls. Augšanas gaitas modeļa atlikumu izkliede Klinškalnu priedei

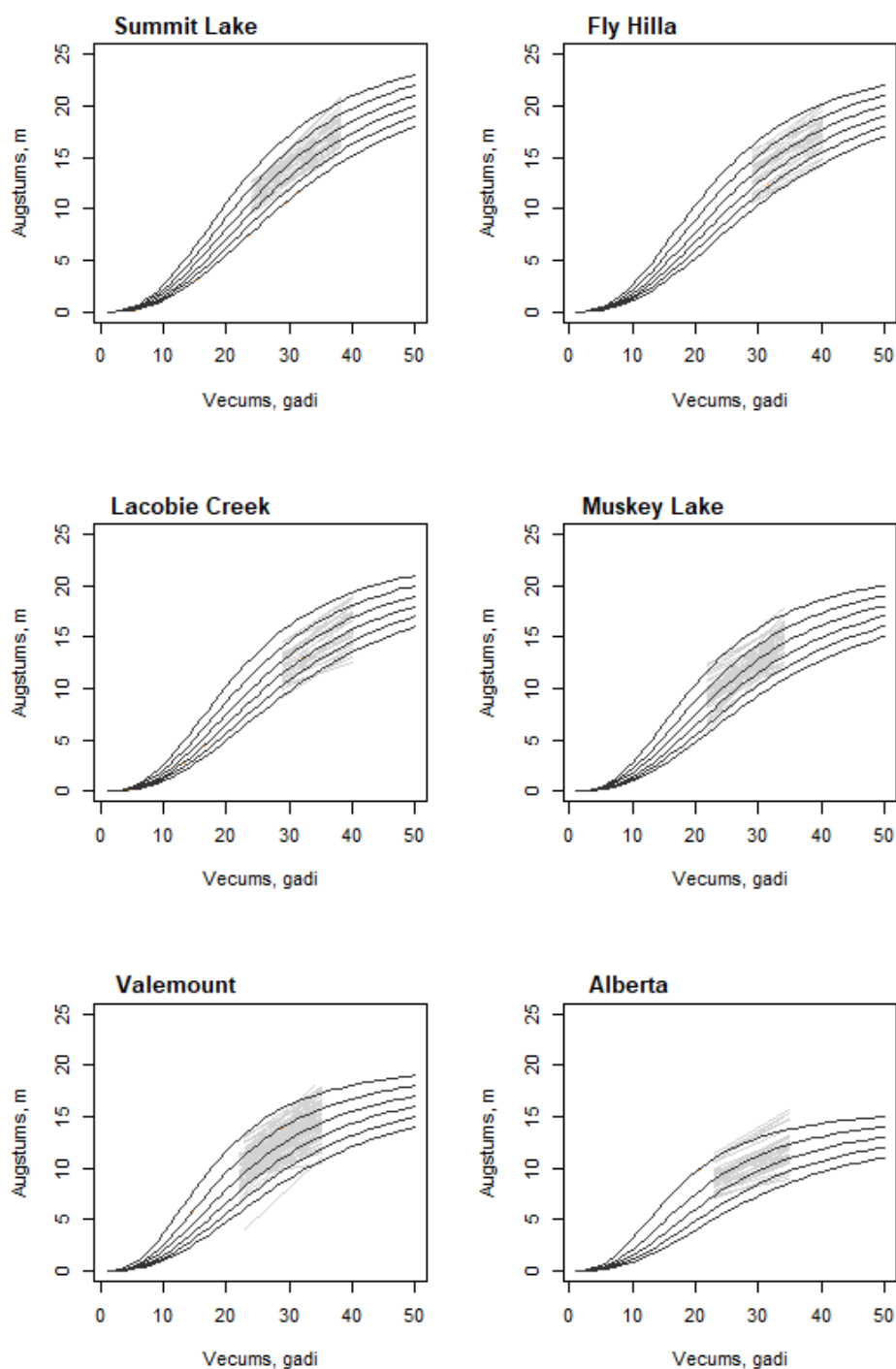
Statistikajā analīzē (NLME) kā nejaušais (random) faktors definēta proveniencē. Secināts, ka proveniencē specifisks koeficients β_1 (parametrs kontrolē asimptotu) nodrošina precīzāko rezultātu. Parametri β_2 un β_3 ir konstanti, neatkarīgi no proveniencē (3.2. tabula). Modelī ņemta vērā autokorelācija starp mērījumiem no viena koka, kā arī dažāda datu izkliede dažādos eksperimentos.

Hossfeld modeļa koeficienti Klinškalnu priedes stādījumos Latvijā

Proveniences Nr.	Modeļa koeficienti		
	β_1	β_2	β_3
1	22.16	-1052.76	2.42
10	28.33	-1052.76	2.42
12	22.85	-1052.76	2.42
13	27.68	-1052.76	2.42
15	20.71	-1052.76	2.42
15a	23.92	-1052.76	2.42
17	23.32	-1052.76	2.42
18	28.00	-1052.76	2.42
19	22.78	-1052.76	2.42
2	21.90	-1052.76	2.42
20	22.05	-1052.76	2.42
21	24.32	-1052.76	2.42
21a	21.19	-1052.76	2.42
22	23.72	-1052.76	2.42
23	21.36	-1052.76	2.42
24	22.69	-1052.76	2.42
25	23.63	-1052.76	2.42
26	23.12	-1052.76	2.42
27	26.72	-1052.76	2.42
27a	24.91	-1052.76	2.42
3	27.36	-1052.76	2.42
32	27.20	-1052.76	2.42
4	28.12	-1052.76	2.42
42	20.44	-1052.76	2.42
43	21.85	-1052.76	2.42
44	16.85	-1052.76	2.42
5	25.48	-1052.76	2.42
50	21.11	-1052.76	2.42
51	23.31	-1052.76	2.42
52	24.36	-1052.76	2.42
6	25.84	-1052.76	2.42
8	26.94	-1052.76	2.42
9	27.66	-1052.76	2.42

Iegūtie augšanas gaitas vienādojumi atsevišķām proveniencēm, kas atspoguļo stādījumos esošo (konstatēto) asimptotu amplitūdu, ietverti 3.2. attēlā.

Latvijā augstāko ātraudzību uzrāda Kanādas 50°, 53°, 55°-56° Z.p. proveniences un Latvijas Skrīveru un Bukultu audžu pēcnācēji, no kuriem tālākai pavairošanai izvēlētās proveniences un fenotipiski pārākie koki izvēlēti, ņemot vērā stumbra kvalitāti: primāri – padēlu un dubulto galotņu neesamību un relatīvo zaru resnumu.



Pelēkās līnijas – mērījumu dati, melnās – modelētā augšanas gaita
3.2. attēls. Dažādu Klinškalnu priedes provenienču augšanas gaita Latvijā

Nākamā pētījuma etapa sākumā iespējama potzaru ievākšana no iegūtā genotipu komplekta, kā arī čiekuru ievākšana pēcnācēju pārbaudēm (piemērotos meteoroloģiskajos apstākļos). Vienlaikus veicama izvēlēto piemērotāko koku savstarpējās radniecības pārbaude (molekulārās analīzes). Atbilstoši tās rezultātiem daļa uzpotēto koku būtu izmantojami plantācijā un daļa klonu arhīvā.

4. Selekcijas ietekmes novērtējums uz meža ģenētisko daudzveidību.

Saskaņā ar pētījuma pirmajā etapā (literatūras analīze) konstatēto, plantācijās plānots vērtēt dažādus bioloģiskās daudzveidības komponentus, ne tikai ģenētisko daudzveidību.

Parastā egļu *Picea abies* (L.) Karst. ir neiztrūkstoša boreālo skuju koku mežu suga, otra izplatītākā koku suga Latvijā un viena no plašāk izplatītajām un ekonomiski nozīmīgākajām koku sugām Eiropā (San-Miguel-Ayanz et al., 2016). Pateicoties augstajai ražībai, salīdzinoši zēmam pārnadžu bojājumu riskam (Lodin et al., 2017), salīdzinoši mazai stādīšanas un kopšanas darbietilpībai, kopš 19. gadsimta tā tiek plaši pielietota mežsaimniecībā gan boreālajā, gan platlapu mežu zonā. Taču jaunākie potenciālo izplatības areālu un dinamiskie veģetācijas modeļi (Liepe et al., 2022) norāda, ka klimata pārmaiņas, jā nenotiks tām piemērotas mežsaimniecības prakses un ģenotipu izvēle, novedīs pie parastās egles izplatības areāla un pārstāvētības samazināšanās, radot nopietnas ekonomiskas (Hanewinkel et al., 2013) un ekoloģiskas sekas (Mina et al., 2017; Temperli et al., 2012). Salīdzinot ar platlapju sugām, eglei ir augstāka uzņēmība pret dabiskajiem traucējumiem, piemēram, sausumu (Albert et al., 2017), vēju (Krisans et al., 2020) un ar tiem saistīto patogēnu un insektu iedarbību (Seidl et al., 2017; Thiele et al., 2017; Jactel et al., 2012). Pēdējās desmitgadēs Eiropā un šobrīd arī Latvijā līdz šim nepieredzēti augstu egļu mirstību izraisa egļu astonezību mizgrauzis *Ips typographus* L., tādējādi veicinot egļu mežu un ar tiem saistīto biotopu pārveidošanos un samazināšanos (Bentz et al., 2019).

Šobrīd, kad pieaug pieprasījums pēc koksnes produktiem, un ir skaidrs, ka mežsaimniecība ir jāintensificē, galvenais uzdevums ir saprast, kā līdzsvarot ekonomiskos ieguvumus un apsaimniekošanas ietekmi uz ekosistēmu un mežā mītošo sugu bioloģiskās daudzveidības izmaiņām (Oettel and Lapin, 2021). Apvienojot šīs intereses, Eiropā eksperimentāli praktizēta tā saucamā “dabai tuva” (*near-natural*) mežsaimniecība (Bauhus et al., 2009), triādas (*triad*) zonējums meža masīva līmenī (izdalot rezervātus, ekoloģiska/ekstensīva apsaimniekošanas režīma un intensīvas mežsaimniecības teritorijas) un taupīšanas – koplietošanas (*sharing-sparing*) modelis (Betts et al., 2021). Tomēr zināšanas par šo pieeju ietekmi uz ekosistēmām un bioloģisko daudzveidību ir ierobežotas (Kraus and Krumm, 2013). Tādēļ tiek izstrādāti risinājumi arī saīsināta audzes aprites cikla gadījumā nodrošināt tādus audzes struktūras elementus, kas raksturīgi neapsaimniekotiem mežiem un nodrošina bioloģiskās daudzveidības uzturēšanu (Oettel and Lapin, 2021; Ferris et al., 2000).

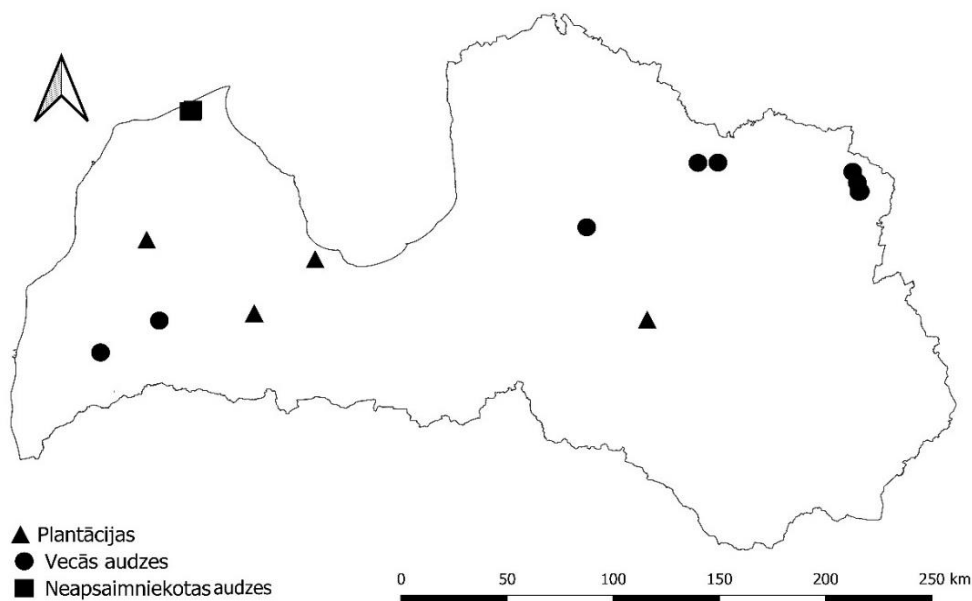
Salīdzinot ar neskartajiem (*natural/virgin/wild*) vai vecajiem (*old-growth*) mežiem, mūsdienu meža ekosistēma ilgtermiņā ir vienkāršojusies un tās bioloģiskā daudzveidība potenciāli samazinājusies. Samazinājuma pakāpi nosaka dzīvotņu (biotopu), tai skaitā mikrodzīvotņu, pieejamība. Šo pieejamību ietekmē gan to kompozīcija (migrācijas ceļi), gan audzes strukturālā daudzveidība. Būtiskākās audzes struktūras ir koku vecums un ar to saistītā audzes nobriešana (Smith et al., 2007), koku sugu daudzveidība/ sastāvs (Barbier et al., 2008) un vainagu saslēgšanās (Coote et al., 2013), kas veido svarīgākās biotopu struktūras, piemēram, sausstāvošus un guļošus atmirušos kokus dažādās sadalīšanās stadijās (Floren et al., 2014), vainagu atvērumus (Wagner et al., 2011), vecus (*veteran*) kokus, kas nodrošina specifiskas mikrodzīvotnes - lieli zari, dobumi (Sever and Nagel, 2019; Larrieu et al., 2018). Augsta strukturālā daudzveidība ir saistīta ar sugu daudzveidības pieaugumu, īpaši attiecībā uz vaskulārajiem augiem un putniem (Oettel and Lapin, 2021).

Vienkāršākas datu ievākšanas dēļ bioloģiskā daudzveidība tiek pētīta lielākoties, koncentrējoties uz audzes līmeņa sugu bagātību (Paillet et al., 2010). Galvenokārt tā balstās uz vaskulāro augu inventarizāciju, jo to tieši ietekmē gan dabiskie traucējumi, gan apsaimniekošana (Oettel and Lapin, 2021). Taču augstāks sugu skaits lielākoties ir saistīts ar traucējumu (Boch et al., 2013), tādēļ svarīgi apskatīt, vai dominējošās sugas ir raksturīgas konkrētajam biotopam (Gao et al., 2015). Piemēram, vaskulārie augi atkarībā no apsaimniekošanas veida un intensitātes (Paillet et al., 2010) galvenokārt dod priekšroku jauniem, traucētiem biotopiem (Mayor et al., 2012), taču aizsargājamās un retās sugas, kas ievērojami paaugstina biotopa ekoloģisko vērtību, biežāk sastopamas vecos, neapsaimniekotos mežos (Elofsson and Gustafsson, 2000). Līdz ar to katras taksonomiskās grupas specifiskās vides prasības lielākoties atbilst vienam no meža attīstības posmiem. Audzes vecumam palielinoties, pakāpeniski notiek sugu nomaiņa, tāpēc nevar apgalvot, ka, pieaugot audzes vecumam, sugu daudzveidība palielinās

(Chernenkova et al., 2020). Šī iemesla dēļ sugu daudzveidības novērtējumam jābalstās uz kompleksu skatījumu, ieskaitot audzes sastāva, strukturālos un funkcionālos rādītājus (Ćosović et al., 2020; Smith et al., 2007).

Svarīgi saprast arī, cik lielā mērā sugu daudzveidību ietekmē audzes apsaimniekošanas veids (Lelli et al., 2019). Salīdzinot intensīvi apsaimniekotas un vecas (dabiskas) mežus, ir konstatēts, ka apsaimniekotajos mežos bieži trūkst veciem mežiem raksturīgo elementu, piemēram, vecu koku, vertikālas neviendabības, koku sugu daudzveidības un liela diametra atmirušās koksnes, kas var būt svarīgi bioloģiskās daudzveidības veicināšanai (Humphrey, 2005). Taču šādi secinājumi bieži vien sasaistīti ar audžu vecuma grupas un biežuma, audzes platības, nevis apsaimniekošanas veida vai audzes ģenētiskās kompozīcijas ietekmi. Apsaimniekotajām audzēm ir viendabīga vecumstruktūra un attīstības dinamika, bet tiem trūkst novecošanas fāzes (*senescent phases*), kuras laikā atsevišķiem taksoniem (brīofītiem, ķērpjiem, sēnēm, saproksilajām vabolēm) rodas vispiemērotākie dzīvošanas apstākļi (Paillet et al., 2010; Commarmot et al., 2005). Šādi secinājumi daudzos gadījumos ir balstīti uz to, ka vairums datu par šiem taksoniem tiek iegūti rezervātos un citās aizsargājamās teritorijās ar lielāku audžu vecumu. Tomēr arī plantācijas spēj nodrošināt vērtīgus biotopus vietējās tipoloģiskās daudzveidības atjaunošanai un pat apdraudētajām sugām (Brockhoff et al., 2008). Stādījumi, vecāki par 80 gadiem (vecuma sliksnis atkarīgs no mežu zonas, valdošās koku sugas un, protams, vēsturiskā apsaimniekošanas režīma), pēc struktūras un kompozīcijas kļūst līdzīgi cilvēka maz ietekmētiem mežiem (Chernenkova et al., 2020). Savlaicīgi kopjot stādījumus (regulāra retināšana u.c.), pagarinot aprites ciklu, ieviešot alternatīvas mežkopības sistēmas un palielinot atmirušās koksnes apjomu komerciālajos skuju koku mežos, tas ir iespējams arī 60 vai 70 gadu vecumā (Chernenkova et al., 2020, Ferris et al., 2000). Tāpat, pielāgojot mežsaimniecības pieeju, iespējams koriģēt vaskulāro augu un citu sugu, kā arī atmirušās koksnes un ar to saistīto sugu daudzumu. Šīs pētījuma aktivitātes mērķis: novērtēt un salīdzināt zemsedzes veģetāciju un to ietekmējošos faktorus neapsaimniekotās, vecās un plantāciju egļu audzēs.

Pētījums veikts trīs dažādi apsaimniekotu mežaudžu grupās: neapsaimniekota, veca mežaudze un plantācija. Šajā pētījumā veca mežaudze definēta kā ilgstoši (vismaz divas valdošās koku sugas vecumklases) antropogēni maz traucēts mežs, kurā nav veikta galvenā un krājas kopšanas cirte, un to veido (dominējošais meža elements ir) veca kokaudze. Vecā mežā savukārt dominējošais meža elements var būt gan veca kokaudze, gan dabisko traucējumu ietekmē veidojusies jauna kokaudze. Šajā gadījumā kā vecas izvēlētas deviņas egļu audzes, kurās valdošā meža elementa vecums 172 līdz 193 gadi. Izvēlētas 7 neapsaimniekotas audzes, kas atrodas vienkopus Latvijas ZR daļā Slīteres nacionālā parka dabas rezervāta zonā (4.1. attēls), kur lielākoties dominē parastā priede *Pinus sylvestris* L. un parastā egle. Plantācijas ietver četrus parastās egles klonu stādījumus ar stādīšanas attālumiem 5×5, 5×7, 2×8 m vecumā no 30 līdz 62 gadiem. Visām audzēm meža tips ir vēris. Vecās, kā arī plantāciju audzes izvietotas visā Latvijas teritorijā (4.1. attēls). Veco audžu raksturošanai izmantoti dati no cita LVMI Silava īstenota pētījuma, savukārt plantācijās un neapsaimniekotajās audzēs (vecajos mežos) parauglaukumi ierīkoti šī pētījuma ietvaros atbilstoši plānotajam.



4.1. attēls. Parauglaukumu atrašanās vietas

Kokaudzes parametru analīzei neapsaimniekotās un vecās audzēs katrā audzē ierīkoti četri 500 m² apļveida parauglaukumi ($R=12,62$ m), vienā vecā audzē metodes aprobācijai ierīkoti 7 šādi parauglaukumi. Plantācijās kokaude uzmērīta visā plantācijas platībā (4.1.tabula, 4.2., 4.3. attēls). Parauglaukumos uzskaitīti visi dzīvie, sausie (sausokņi, stumbeņi) koki un kritālas, kuru caurmērs krūšu augstumā (DBH) vai - kritālām - lielākais caurmērs ir vismaz 6,1 cm. Katram kokam uzmērīts DBH un augstums/ kritālām garums (H). Koki, kuru DBH=2,1-6,0 cm uzskaitīti parauglaukuma sektorā 0°-90° (sektora $R=5,64$ m), kura laukums ir 25 m². Paaugas koki ($H>0,1$ m, $DBH<2,1$ cm) uzmērīti četros 2,5 m² ($R=0,89$ m) apļveida parauglaukumos, kuru centri izvietoti divu metru attālumā no 500 m² lielā parauglaukuma centra uz katra no kardinālajiem virzieniem. Visiem kokiem uzmērīts DBH un H. Veģetācijas uzskaitē katrā audzē ierīkoti četri (metodes aprobācijai - vienā vecā audzē 7) veģetācijas parauglaukumi jeb krusti, kas sastāv no 12 mazākiem 1×1 m laukumiņiem. Katrā kardinālajā virzienā 1 m no parauglaukuma centra izvietoti trīs laukumiņi ar viena metra atstarpi starp tiem. Katrā laukumiņā vizuāli noteikts katras sugas procentuālais segums, tās iedalot trīs stāvos: sūnu, lakstaugu, krūmu ($H<0,1$ m). Parauglaukumos vizuāli novērtēts arī procentuālais nobiru segums. Kopumā ierīkoti 83 veģetācijas parauglaukumi.

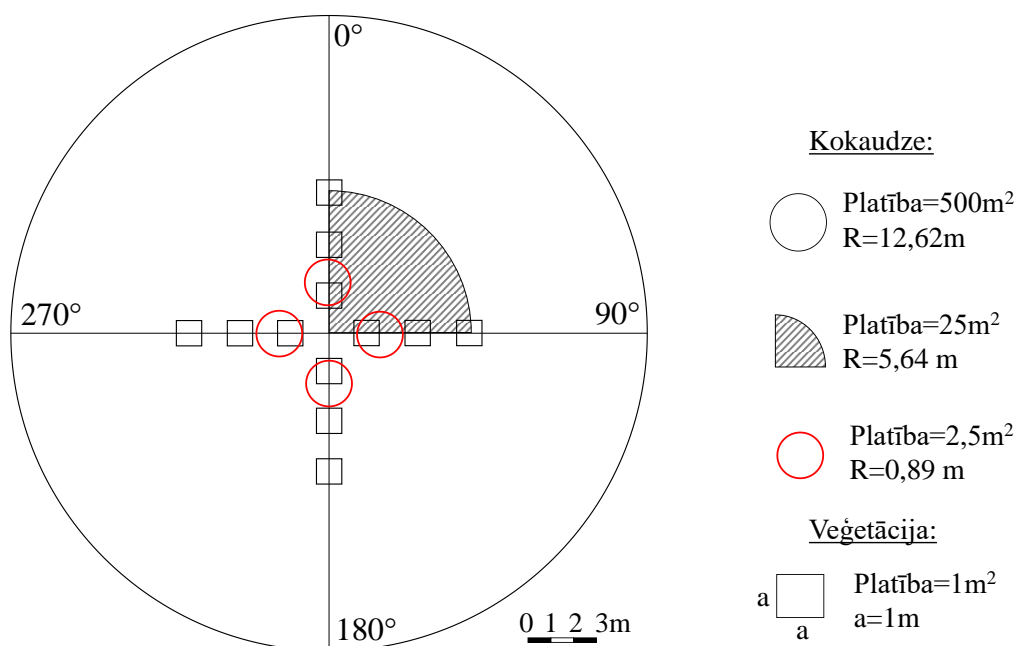


4.2. attēls. Parastās egles plantācija, kurā veikta zemsedzes veģetācijas vērtēšana

Pētījuma objektu apraksts un apsaimniekošanas veids

Apsaimniekošanas veids	Objekts	Paraugl. skaits kokaudzes rādītājiem	Veģetācijas paraugl. skaits (krusti)	Audzes vecums, gadi
neapsaimniekota	209_10_2	4	4	69
neapsaimniekota	209_10_3	4	4	69
neapsaimniekota	209_15_2	4	4	59
neapsaimniekota	212_13_1	4	4	77
neapsaimniekota	212_13_2	4	4	77
neapsaimniekota	224_1	4	4	99
neapsaimniekota	224_12	4	4	99
veca audze	105_147_13	4	4	193
veca audze	106_76_1	4	4	172
veca audze	206_362_22	4	4	188
veca audze	210_36_21	4	4	175
veca audze	411_281_35	7	7	94
veca audze	804_311_10	4	4	182
veca audze	804_485_9	4	4	182
veca audze	804_486_8	4	4	182
veca audze	804_52_32	4	4	191
plantācija	Valgums	4,6*	4	46
plantācija	Jurģi	4,3*	4	43
plantācija	Kuldīga	4,5*	4	30
plantācija	Druvēni	1,2*	4	57

* platība (ha), kurā uzmērīti kokaudzes parametri



4.3. attēls. Parauglaukuma shēma

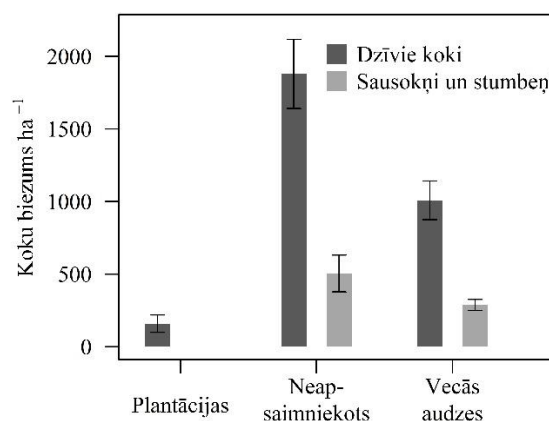
Datu apstrādē katrai audzei aprēķināti vidējie kokaudzes rādītāji: DBH, H, dzīvo (visu un atsevišķu koku sugu) un sauso koku biežums (koki ha⁻¹), atsevišķu koku sugu īpatsvars un šķērslaukums, stumbra diametra un augstuma starpkvartīļu difference (attiecīgi, iqrD un iqrH).

Katram veģetācijas parauglaukumam aprēķināts vidējais (no 12 laukumiņiem) sugu skaits, katras sugas sastopamība, kopējais un katras sugas segums (%) un vidējais Šenona-Vīnera indekss. Katram parauglaukumam aprēķinātas Ellenberga indikatorvērtības (Ellenberg et al., 1992), kas izmantotas ekoloģiskās daudzveidības aprakstīšanai detrendētajā korespondentanalīzē (DCA). Parauglaukumiem veikta DCA ordinācija, salīdzinot veģetācijas datus ar kokaudzi raksturojošajiem parametriem un ekoloģiskajiem rādītājiem. Kopā DCA ordinācijā analizēti 30 faktori, no kuriem 7 bija saistīti ar veģetāciju (Ellenberga skalas rādītāji un Šenona-Vīnera indekss), bet 23 saistīti ar kokaudzes rādītājiem.

Sugu skaita atšķirības starp apsaimniekošanas veidiem aprēķinātas, izmantojot jaukta tipa Puasona regresiju, ņemot vērā audzes ietekmi. Neparametriskā Kendala korelācijas analīze izmantota sakarības starp katra veģetācijas stāva un nobiru seguma noteikšanai.

Sugu sastāvs starp apsaimniekošanas veidiem katram veģetācijas stāvam un visiem kopā salīdzināts, izmantojot līdzības analīzi ANOSIM, kur līdzības indekss R=1 nozīmē, ka teritorijās sugu sastāvs ir pilnīgi atšķirīgs, savukārt R=0 – vienāds. Visas analīzes veiktas pie $\alpha = 0,05$. Datu statistiskā analīze veikta datorprogrammā R v. 4.2.2 (R Core Team, 2022), izmantojot paketes “lme4” (Bates et al. 2015), “vegan” (Oksanen et al., 2022).

Plantācijās ir egļu tīraudzes ar 159 ± 19 koki ha⁻¹, neapsaimniekotās audzēs kokaudzi veido 7 koku sugas, galvenokārt egle (1103 ± 60 koki ha⁻¹), bērzs (426 ± 61 koki ha⁻¹) un parastā apse *Populus tremula* L. (274 ± 62 koki ha⁻¹). Savukārt vecās audzēs kokaudzi veido 14 sugas, galvenokārt egle (632 ± 57 koki ha⁻¹) un bērzs (84 koki ha⁻¹), bet mistrojumā ir sastopamas arī vairākas platlapju sugas (parastā liepa *Tilia cordata* Mill., parastā goba *Ulmus glabra* Huds., parastais ozols *Quercus robur* L., parastais osis *Fraxinus excelsior* L., parastā kļava *Acer platanoides* L.). Kopējais audzes biežums dzīvajiem un sausstāvošajiem kokiem parādīts 4.4. attēlā. Tā kā sugu daudzveidība kokaudzē tiek uzskatīta par vienu no galvenajiem bioloģisko daudzveidību veicinošajiem faktoriem (Barbier et al., 2008), tas analīzē izmantots kā viens no faktoriem.



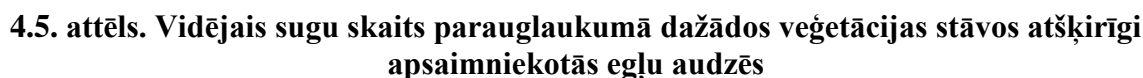
Piezīme: plantācijās veikta periodiska nokaltušo koku izvākšana

4.4. attēls. Vidējais dzīvo un sausstāvošo koku biežums atšķirīgi apsaimniekotās egļu audzēs

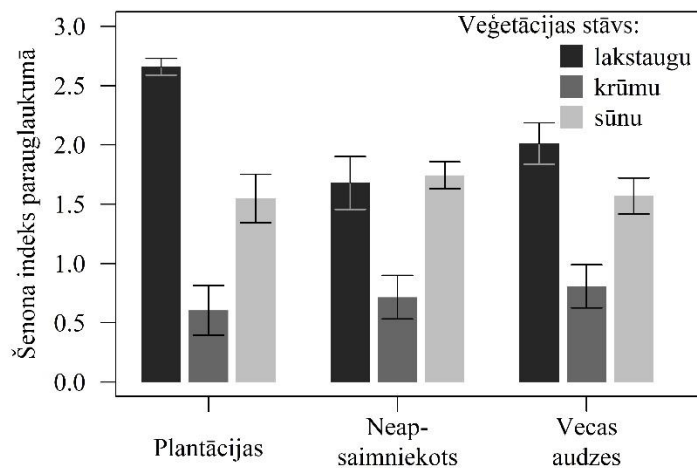
Lai arī plantācijās audzes vecums bija vismazākais, vidējais koku caurmērs un augstums tur bija būtiski lielāks ($p < 0,001$).

Veģetācijā kopā uzskaitītas 114 lakstaugu, 23 kokaugu un 23 sūnu sugas. Vidējais sugu skaits būtiski atšķīrās ($p < 0,001$) starp apsaimniekošanas veidiem un parauglaukumā variēja no 31 ± 4

Mūsu analīzē konstatētais sugu skaits krūmu stāva kokaugiem un sūnām bija līdzīgs visos mniekošanas veidos (attiecīgi, $p=0,08$ un $p=0,79$). Līdzīgi arī Humphrey et al. (2002) pētījumā ritānijā parādīja, ka sūnu sugu skaits dabīgās audzēs un dažāda vecuma plantācijās neatšķiras.



23



4.6. attēls. Vidējais Šenona-Vīnera indekss parauglukumā atšķirīgi apsaimniekotās egļu audzēs

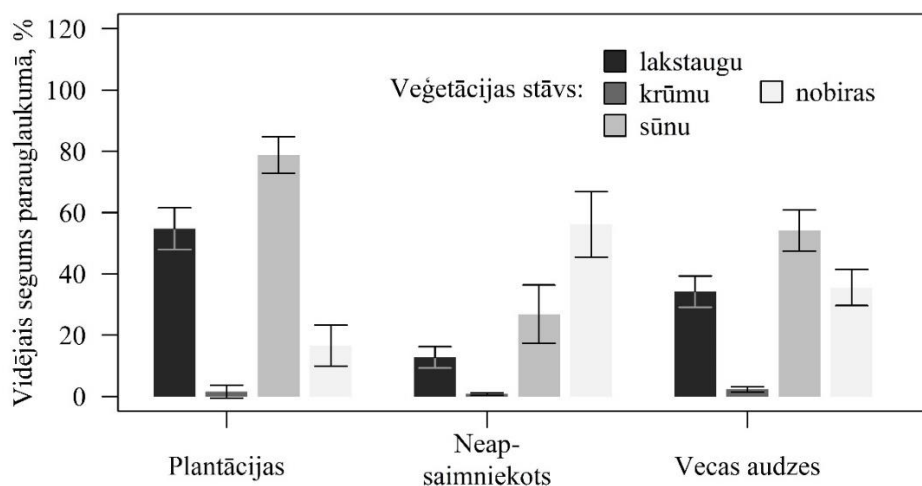
4.2.tabula.

Sugas ar vislielāko segumu (seg, %) un sastopamību (sast, %) parauglukumā atšķirīgi apsaimniekotās egļu audzēs

Plantācija			Neapsaimniekots			Vecas audzes		
suga	seg	sast	suga	seg	sast	suga	seg	sast
LAKSTAUGU STĀVS								
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	10.6	68.8	<i>Vaccinium myrtillus</i>	6.6	82.1	<i>Vaccinium myrtillus</i>	10.4	74.4
<i>Veronica chamaedrys</i>	8.8	93.8	<i>Oxalis acetosella</i>	5.0	89.3	<i>Oxalis acetosella</i>	9.4	84.6
<i>Melampyrum pratense</i>	7.2	93.8	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	3.6	64.3	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	5.5	71.8
<i>Oxalis acetosella</i>	7.2	56.3	<i>Maianthemum bifolium</i>	2.2	89.3	<i>Anemone nemorosa</i>	3.0	43.6
<i>Poa nemoralis</i>	6.6	62.5	<i>Deschampsia flexuosa</i>	1.6	25.0	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2.9	48.7
<i>Galium mollugo</i>	2.0	75.0	<i>Dryopteris carthusiana</i>	0.9	46.4	<i>Luzula pilosa</i>	2.1	74.4
<i>Solidago virgaurea</i>	1.9	75.0	<i>Equisetum sylvaticum</i>	0.7	39.3	<i>Dryopteris carthusiana</i>	2.7	64.1
<i>Dactylis glomerata</i>	4.6	68.8	<i>Carex digitata</i>	1.0	35.7	<i>Equisetum sylvaticum</i>	1.3	59.0
SŪNU STĀVS								
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	45.6	100.0	<i>Hylocomium splendens</i>	12.1	96.4	<i>Hylocomium splendens</i>	22.7	87.2
<i>Hylocomium splendens</i>	27.1	87.5	<i>Cirriphyllum piliferum</i>	9.5	100.0	<i>Pleurozium schreberi</i>	12.8	74.4
<i>Pleurozium schreberi</i>	26.8	87.5	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	8.3	82.1	<i>Eurhynchium angustirete</i>	10.9	64.1
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	21.2	75.0	<i>Pleurozium schreberi</i>	8.0	78.6	<i>Plagiochila asplenoides</i>	7.8	69.2
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	9.8	43.8	<i>Dicranum polysetum</i>	4.3	100.0	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	7.7	59.0
...
<i>Plagiomnium affine</i>	3.2	68.8	<i>Plagiochila asplenoides</i>	3.6	60.7	<i>Dicranum polysetum</i>	4.6	66.7
<i>Dicranum polysetum</i>	2.3	56.3	<i>Polytrichum commune</i>	3.1	57.1	<i>Polytrichum commune</i>	2.6	38.5
<i>Plagiomnium undulatum</i>	4.8	50.0	<i>Aulacomnium androgynum</i>	1.6	35.7	<i>Plagiomnium ellipticum</i>	2.1	35.9

KRŪMU STĀVS								
<i>Picea abies</i>	3.2	56.3	<i>Picea abies</i>	1.2	75.0	<i>Corylus avellana</i>	4.8	30.8
<i>Sorbus aucuparia</i>	0.5	25.0	<i>Populus tremula</i>	0.8	60.7	<i>Sorbus aucuparia</i>	1.7	66.7
<i>Frangula alnus</i>	0.4	31.3	<i>Sorbus aucuparia</i>	0.8	46.4	<i>Picea abies</i>	1.5	51.3
<i>Acer platanoides</i>	0.4	37.5	<i>Rubus saxatilis</i>	0.6	14.3	<i>Rubus saxatilis</i>	1.5	28.2
<i>Corylus avellana</i>	0.3	25.0	<i>Rubus idaeus</i>	0.4	14.3	<i>Ribes rubrum</i>	0.7	23.1
...
<i>Rubus idaeus</i>	0.1	12.5	<i>Acer platanoides</i>	0.2	14.3	<i>Populus tremula</i>	0.6	25.6
<i>Quercus robur</i>	0.1	12.5	<i>Fraxinus excelsior</i>	0.1	7.1	<i>Quercus robur</i>	0.2	20.5
<i>Rubus saxatilis</i>	0.1	6.3				<i>Rubus idaeus</i>	0.2	10.3

Lakstaugu un sūnu segums parauglaukumā būtiski ($p<0,001$) atšķirās starp apsaimniekošanas veidiem, bet kokaugu segums visur bija līdzīgs ($p=0,61$). Visblīvākais segums visos apsaimniekošanas veidos konstatēts sūnu stāvam - plantācijās sasniedzot 79 ± 7 % no parauglaukuma platības, bet mazākais neapsaimniekotās audzēs – 27 ± 12 % (4.7. attēls). Līdzīgi arī lakstaugu segums visblīvākais bija plantācijās (55 ± 5 %), savukārt vismazākais neapsaimniekotās audzēs. Maksimālais kokaugu segums bija vecās audzēs – $2\pm0,7$ %, savukārt plantācijās, iespējams, augstās lakstaugu konkurences un blīvā sūnu seguma dēļ, kokaugi praktiski neatjaunojas.



4.7. attēls. Dažādu veģetācijas stāvu un nobiru vidējais sugu segums parauglaukumā atšķirīgi apsaimniekotās egļu audzēs

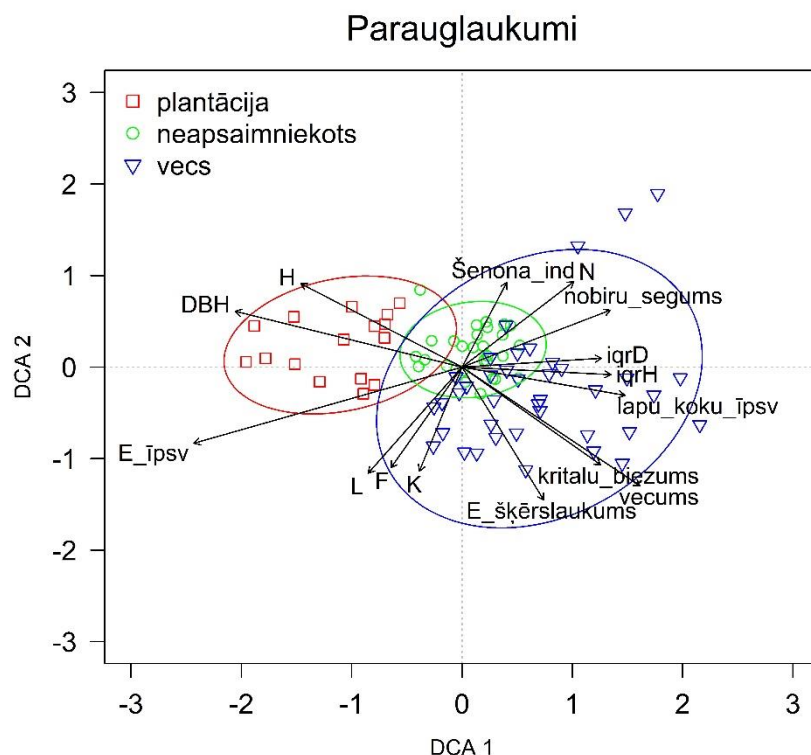
Vidējais nobiru segums būtiski atšķirās ($p=0,002$) starp apsaimniekošanas veidiem un vislielākais bija neapsaimniekotās (56 ± 10 %) un vecās audzēs (36 ± 5 %). Savukārt plantācijās zema nobiru segums (17 ± 7 %) neierobežo lakstaugu un sūnu ieviešanos, jo vidējais lakstaugu un sūnu segums būtiski ($p<0,001$) korelēja ar vidējo nobiru segumu (attiecīgi, $\tau=-0,35$ un $-0,074$). Tātad zema nobiru slānis ne tikai atvieglo zemsedzes veģetācijas sēklu izsēšanos, bet arī veicina šo augu sazelšanu (Paillet et al., 2010; van Calster et al., 2008).

Analizējot visu sugu sastāvu ar līdzības analīzi ANOSIM, tas būtiski atšķirās starp apsaimniekošanas veidiem ($R=0,51$, $p=0,001$). Būtiskas atšķirības ar nelielu sugu pārklāšanos saglabājās, analizējot arī atsevišķi lakstaugu un sūnu sastāva sugu (attiecīgi, $r=0,45$ un $r=0,47$, $p=0,001$). Plantācijās lakstaugu stāvā vislielākā sastopamība un segums bija pļavām, krūmājiem un skrajiem mežiem raksturīgām sugām, piemēram, parastajai smaržzālei *Anthoxanthum odoratum*, birztales

veronikai *Veronica chamaedrys* un parastajai kamolzālei *Dactylis glomerata*, kurām nepieciešamas gaišas-atklātas vietas. Vecos mežos, kur kokaudei raksturīgs lielāks biežums un blīvāks vainagu slēgums, parasti raksturīgs mazāks zemsedzes veģetācijas sugu skaits, bet vairāk tipisko meža (īpaši lakstaugu) sugu (Boch et al., 2013). Līdzīgi arī šajā pētījumā, gan neapsaimniekotos, gan vecos mežos dominēja mežiem, īpaši vērim, raksturīgas sugas, piemēram, melle *Vaccinium myrtillus*, meža zaķskābene *Oxalis acetosella*, niedru ciesa *Calamagrostis arundinacea* un divlapu žagatiņa *Maianthemum bifolium*. Tādēļ pētījumos, kur salīdzināts sugu skaits un sastāvs intensīvi apsaimniekotās plantācijās un vecos mežos, jāņem vērā arī zemsedzes attīstības posms un tam atbilstošās veģetācijas īpatnības, jo, piemēram, plantācijās pat ilgāk kā līdz attīstības vidusstadijai, raksturīgs liels lakstaugu, bet zems sīkkrūmu segums (Chernenkova et al., 2020). Tomēr arī šādu rezultātu būtiski ietekmēs audzes (šajā gadījumā – plantācijas) biežums. Krūmu stāvā visos apsaimniekošanas veidos lielākoties atjaunojas egles, parastais pīlādzis *Sorbus aucuparia* un parastā lazda *Corylus avellana*. Sūnu stāvā atšķirībā no citām audzēm, visos plantāciju parauglaukumos ar lielu segumu bija sastopama atklātu, traucētu vietu suga parastā spuraine *Rhytidiadelphus squarrosus*. Egļu mežiem raksturīgā platlapu knābīte *Eurhynchium angustirete* ar vidējo segumu 11% bija sastopama tikai vecajos mežos. Pārējās dominējošās sugas (spīdīgā stāvaine *Hylocomium splendens*, parastā ūsaine *Cirriphyllum piliferum*, lielā spuraine *Rhytidiadelphus triquetrus*, viļņainā divzobe *Dicranum polysetum*) visos tipos bija līdzīgas, un lielākoties raksturīgas boreālajiem mežiem (tai skaitā vērim).

Sugu sastāva atšķirības bija redzamas arī DCA, kur parauglaukumi grupējās pēc apsaimniekošanas veida, izteikti nodaloties plantācijām, neapsaimniekotiem mežiem pārklājoties ar veciem, bet tajā pašā laikā neapsaimniekotajiem parauglaukumiem grupējoties pēc šaurām specifiskām prasībām (4.8. attēls). Galvenie-būtiskākie ($p=0,001$ līdz $p=0,003$) faktori, kas izskaidroja DCA 1. asi bija kokaudes rādītāji: koku vidējais caurmērs un augstums, egles šķērslaukums, audzes vecums un kritalu biežums (skaits uz laukuma vienību). Lai gan vecums pats par sevi var ietekmēt sugu daudzveidību (Smith et al., 2007), šajā pētījumā audzes struktūru izmaiņas plantācijās veģetācijas raksturu ietekmēja vēl spēcīgāk (4.8. attēls). Tikpat būtiski faktori, kas korelēja ar DCA 1. asi, bija audzes sastāvs: egles un lapu koku īpatsvars. Lai arī jauktas audzes (īpaši ar platlapjiem) bioloģiskās daudzveidības ziņā tiek uzskatītas par vērtīgākām (Hedwall et al., 2019; Fang et al., 2014), pastāv izņēmumi. Piemēram, Vācijā skuju koku plantācijās daudzveidība bija lielāka nekā audzēs ar Eiropas dižskābardi *Fagus sylvatica* (Budde et al., 2011), taču tajā pašā laikā veģetācijas daudzveidība un sugu skaits lielākoties atkarīgs no šo kokaudes sugu īpatsvara un biežuma konkrētajā audzē (Hedwall et al., 2019).

Būtiskākie ($p=0,003$ līdz $p=0,01$) faktori, kas korelēja ar DCA 2. asi, bija dažādi vides gradienti: gaisma, mitrums, kontinentalitāte un slāpekļa saturs augsnē. Parauglaukumu izkārtojums DCA norāda, ka visatšķirīgākie kokaudes rādītāji un vides apstākļi parauglaukumos ir vecās audzēs, plantācijās ir atšķirīgāki kokaudes, bet līdzīgi vides rādītāji, savukārt neapsaimniekotās audzēs abi šie rādītāji ir šauri – līdz ar ko arī veģetācija specifiskāka.



4.8. attēls. DCA ordinācija visiem parauglaukumiem (L – gaisma, F – mitrums, K – kontinentalitāte, N – slāpekļa saturs augsnē, H – vidējais koku augstums, DBH – vidējais stumbra caurmērs krūšaugstumā, iqrD un iqrH – attiecīgi, stumbra diametra un augstuma starpkvartīļu difference. Elipses norāda audžu īpašvērtību standartnovirzes)

Kopsavilkums

- Šenona-Vīnera indekss uzrādīja, ka sugu sadalījums parauglaukumos gan klonu stādījumos – plantācijās, gan neapsaimniekotās audzēs, gan vecās mežaudzēs – ir līdzīgs, un nav izteikti dominējošo sugu.
- Lielāks lakstaugu sugu skaits un segums konstatēts plantācijās, taču tur lielākoties sastopamas pļavām, krūmājiem un skrajiem mežiem raksturīgas sugas. Šo sakarību, kā arī konstatētās būtiskās veģētācijas sugu sastāva atšķirības starp apsaimniekošanas veidiem, primāri nosaka edafiskās atšķirības (galvenokārt mitrums un slāpekļa daudzums augsnē), bet arī kokaudzes rādītāji (koku vidējais caurmērs un augstums, egles šķērslaukums, audzes vecums un kritalu skaits uz platības vienību). Tādēļ būtiski nākamajā pētījuma etapā paplašināt paraugkopu, nodrošinot iespējas nodalīt norādītās ietekmes (t.sk., stādījuma/audzes biezuma, ģenētikas un vecuma ietekmi).
- Plantācijas lakstaugu sugu daudzveidības ziņā ir bagātākas par vecām un neapsaimniekotām mežaudzēm, taču sākumposmā tajās trūkst tipisko meža sugu. Taču, tā kā kokaudzes rādītāji ir galvenais sugu noteicošais faktors, tad ar mērķtiecīgu apsaimniekošanu (biezums, paaugas klātbūtne, zināmā mērā sugu sastāvs, atmirusī koksne) ir iespējams paātrināti izveidot šīm sugām piemērotu biotopu, apvienojot bioloģiskās daudzveidības un bioekonomikas intereses.

- Rezultāti iekļauti konferences ziņojumā: Whole tree harvesting long-term impact on ground vegetation in Norway spruce stands (03.11.)

5. Egles sēklu ražas kāpināšanas metožu aprobācija

Nemot vērā labo egles ziedēšanu, šajā etapā veikts rūpnieciska mēroga novērtējums fungicīdu lietošanas variantiem aizsardzībai pret ievu-egļu rūsas LVM sēklu plantācijā “Liuza”.

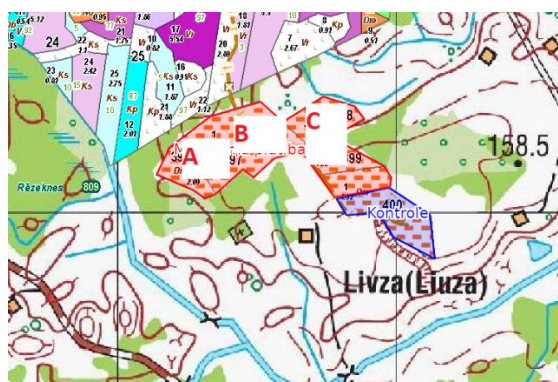
Miglošanai izmantots sistēmiskais fungicīds Topas 100 EC. Apstrādes līdzekļa Topas 100 EC sastāvā esošā darbīgā viela – penkonazols (1g/l) - ir triazolu klases fungicīds, kas iedarbojas uz patogēnu, kavējot haustoriju (specializētu sēnes hifu, kas ieaug saimniekauga audos) veidošanos, līdz ar to tā iedarbība ir nozīmīga agrīnās infekcijas stadijās. Augā tas tiek uzņemts caur lapām un akropetāli (virzienā uz augšu) nogādāts uz neapstrādātām auga daļām (<https://www.syngenta.lv/product/crop-protection/fungicids/topas-100-ec>).

Egles apstrādātas blokos trīs variantos: A – intensīva apstrāde (četras reizes sezonā), B – mazāk intensīva apstrāde (trīs reizes sezonā), C – apstrāde ar fungicīdu veikta divas reizes (5.1. tabula) un kontrole – bez apstrādes (5.1. attēls).

5.1. tabula.

Miglošanas laiki ar fungicīdu ‘Topas’ egļu sēklu plantācijā “Liuza” 2022. gada sezonā pret ievu-egļu čiekuru rūsas

Apstrādes varianti		
A	B	C
11. maijs		
24. maijs	16. maijs	
10. jūnijs	28. maijs	18. maijs
28. jūnijs	16. jūnijs	6. jūnijs



Variantu atšifrējums: A – apstrāde ar fungicīdu četras reizes; B – apstrāde ar fungicīdu trīs reizes; C – apstrāde ar fungicīdu divas reizes; kontrole – ar fungicīdu neapstrādātā platība.

5.1. attēls. Apstrādes bloku izvietojums sēklu plantācijā “Liuza”, no kuriem ievākti čiekuri ievu-egļu rūsas novērtējumam.

Čiekuri katrā apstrādes blokā ievākti no 30 eglēm, no katra koka ievācot 30 čiekurus. Izņēmums bija apstrādes bloks C, kurā čiekuri ievākti no 11 kokiem - kopā 280 čiekuri, kas saistāms ar ļoti nelielu čiekuru ražu un koku zemo vitalitāti šajā blokā vides faktoru ietekmē.

Lai novērtētu apstrādes iespējamo lokālo efektu vainagā, čiekuri no eglēm vākti dažādos vainaga augstumos: pa 10 čiekuriem galotnes daļā, vidū un apakšējā daļā (5.2. attēls; 5.2. tabula). Apstrādes blokā C iepriekš minētās mazās čiekuru ražas dēļ ne visiem kokiem ievākts viss plānotais čiekuru skaits katrā vainaga daļā.



5.2. attēls. No viena koka ievāktie čiekuru paraugi dažādos vainaga augstumos
(A – galotnes daļa; B – vainaga vidus daļa; C – vainaga apakšējā daļa).

5.2. tabula.

Novērtēšanai ievāktu čiekuru skaits

Augstums	Apstrādes variants (koku skaits)			
	A (30)	B (30)	C (11)	Kontrole (30)
galotnes daļa	302	306	95	302
vainaga vidus	302	304	89	309
vainaga apakša	302	305	96	303
kopā	906	915	280	914

Laboratorijā čiekuri žāvēti un vizuāli novērtēti, atzīmējot rūsas sēnes infekcijas klātbūtni – vai uz čiekuru sēklzvēņām izveidojušās lodveida ecīdijas (sēnes bezdzimumsporu veidojošās struktūras). Ievu-egļu rūsas ecīdijas ir izmēros no 1 līdz 2 mm diametrā; sākumā tās ir oranžā krāsā, vēlāk kļūst tumšbrūnas. Inficētos čiekurus var viegli atšķirt no veselajiem arī pēc plaši atvērtajām sēklzvēņām, uz kurām atrodas sēnes ecīdijas (5.3. attēls).



A



B

A – ar rūsas sēni inficēts čiekurs ar plaši atvērtām sēklzvīņām, uz kurām izveidojušās rūsas sēnes ecīdijas. B – čiekuru sēklzvīņas ar ievu-egļu rūsas sēņu ecīdijām dažādās to stadijās.

5.3. attēls. Ievu-egļu rūsas sēne ecīdiju stadijā

Rezultāti

Kopumā egles sēkļu plantācijā “Liuza” vizuālai ievu-egļu rūsas *Thekopsora areolata* infekcijas klātbūtnes novērtēšanai tika ievākti 3015 čiekuri, no kuriem uz 921 čiekura jeb 30,5% konstatētas ievu-egļu rūsas ecīdijas (5.3. tabula).

5.3. tabula

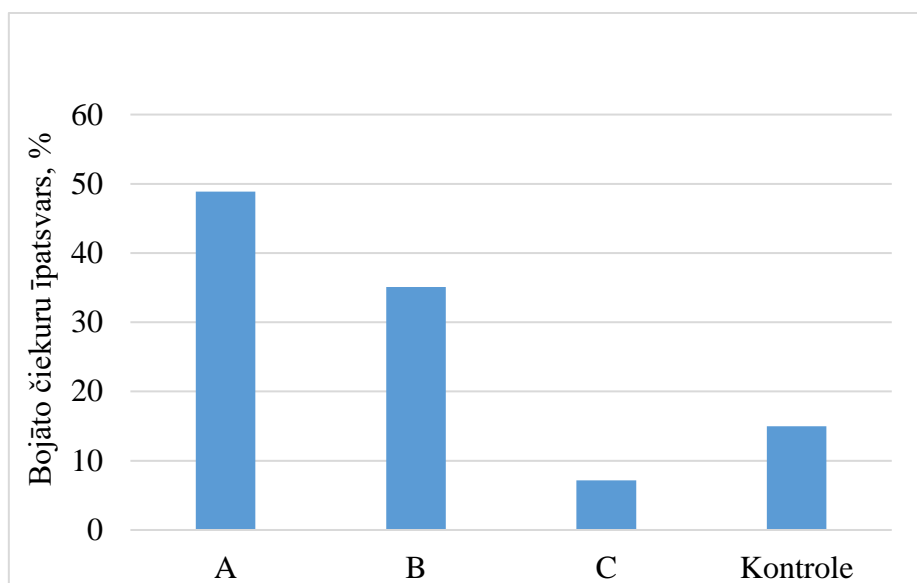
Ar rūsas sēni inficēto čiekuru skaits un to īpatsvars no kopējā ievāktā čiekuru skaita pa apstrādes blokiem un koku vainagu daļām

Augstums	Čiekuri ar vizuālu rūsas sēnes klātbūtni (% no ievāktajiem)			
	A	B	C	Kontrole
Galotnes daļa	134 (44%)	115 (38%)	7 (7%)	48 (16%)
Vainaga vidus	136 (45%)	104 (34%)	6 (7%)	51 (17%)
Vainaga apakša	173 (57%)	102 (57%)	7 (7%)	38 (13%)
Kopā	443 (49%)	321 (35%)	20 (7%)	137 (15%)

Pastāv statistiski būtiskas atšķirības starp rūsas sēnes bojāto čiekuru daudzumu apstrādes blokos (χ^2 testa $p < 0,01$ starp visiem variantu pāriem).

Visbiežāk ievu-egļu rūsas klātbūtne konstatēta uz čiekuriem, kas ievākti A blokā (49% gadījumu) (5.4. attēls), kur 2022. gada sezonā ienākusies galvenā plantācijas raža. Sektorā B, kas ar fungicīdu apstrādāts trīs reizes, inficēto čiekuru īpatsvars bija 35%. Vismazākais rūsas skarto čiekuru īpatsvars

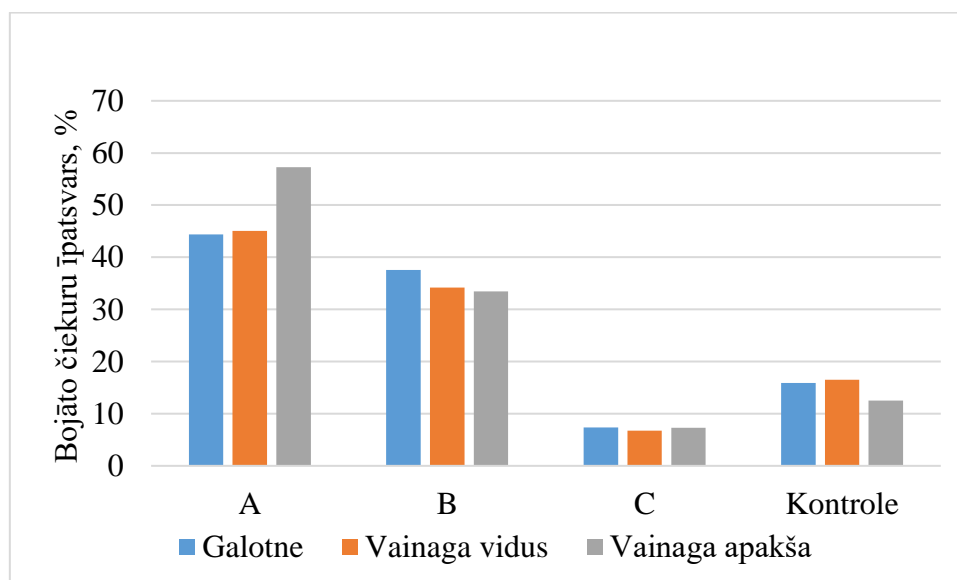
novērots C sektorā (7%) vāktajiem čiekuriem, taču jāpiemin, ka sliktās ražas dēļ šajā sektorā tika ievākts vismazāk čiekuru. Salīdzinoši neliels rūsas skarto čiekuru īpatsvars bija arī kontroles sektorā, kur egles ar fungicīdu netika apstrādātas – 15%.



A – apstrāde ar fungicīdu četras reizes; B – apstrāde ar fungicīdu trīs reizes; C – apstrāde ar fungicīdu divas reizes; kontrole – ar fungicīdu neapstrādātā platība, no kuras ievākti čiekuri novērtēšanai.

5.4.attēls. Rūsas skarto čiekuru īpatsvars (%) atkarībā no apstrādes varianta

Būtiskas atšķirības rūsas sēnes sastopamībā uz čiekuriem atkarībā no to lokācijas egles vainagā novērotas tikai A apstrādes blokā ievāktajiem čiekuriem (5.5. attēls). Konstatēta būtiska atšķirība starp rūsas sēnes īpatsvaru čiekuros no galotnes un vidus daļas salīdzinājumā ar vainaga apakšas čiekuriem (χ^2 testa $p < 0,01$).



Apstrādes varianti: A – apstrāde ar fungicīdu četras reizes; B – apstrāde ar fungicīdu trīs reizes; C – apstrāde ar fungicīdu divas reizes; kontrole – ar fungicīdu neapstrādātā platība, no kuras ievākti čiekuri novērtēšanai.

5.5. attēls. Rūsas skarto čiekuru īpatsvars (%) atkarībā no apstrādes varianta dažādās vainaga daļās

Citās valstīs veiktos pētījumos arī nav konstatēta pozitīva apstrādes ietekme, apkarojot ievu-egļu rūsu (Almquist, Rosenberg, 2016). Citos pētījumos atzīmēts, ka fungicīdu izmantošana var būt lietderīga nelielās kontrolējamās platībās vai kokaudzētavās (Zhang et al., 2021), savukārt sēklu plantācijās tā ir grūti realizējama (Kaitera et al., 2009).

Kopsavilkums

Konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp rūsas sēnes bojāto čiekuru īpatsvaru apstrādes variantos, tomēr lielākais bojāto čiekuru īpatsvars ir tajā, kurā mīglošana veikta visvairāk reižu. Tas liecina par lokālu vides atšķirību plantācijas ietvaros nozīmīgo ietekmi uz rūsas sastopamību. Iespējams rūsas sēņu perēklis ir plantācijas dienvidrietumu malā (pērnējie čiekuri šajā zonā un tai apkārt esošā mežaudze, iespējams, ir iemesls augstākam infekcijas fonam šajā plantācijas daļā). Ņemot vērā vides faktoru ietekmi uz sēklu ražu šajā plantācijā un konstatētās atšķirības starp apstrādes blokiem, iesakām izvērtēt iespējas apstrādāt ar fungicīdu atsevišķus kokus, tādējādi izslēdzot vides faktoru ietekmi un izvērtējot rūsas simptomus dažādiem egļu kloniem, kas arī var ietekmēt sēklzvīņu atvēršanos un saistībā ar to arī rūsas vai sviļņa sastopamību.

Tāpat turpmākos eksperimentos ieteicams ietvert vairākus atšķirīgus fungicīdus, jo, iespējams, Topas 100 EC ir efektīvāks uz rūsas sēņu attīstības stadijām, kas norit uz ievu lapām. Turpmāk, plānojot apstrādi, iesakām pārbaudīt arī Zviedrijā lietotā *Amistar* ietekmi (Almquist, Rosenberg, 2016).

6. Metožu klimata noturīgu genotipu atlasei selekcijā attīstība

Saskaņā ar plānoto padēlu ietekmes uz stumbra kvalitāti raksturošanai veikta 16 paraugkoku, kam iepriekšējās inventarizācijās šis defekts konstatēts, ievākšana (6.1. attēls). Iegūtās datu kopas analīzi un papildināšanu paredzēts veikt turpmākajos pētījuma etapos. Tāpat turpmāk plānots veikt precīzu atkārtotu padēlu sastopamības inventarizāciju, paredzot to vienlaikus ar stādījumu kopšanu, jo šobrīd to nav iespējams kvalitatīvi īstenot augstā biežuma dēļ.



6.1. attēls. Paraugkoka stumbra daļa ar padēlu

Šajā pētījuma etapā saskaņā ar plānoto papildināti un analizēti atkārtotu uzmērījumu dati no diviem paralēliem priedes pluskoku brīvapputes pēcnācēju pārbaužu stādījumiem, kuros pārstāvētas 64 ģimenes. Stādījumos uzmērīts koku augstums trīs līdz septiņu gadu vecumā, kā arī noteikta augsta dzinumu sastopamība sešu gadu vecumā. Padēlu sastopamība vērtēta 7, 10, 12 un 16 gadu vecumā. Atkārtota augstuma mērīšana veikta 12 un 16 gadu vecumā, pēdējā datu ievākšanas reizē uzmērot arī krūšaugstuma caurmēru.

Konstatēts, ka koku ar padēliem īpatsvars samazinās, pieaugot to vecumam – no vidēji 21,8 % septiņu gadu vecumā līdz 7,5 % pēc 16. augšanas sezonas. Stādījuma vietai bija būtiska ietekme uz koku ar padēliem īpatsvaru – 7 gadu vecumā vienā no stādījumiem konstatēts divreiz vairāk koku ar šo stumbra defektu nekā otrā (attiecīgi 26,9 % un 13,4 %), atšķirībām samazinoties vēlākās vērtēšanas reizēs. Abos stādījumos novērota zema koku ar augsta dzinumiem sastopamība – tikai 1,5 % koku 6 gadu vecumā konstatēts papildu pieaugums – taču to esamībai bija būtiska ietekme uz padēlu veidošanos līdz 12 gadu vecumam ($p < 0.001$).

Visos vērtētajos vecumos tika konstatēta būtiska ģimenes ietekme uz koku augstumu un caurmēru ($p \leq 0.001$) (6.2.attēls), kas atspoguļojas arī aprēķinātajās iedzimstamības koeficienta ($h^2 = 0.10 \dots 0.22$) un aditīvās ģenētiskās variācijas koeficienta ($CVa\% = 6.79 \dots 16.48 \%$) vērtībās (6.1.tabula). Arī padēlu sastopamība būtiski atšķīrās starp vērtētajām ģimenēm ($p \leq 0.04$) (6.2.attēls), tomēr raksturojama ar zemu iedzimstamības koeficientu ($h^2 = 0.02 \dots 0.05$). Ģimenei netika konstatēta būtiska ietekme uz augsta dzinumu veidošanos ($p = 0.93$).

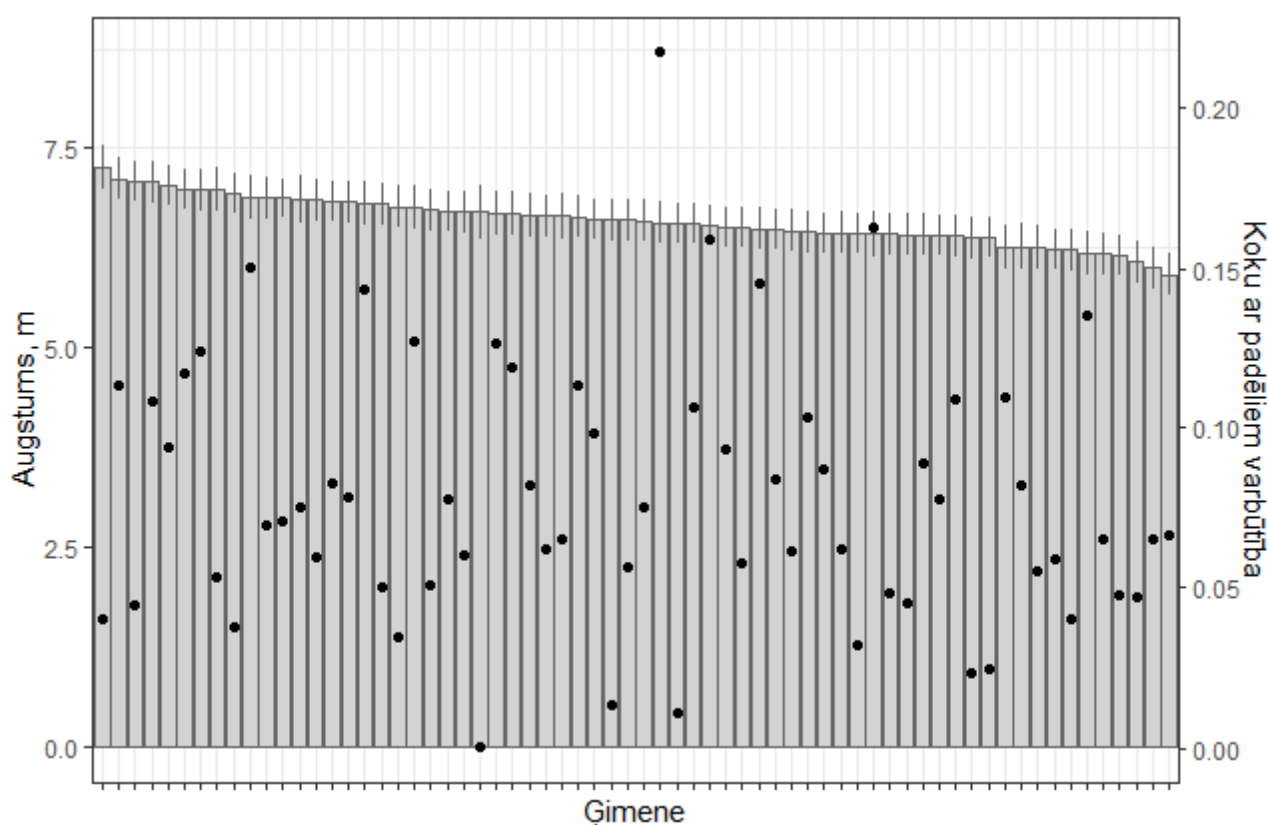
Aprēķinātie ģenētiskie parametri vērtētajām pazīmēm parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos

Pazīme (vecums, gadi)	Iedzimstamības koeficients $h^2 \pm$ standartklūda			Aditīvās ģenētiskās variācijas koeficients $CVa\%$	Genotipiskās korelācijas koeficients starp stādījumiem $r_G \pm$ standartklūda		
Augstums (3)	0.22	\pm	0.052	16.48	0.88	\pm	0.069
Augstums (4)	0.17	\pm	0.042	13.03	0.95	\pm	0.041
Augstums (5)	0.16	\pm	0.041	11.60	0.97	\pm	0.037
Augstums (6)	0.16	\pm	0.042	9.96	0.96	\pm	0.067
Augstums (7)	0.14	\pm	0.040	9.11	0.97	\pm	0.050
Augstums (12)	0.15	\pm	0.042	8.29	0.98	\pm	0.048
Augstums (16)	0.21	\pm	0.057	6.79	0.99	\pm	0.022
Caurmērs (16)	0.10	\pm	0.034	7.54	0.91	\pm	0.089
Padēls (7)	0.03	\pm	0.031	-	0.43	\pm	0.457
Padēls (10)	0.05	\pm	0.038	-	0.70	\pm	0.353
Padēls (12)	0.02	\pm	0.023	-	0.33	\pm	0.507
Padēls (16)	0.03	\pm	0.082	-	0.06	\pm	0.488
Augusta dzinumi (6)	0.02	\pm	0.053	-	0.57	\pm	0.321

Novērtējot genotipiskās korelācijas koeficientu starp stādījumiem, konstatēta cieša pozitīva ģenētiski noteikta saistība koku augstumam un caurmēram ($r_G = 0.88 \dots 0.99$). Padēlu un augusta dzinumu sastopamība bija daudz augstākā mērā vides noteikta un bija genotipiski vidēji vai vāji saistīta ($r_G = 0.06 \dots 0.70$), turklāt augstā standartklūda norāda uz augstu nenoteiktību šai korelācijai. Genotipiskās korelācijas koeficients starp vērtētajām pazīmēm uzrādīja vidēji ciešu vai ciešu ģenētiski noteiktu saistību starp padēlu sastopamību dažādā vecumā ($r_G = 0.40 \dots 0.85$), kā arī ciešu pozitīvu saistību starp padēlu sastopamību 7 gadu vecumā un augusta dzinumu sastopamību iepriekšējā gadā ($r_G = 0.80 \pm 0.151$) (6.2.tabula). Genotipiskā korelācija starp augšanu raksturojošajām pazīmēm un padēlu sastopamību netika konstatēta ($r_G = -0.25 \dots 0.40$).

Genotipiskās korelācijas koeficients r_G (augšējais labais trijstūris) un tā standartklūda (apakšējais kreisais trijstūris) starp vērtētajām pazīmēm parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos. pad – padēlu sastopamība; augdz – augusta dzinumu sastopamība; h – augstums; d – krūšaugstuma caurmērs; skaitlis aiz pazīmes norāda vecumu.

	pad7	pad10	pad12	pad16	augdz6	h3	h4	h5	h6	h7	h12	h16	d16
pad7		0.75	0.63	0.40	0.80	0.03	-0.17	-0.19	-0.25	-0.21	-0.07	-0.09	-0.24
pad10	0.214		0.85	0.70	0.30	0.35	0.22	0.29	0.27	0.24	0.20	0.26	0.34
pad12	0.334	0.252		0.72	0.09	0.40	0.24	0.29	0.27	0.31	0.31	0.33	0.20
pad16	0.460	0.380	0.385		0.48	0.17	0.18	0.19	0.22	0.21	0.29	0.26	0.33
augdz6	0.151	0.433	0.431	0.336		0.17	0.22	0.22	0.17	0.22	0.23	0.08	-0.21
h3	0.309	0.211	0.323	0.430	0.251		0.96	0.94	0.90	0.87	0.68	0.66	0.75
h4	0.247	0.212	0.314	0.334	0.288	0.016		0.97	0.94	0.91	0.75	0.73	0.82
h5	0.261	0.229	0.320	0.271	0.203	0.026	0.010		0.99	0.97	0.87	0.87	0.90
h6	0.249	0.234	0.323	0.271	0.235	0.041	0.023	0.005		0.99	0.92	0.93	0.89
h7	0.259	0.236	0.330	0.286	0.210	0.049	0.034	0.014	0.005		0.96	0.98	0.86
h12	0.270	0.219	0.355	0.294	0.194	0.090	0.079	0.055	0.043	0.024		0.99	0.81
h16	0.266	0.241	0.448	0.334	0.265	0.111	0.102	0.076	0.057	0.028	0.008		0.71
d16	0.315	0.249	0.350	0.311	0.274	0.113	0.104	0.080	0.087	0.091	0.070	0.106	



6.2.attēls. Ģimeņu vidējais augstums ar ticamības intervālu (primārā y ass) un koku ar padēliem varbūtība (sekundārā y ass) vērtētajos parastās priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos 16 gadu vecumā.

Kopsavilkums

- Padēlu sastopamība būtiski atšķiras starp vērtētajām ģimenēm ($p \leq 0,04$), tomēr raksturojama ar zemu iedzimstamības koeficientu ($h^2 = 0,02 \dots 0,05$).
- Augusta dzinumiem būtiska ietekme uz padēlu veidošanos līdz 12 gadu vecumam.
- Stādījuma vietai būtiska ietekme uz koku ar padēliem īpatsvaru.
- Koku ar padēliem īpatsvars samazinās, pieaugot vecumam - vidēji no 21,8 % septiņu gadu vecumā līdz 7,5 % 16 gadu vecumā. Tādēļ šo stumbra defektu lietderīgi vērtēt tikai noslēdzošajā pēcnācēju pārbaūžu stādījumu uzmērīšanas reizē.

Par iegūtajiem rezultātiem sagatavota publikācija: “The effects of genetics and tree growth on the presence of spike knots in Scots pine progenies”

Izmantotā literatūra

- Albert, M., Nagel, R. V., Nuske, R., Suttmöller, J., Spellmann, H. (2017) Tree species selection in the face of drought risk—uncertainty in forest planning. *Forests* 8:363.
- Almquist C., Rosenberg, O. (2016) Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides. <https://www.skogforsk.se/contentassets>
- Barbier, S., Gosselin, F., Balandier, P. (2008). Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved—a critical review for temperate and boreal forests. *Forest ecology and management*, 254(1), 1-15.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1–48.
- Bauhus, J., Puettmann, K., Messier, C. (2009). Silviculture for old-growth attributes. *Forest ecology and management*, 258, 525–537.
- Bentz, B. J., Jönsson, A. M., Schroeder, M., Weed, A., Wilcke, R. A. I., Larsson, K. (2019). *Ips typographus* and *Dendroctonus ponderosae* models project thermal suitability for intra-and inter-continental establishment in a changing climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, 1.
- Betts, M. G., Phalan, B. T., Wolf, C., Baker, S. C., Messier, C., Puettmann, K. J., Balmford, A. (2021). Producing wood at least cost to biodiversity: Integrating T riad and sharing–sparing approaches to inform forest landscape management. *Biological Reviews*, 96(4), 1301-1317.
- Boch, S., Prati, D., Müller, J., Socher, S., Baumbach, H., Buscot, F. et al. (2013). High plant species richness indicates management-related disturbances rather than the conservation status of forests. *Basic and Applied Ecology*, 14(6), 496-505.
- Bockerhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., Sayer, J. (2008). Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17, 925–951.
- Budde, S., Schmidt, W., Weckesser, M. (2011). Impact of admixture of European beech (*Fagus sylvatica* L.) on plant species diversity and naturalness of conifer stands of Lower Saxony *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, 11, pp. 49-61.
- Chernenkova, T., Kotlov, I., Belyaeva, N., Suslova, E., Morozova, O., Pesterova, O., Arkhipova, M. (2020). Role of Silviculture in the Formation of Norway Spruce Forests along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain. *Forests*, 11(7), 778.
- Commarmot, B., Bachofen, H., Bundziak, Y., Bürgi, A., Ramp, B., Shparyk, Y., et al. (2005). Structures of virgin and managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland): a comparative study. *Forest Snow and Landscape Research*, 79(1/2), 45-56.
- Coote, L., Dietzsch, A. C., Wilson, M. W., Graham, C. T., Fuller, L., Walsh, A. T. et al. (2013). Testing indicators of biodiversity for plantation forests. *Ecological Indicators*, 32, 107-115.
- Čosović, M., Bugalho, M. N., Thom, D., Borges, J. G. (2020). Stand structural characteristics are the most practical biodiversity indicators for forest management planning in Europe. *Forests*, 11(3), 343.
- Courbaud , B., Larrieu, L., Kozak, D., Kraus, D., Lachat, T., Ladet, S., Müller, J., Paillet, Y., Sagheb-Talebi, K., Schuck, A., Stillhard, J., Svoboda, M., Zudin, S. 2022. Factors influencing the formation rate of tree related microhabitats and implications for biodiversity conservation and forest management. *Journal of Applied Ecology* 59, 492– 503 <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14068>
- Ellenberg, H., Ruprecht, D., Volkmar, W., Willy, W., Dirk, P. (1992). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18, 258 S.
- Elofsson, M. and Gustafsson, L. (2000). Uncommon vascular plant species in an East-Central Swedish forest area—a comparison between young and old stands. *Nordic Journal of Botany*, 20(1), 51-60.

- Fang, Z.; Bao, W.; Yan, X.; Liu, X. (2014). Understory Structure and Vascular Plant Diversity in Naturally Regenerated Deciduous Forests and Spruce Plantations on Similar Clear-Cuts: Implications for Forest Regeneration Strategy Selection. *Forests*, 5, 715–743.
- Ferris, R., Peace, A. J., Humphrey, J. W., Broome, A. C. (2000) Relationships between vegetation, site type and stand structure in coniferous plantations in Britain. *Forest Ecology and Management*, 136:35–51.
- Floren, A., Müller, T., Dittrich, M., Weiss, M., Linsenmair, K. E. (2014). The influence of tree species, stratum and forest management on beetle assemblages responding to deadwood enrichment. *Forest Ecology and Management*, 323, 57-64.
- Gao, T., Nielsen, A. B., Hedblom, M. (2015). Reviewing the strength of evidence of biodiversity indicators for forest ecosystems in Europe. *Ecological Indicators*, 57, 420-434.
- Gossner, M.M., Lachat, T., Brunet, J., Isacsson, G., Bouget, C., Brustel, H., Brandl, R., Weisser, W.W., Müller, J. 2013. Current “near-to-nature” forest management effects on functional trait composition of saproxylic beetles in beech forests. *Conservation Biology*, 27, 605–614. <https://doi.org/10.1111/cobi.12023>
- Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G. J., Zimmermann, N. E. (2013). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3(3), 203–207.
- Hedwall, P. O., Holmström, E., Lindbladh, M., Felton, A. (2019). Concealed by darkness: How stand density can override the biodiversity benefits of mixed forests. *Ecosphere*, 10(8), e02835.
- Humphrey, J. W. (2005) Benefits to biodiversity from developing old-growth conditions in British upland spruce plantations: a review and recommendations. *Forestry* 78:33–53
- Humphrey, J. W., Davey, S., Peace, A. J., Ferris, R., Harding, K. (2002). Lichens and bryophyte communities of planted and semi-natural forests in Britain: the influence of site type, stand structure and deadwood. *Biological conservation*, 107(2), 165-180.
- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagneyrol, B., Gardiner, B. et al. (2017). Tree diversity drives forest stand resistance to natural disturbances. *Current Forestry Reports*, 3(3), 223-243.
- Jactel, H., Petit, J., Desprez-Loustau, M. L., Delzon, S., Piou, D., Battisti, A., Koricheva, J. (2012). Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(1), 267-276.
- Kaitera, J., Tillman-Sutela, E., Kauppi, A. (2009) Seasonal fruiting and sporulation of *Thekopsora* and *Chrysomyxa* cone rusts in Norway spruce cones and alternative hosts in Finlandia. *Can.J. For. Res.* 39: 1630-1646.
- Kraus, D., Krumm, F. (Eds.), 2013. Integrative Approaches as an Opportunity for the Conservation of Forest Biodiversity. European Forest Institute, Freiburg, Germany, pp. 284.
- Krisans, O., Saleniece, R., Rust, S., Elferts, D., Kapostins, R., Jansons, A., Matisons, R. (2020). Effect of bark-stripping on mechanical stability of Norway spruce. *Forests*, 11(3), 357.
- Kutnar, L., Nagel, T. A., Kermavnar, J. (2019). Effects of disturbance on understory vegetation across Slovenian forest ecosystems. *Forests*, 10(11), 1048.
- Larrieu, L., Paillet, Y., Winter, S., Bütler, R., Kraus, D., Krumm, F. et al. (2018). Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*, 84, 194-207.
- Lelli, C., Bruun, H. H., Chiarucci, A., Donati, D., Frascaroli, F., Fritz, Ö. Et al. (2019). Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. *Forest Ecology and Management*, 432, 707-717.
- Liepe, K. J., van der Maaten, E., van der Maaten-Theunissen, M., Liesebach, M. (2022). High phenotypic plasticity, but low signals of local adaptation to climate in a large-scale transplant experiment of *Picea abies* (L.) Karst. in Europe. *Frontiers in Forests and Global Change*, 53.
- Lodin, I., Brukas, V., Wallin, I. (2017). Spruce or not? Contextual and attitudinal drivers behind the choice of tree species in southern Sweden. *Forest Policy and Economics*, 83, 191–198.

- Mayor, S. J., Cahill, J. F., He, F., Sólymos, P., Boutin, S. (2012). Regional boreal biodiversity peaks at intermediate human disturbance. *Nature communications*, 3(1), 1-6.
- Mina, M., Bugmann, H., Cordonnier, T., Irauschek, F., Klopčič, M., Pardos, M., Cailleret, M. (2017). Future ecosystem services from European mountain forests under climate change. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 389–401.
- Oettel, J. and Lapin, K. (2021). Linking forest management and biodiversity indicators to strengthen sustainable forest management in Europe. *Ecological Indicators*, 122, 107275.
- Oksanen J. et al. (2022). *_vegan: Community Ecology Package_*. R package version 2.6-4, <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.
- Paillet, Y., Bergès, L., Hjäältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M. A. R. K. U. S. et al. (2010). Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: Meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation biology*, 24(1), 101-112.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Durrant, T. H., Mauri, A., Tinner, W., Ballian, D., Beck, P., Birks, H., Eaton, E. (2016). European atlas of forest tree species. Publication Office of the European Union.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G. et al. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 7(6), 395-402.
- Sever, K., and Nagel, T. A. (2019). Patterns of tree microhabitats across a gradient of managed to old-growth conditions: a case study from beech dominated forests of South-Eastern Slovenia. *Acta Silvae et Ligni*, (118), 29-40.
- Smith, G. F., Gittings, T., Wilson, M., French, L., Oxbrough, A., O'Donoghue, S., et al., (2007). Identifying practical indicators of biodiversity for stand-level management of plantation forests. In *Plantation Forests and Biodiversity: Oxymoron or Opportunity?* (pp. 67-91). Springer, Dordrecht.
- Temperli, C., Bugmann, H., Elkin, C. (2012). Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications*, 22(8), 2065-2077.
- Thiele, J. C., Nuske, R. S., Ahrends, B., Panferov, O., Albert, M., Staupendahl, K., et al. (2017). Climate change impact assessment—A simulation experiment with Norway spruce for a forest district in Central Europe. *Ecological Modelling*, 346, 30-47.
- van Calster, H., Chevalier, R., van Wyngene, B., Archaux, F., Verheyen, K., Hermy, M. (2008). Long-term seed bank dynamics in a temperate forest under conversion from coppice-with-standards to high forest management. *Applied Vegetation Science*, 11(2), 251-260.
- Wagner, S., Fischer, H., Huth, F. (2011). Canopy effects on vegetation caused by harvesting and regeneration treatments. *European Journal of Forest Research*, 130(1), 17-40.
- Zhang, K., Kaitera, J., Samils, B., Olson, Å. (2021) Temporal and spatial dispersal of *Thekopsora areolata* basidiospores, aeciospores, and urediniospores. *Plant Pathology* 71, 668– 683. DOI:10.1111/ppa.13510