

PĀRSKATS
PAR 2024. GADA PĒTĪJUMA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: **Klimata pārmaiņu ietekme uz mežsaimniecību
un tās riskiem**

Līguma Nr. 5-5.9.1_007p_101_21_78

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀJS: 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, 2024

Anotācija

Pētījuma ceturtajā etapā īstenoti visi plānotie darbi piecās aktivitātēs, nodrošinot visu paredzēto datu ievākšanu un plānoto etapa rezultātu sasniegšanu.

1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu.

Veikta plānoto 8 iepriekš ierīkoto liepu jaunaudžu kopšanas objektu pārmērīšana. Veikta iepriekš ierīkoto 23 pētījumu objektu uzturēšana, kā arī, papildus plānotajam, veikta divu jaunu stādījumu ierīkošana. Veikta pārmērīšana visos plānotajos kļavu ilgtermiņa pētījumu objektos. Veikta rezultātu publicēšana.

2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā.

Nodrošinātas plānotās vēja noturības pārbaudes 65 eglēm (vairāk, nekā plānots) un veikta analīze par iespējām konstatēt primāro lūšanu attālās izpētes datos. Veikti sniega segas un augsnes temperatūras mērījumi iepriekšējā etapā ierīkotajās transektēs. Ierīkoti parauglaukumi un atlasīti koki to mehāniskās stabilitātes testiem ziemas periodā. Veikta degamības datu analīze. Veikta rezultātu publicēšana.

3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā.

Veikti visi plānotie darbi egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus*) izlidošanas laika monitoringā, kā arī šī dendrofāga skarto 182 (vairāk, nekā plānots) audžu kartēšana ar multispektrālo kameru un datu analīze. Sagatavots manuskripts.

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā.

Apkopots viss egles klimata komponentes pieauguma modeļu sagatavošanai nepieciešamais materiāls, veiktas analīzes, raksturojot nelineārās sakarības un ekstrēmu ietekmi.

5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm.

Veikta 2 papildus transektu ierīkošana augsnes temperatūras analīzēm, kā arī regulāra datu ievākšana (gruntsūdens, mitrums, temperatūra) iepriekš ierīkotajās transektēs, nodrošināta plānoto stādījumu ierīkošana.

Abstract

All the planned work in five activities were completed, ensuring the collection of all the planned data and analysis. Results of this research stage had been achieved.

1. Increasing the knowledge on regeneration and growth of rare and introduced tree species in Latvia.

The planned re-measurement of the 8 thinning experiments in young linden and maple stands was carried out. The maintenance of the previously established 23 research sites was carried out, as well as planting of 2 additional trials ensured. Re-measurement was carried out in all planned maple long-term research sites. Results published.

2. Effect of wind storms and forest fire and its changes in the predicted climate.

Pulling tests carried out (65 trees) and remote sensing data collection and analysis done to assess the tree stress reaction. Measurements of snow cover and soil temperature were carried out in the transects established in the previous stage of the project. Sample plots established and trees pulling tests done during winter in pine stands. Planned analysis of fire risk carried out. Results published.

3. Changes in biotic factors due to climate change.

All the planned works in spring monitoring of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) were carried out, as well as the mapping of 182 stands affected by this dendrophagous insect inventoried with a multispectral camera. Manuscript prepared.

4. Effect of climate change on increment of trees.

All the material necessary for the analysis of climate effect on growth of spruce has been collected, analysis carried out, including assessment of non-linear relationships and effects of meteorological extremes.

5. Case study area on organic soils for complex, long-term, large scale assessment of influence of forest management measures on forest and related ecosystems.

Periodic monitoring was carried out in established transects for ground water measurements and two additional transect established, planned trails established.

Saturs

Anotācija.....	2
Abstract.....	3
Attēlu saraksts	5
Tabulu saraksts	6
Simboli un saīsinājumi	7
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu	8
1.1. Dižskābarža, sarkanā ozola, liepas un kļavas objektu uzmērīšana.....	8
1.2. Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana	8
1.3. Platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējums.....	8
2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā.....	10
2.1. Vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai	10
2.4. Modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem	11
2.7. Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību	14
2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi	17
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā	25
3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums	25
3.3. Dendrofāgo kukaiņu un to saimniekorganismu dzīves cikla sinhronitātes izmaiņu novērtējums	27
3.4. Mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.....	33
3.5. Videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija, mazinot dendrofāgu saimniecisko ietekmi.	33
3.6. Sistēma veģetācijas kā indikatora izmantošanai klimata pārmaiņu indicēšanai.....	39
Kopsavilkums.....	42
4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā	44
4.1. Klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem: egles.....	44
4.2. Novērtēt klimata ekstrēmu ietekmi uz egļu pieaugumu	46
4.3. Augšanu limitējošo faktoru izmaiņu novērtējums, ietverot klimata komponenti augšanas gaitas modeļos.....	51
5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm.....	54
5.1. Meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizēts novērtējums	54
5.2. Liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojums.	57
5.3. Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.....	58
5.4. Klonu atlase mežaudžu ražības kāpināšanai nākotnē kontekstā ar liela mēroga traucējumiem un jutību pret vides faktoru ietekmi.....	59
1. Pielikums. Etapa darba uzdevumi un to izpildes statuss	60

Attēlu saraksts

- 1.3.1. attēls. Ilglaicīgie pētījumu objekti kļavu (uzmērīti 2024. gadā) un citu koku sugu (uzmērāmi 2025. gadā) audzēs.
- 2.1.1. attēls. Statiskās vilkšanas testiem atlasīto koku izvietojums MPS Kalsnavas MN 148. kvartāla 1. un 66. nogabalos.
- 2.1.2. attēls. Indeksu vērtības starp aizlauztiem un kontroles kokiem.
- 2.4.1. attēls. Augsnes temperatūras izmaiņas MPS Taurenas un Jelgavas MN 2023.-2024. gadā.
- 2.4.2. attēls. Sniega segas biezuma izmaiņas MPS Taurenas un Jelgavas MN 2023.-2024. gadā.
- 2.4.3. attēls. Iepriekšējā atkusnī applūdis parauglaukums bērzu mežaudzē slapjajā vērī MPS Taurenas MN.
- 2.4.4. attēls. Nogabali MPS Jelgavas (a) un Taurenas MN (b), kuros ierīkoti sniega segas novērojumu parauglaukumi 2024.-2025. gada sezonā.
- 2.4.5. attēls. Mērlatu izvietojums attiecībā pret paraugkoku.
- 2.4.6. attēls. Augsnes temperatūras mērījumu punkti “No sniega ATTĪRĪTS AR zemsedzi” un “No sniega ATTĪRĪTS BEZ zemsedzes” egļu mežaudzē Dms meža tipā MPS Taurenas MN 2023.-2024. gada sezonā.
- 2.7.1. attēls. Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku noturība pret primāro un sekundāro lūšanu atkarībā no augsnes sagatavošanas veida.
- 2.8.1. attēls. Augstums virs jūras līmeņa
- 2.8.2. attēls. Nogāzes slīpums
- 2.8.3. attēls. Ekspozīcija
- 2.8.4. attēls. Degmateriālu tipi pēc Scott and Burgan 2005 klasifikācijas.
- 3.2.1. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitoringa reģioni.
- 3.2.2. attēls. Maksimālā diennakts temperatūra un I. typographus lidošanas sākums.
- 3.2.3. attēls. Pirmās vaboles izlidošanas datums (vidēji no 5 parauglaukumiem).
- 3.2.4. attēls. Sakarība starp egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākumu un kopējo vidēji vienā slazdā noķerto vaboļu daudzumu sezonā.
- 3.3.1. attēls. Multispektrālās kameras veidotā attēla piemērs.
- 3.3.2. attēls. Egļu nogabali, kuros veikta sanitāro izlases ciršu ietekmes izvērtēšana uz turpmāko mizgraužu invāzijas risku.
- 3.3.3. attēls. Principiālā komponentu analīze (PCA) egļu astoņzobu mizgrauža ietekmes uz egļu audzi pēc sanitārās izlases cirtes novērtējumam.
- 3.3.4. attēls. Parauglaukumu sadalījums pēc bojājuma egļu astoņzobu mizgrauža intensitātes pēc sanitārajām izlases cirtēm.
- 3.3.5. attēls. Egļu vecuma ietekme uz mizgraužu invāzijas risku pēc sanitārās izlases cirtes.
- 3.3.6. attēls. Izstrādes veikšana mizgraužu aktivitātes laikā (pa kreisi) un augsnes veida (pa labi) ietekme uz mizgraužu invāzijas risku pēc sanitārās izlases cirtes.
- 3.3.7. attēls. Citu koku sugu piemestrojuma ietekme uz mizgraužu invāzijas risku pēc sanitārās izlases cirtes.
- 3.3.8. attēls. Audzes bojājuma veida ietekme uz mizgraužu invāzijas risku (pa kreisi) un atšķirības starp reģioniem (pa labi).
- 3.5.1. attēls. Multispektrālās kameras veidots attēls Jaunciema degumā 2023. gada vasarā (pa kreisi) un 2024. gada vasarā (pa labi).
- 3.5.2. attēls. Galotņu sešzobu mizgraužu lidošanas dinamika trīs gadus pēc meža ugunsgrēka prieku audzē.
- 3.5.3. attēls. Kaltušie koki un *Ips acuminatus* svaigi invadētās priedes Jaunciema deguma teritorijā.
- 3.5.4. attēls. Priedes vainaga izmaiņas pēc *Ips acuminatus* kolonizācijas.
- 3.5.5. attēls. Multispektrālā attēla histogramma zīmīgajos datos *Ips acuminatus* invadētās priedes vainagam.

- 3.5.6. attēls. 30. jūnijā redzamās izmaiņas *Ips acuminatus* invadētas priedes atstarojošā spektrā (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI).
- 3.6.1. attēls. Veģetācijas uzskaites laukumu shēma – ģeobotāniskais apraksta laukums (400 m²) un 1 m² uzskaites laukumi (MSI, 2023).
- 4.2.1. attēls. Pētīto egles klonu augstuma pieauguma ikgadējās mainības komponente, ko atspoguļo atlikumu hronoloģiju indeksu vērtības, kā arī datu kopas replikācijas izmaiņas laikā (1977.–2020. gads).
- 4.2.2. attēls. Pētīto egles pluskoku klonu augstuma pieauguma atbildes reakcijas uz meteoroloģiskajiem apstākļiem references periodā no 1980. līdz 2020. gadam stādījumā Druvēnos, Kalsnavā.
- 4.2.3. attēls. Brīvapputes saimnieciskās mezotrofās audzēs augošo egļu radiālā pieauguma ikgadējās mainības atbildes reakcija uz meteoroloģiskajiem mainīgajiem.
- 5.1.1. attēls. Gruntsūdens un augsnes mitruma, kā arī koku fizioloģisko procesu novērojumu transekti starp meliorācijas grāvjiem pēcnācēju pārbaužu un otrās vecumklases egļu un bērzu mežaudzēs kūdreņos Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā.
- 5.1.2. attēls. Gruntsūdens līmeņa novērojumu transekti jaunaudzē (95. kvartāla 17. nogabals) Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā.
- 5.3.1. attēls. Eddy-Covariance sensoru tornis un teritorija ap to, kur plānota eksperimentu ierīkošana.
- 5.4.1. attēls. Apstādītās platības Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtās laboratorijas teritorijā.

Tabulu saraksts

- 1.3.1. tabula. Pārmērīto kļavu audžu taksācijas rādītāji.
- 2.7.1. tabula. Vispārinātu lineāru jauktu efektu modeļu dispersijas (χ^2) parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku lieces momentiem pie primārās (BBMPL) un sekundārās lūšanas (BBMMAX), kā arī to starpībai (BBMDIF) atkarībā no augsnes sagatavošanas veida.
- 2.7.2. tabula. Lieces momentu pie primārās (BBMPL) un sekundārās lūšanas (BBMMAX), kā arī to starpības (BBMDIF) un koka stumbra tilpuma sakarības starp paraugkopām atkarībā no augsnes apstākļiem.
- 2.8.1. tabula. Kanādas uguns laika apstākļu indeksa un tā komponentu vērtību skala
- 2.8.2. tabula. Ugunsgrēka laika apstākļu indeksa FWI klases un ugunsgrēku izcelšanās
- 2.8.3. tabula. Smalkā degmateriāla mitruma koda FFMC klases un ugunsgrēku izcelšanās
- 2.8.4. tabula. Sausuma koda DC klases un ugunsgrēku izcelšanās
- 2.8.5. tabula. Degumu NBR vērtību vidējās starpības atkarībā no ugunsgrēka FWI vērtības.
- 2.8.6. tabula. FireEURIks degmaterialu tipu adaptācija Latvijai
- 2.8.7. tabula. Koeficienti vainaga sākuma augstumam aprēķināšanai
- 3.3.1. tabula. Dispersijas analīzes kopsavilkuma tabula faktoru ietekmes analīzei egļu kalšanai pēc sanitārajām izlases cirtēm vidēji vecās un vecās egļu audzēs.
- 3.6.1. tabula. Meža bioloģiskās daudzveidības monitoringā piecu gadu ierīkoto parauglaukumu sadalījums pa meža tipiem (MT – meža tips, N – skaits) (MSI, 2023).
- 4.4.4. tabula. Atlasītā augstuma augšanas gaitas modeļa, kas papildināts ar meteoroloģiskajām komponentēm, koeficienti to ticamība un klonālā mainība.
- 5.2.1. tabula. Biežāk konstatēto Lakstaugu un sūnu sugu vidējais procentuālais segums un konstatēšanas biežums kailcirtē divos atsevišķos vērtēšanas gados. F – konstatēšanas biežums, C – vidējais procentuālais segums parauglaukuma ietvaros.
- 0.1. tabula. Etapa darba uzdevumi un to izpilde līdz starpziņojuma sagatavošanai.

Simboli un saīsinājumi

LVM – Latvijas valsts meži
MN – meža novads
MPS – Meža pētīšanas stacija
VMD – Valsts meža dienests

1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu

1.1. Dižskābarža, sarkanā ozola, liepas un kļavas objektu uzmērīšana

Mērķis: nodrošināt datus reti sastopamo koku sugu augšanas gaitas raksturošanai.

Nodrošināta plānotā 8 liepu un kļavu jaunaudžu objektu uzmērīšana, informācijas un objektu sagatavošana kopšanai sadarbībā ar LVM. Objekti (kvartālu apgabals-kvartāls-nogabals): 107-145-22, 107-332-6, 107-332-7, 103-179-3, 501-303-15, 501-446-10, 501-120-7, 501-277-5.

Nodrošināta iepriekšējā etapā sagatavotā manuskripta papildināšana, labošana, atbildes uz recenzentu komentāriem un rezultātu publicēšana: Matisone, I.; Šņepsts, G.; Kaupe, D.; Hein, S.; Rieksts-Riekstiņš, R.; Jansons, Ā. (2024) Analysis of Height Growth Suggests Moderate Growth of *Tilia cordata* and *Acer platanoides* at the Native Hemiboreal Stands in Latvia. *Forests* 2024, 15, 7. <https://doi.org/10.3390/f15010007>

Secinājumi šajā darba uzdevumā tiks sagatavoti pētījuma noslēguma etapā.

1.2. Ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšana, uzmērīšana

Mērķis: papildināt zināšanas par reti sastopamo koku sugu augšanu, audzēšanas riskiem.

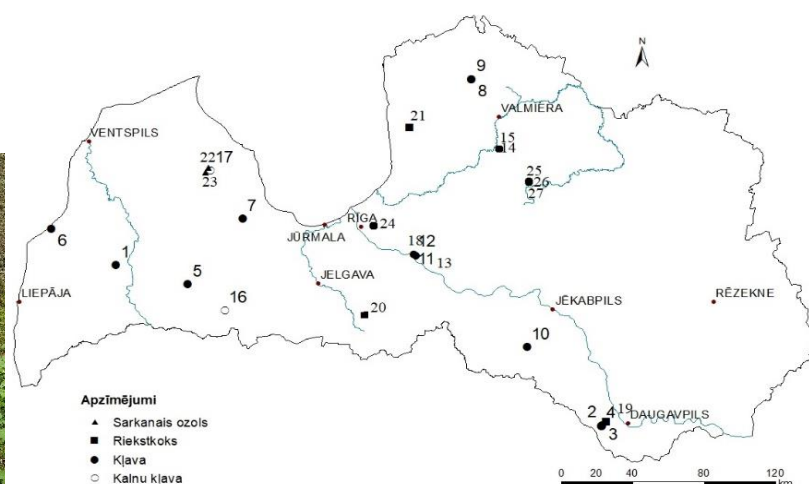
Saskaņā ar plānoto, veikta iepriekšējos gados ierīkoto pētījuma objektu apsekošana (objektu saraksts pētījuma 1. etapa pārskatā) un sadarbībā ar MPS organizēti šo objektu uzturēšanai svarīgie darbi (žogu labošana, kopšana, marķējuma atjaunošana u.tml.).

Papildus apsekots arī 2021. gadā (pētījuma 1. etapā) ierīkots dižskābarža stādījums MPS Jelgavas MN 83. kvartāla 13. nogabalā, kurā iestādīti viengadīgi dižskābarža ietvarstādi, viengadīgi kailsakņu stādi un līdzīgu dimensiju mežeņi no MPS Šķēdes MN dižskābarža atlasītajām audzēm. Jelgavas MN 59. kvartāla 10. nogabalā ierīkots jauns dižskābaržu un priežu mistrojuma stādījums. Papildus ierīkoti, apsekoti un kopti 2 stādījumi MPS Jelgavas MN: vienā platībā ietverot sitkas egles, duglāzijas un baltegles, otrā dižskābardi.

1.3. Platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējums

Mērķis: papildināt zināšanas par platlapju koku sugu audzēšanas iespējām, sagatavojot uz ilgtermiņa pētījumu objektu datiem balstītu to piemistrojuma novērtējumu

Platlapju piemistrojama audzēšanai nozīmīgi raksturot šo koku sugu pašsējas (dabiskās atjaunošanās) sekmes un augšanas gaitu. Šim mērķim pētījumā tiek atkārtoti pārmērīti monitoringa parauglaukumi platlapju audzēs. Saskaņā ar plānoto, šajā etapā pārmērījumi veikti 10 kļavu audzēs (1.3.1. attēls.).



1.3.1. attēls. Ilglaicīgie pētījumu objekti kļavu (uzmērīti 2024. gadā) un citu koku sugu (uzmērāmi 2025. gadā) audzēs.

Visos objektos, atbilstoši pirmā etapa pārskatā aprakstītajai metodikai, atjaunots koku numuru krāsojums, kā arī marķēti papildus koki, kas sasnieguši atbilstošus parametrus. Visiem kokiem nomērīts caurmērs un augstums, kā arī pārbaudīts attālums no centra un azimuts, raksturots vainagu stāvoklis (1.3.1. tabula). Parauglaukumos novērtēta arī veģetācija, uzskaitīts pamežs, kā arī uzmērītas kritālas un novērtēta to sadalīšanās pakāpe.

Detalizēta mērījumu rezultātu analīze, salīdzinot ar iepriekšējo monitoringa posmu datiem, kā arī vērtējot valdošās sugas un audzes parametru ietekmi, plānota pētījuma noslēdzošajā etapā.

1.3.1. tabula

Pārmērīto kļavu audžu taksācijas rādītāji

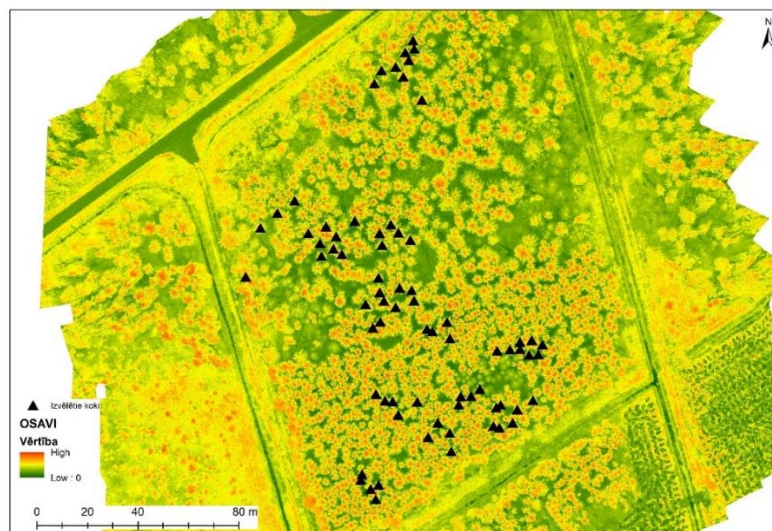
Nr.	1. stāvs						Atmirums, m ³ ha ⁻¹			
	Audzes sastāvs	D, cm	H, m	G, m ² ha ⁻¹	M, m ³ ha ⁻¹	N, gab ha ⁻¹	Kritālas	Stumbeņi	Sausokņi	Kopā
1	9P1K	45,5	30,2	34,5	463,5	212	69,3	58,7	0,0	128,1
2	10L + Oz	68,6	35,9	68,0	1103,9	184	1,3	0,3	4,0	5,6
3	7K2E1Oz + B,Os	32,7	28,8	32,0	420,6	382	93,0	0,2	28,1	121,4
4	7E2P1K	47,2	34,2	39,5	599,8	226	49,7	0,7	1,1	51,5
5	8P1E1L	51,0	26,1	28,9	330,2	141	0,0	0,0	14,4	14,4
6	9K1Os	27,3	23,4	20,6	227,9	354	0,0	0,0	3,8	3,8
7	10P + K	52,8	30,2	30,9	414,3	141	0,0	0,0	0,0	0,0
8	8K1Os1Oz + A,Ba,BI	17,4	22,1	34,5	362,4	1457	5,3	0,0	10,1	15,4
9	9P1B	36,5	34,1	54,7	831,9	523	3,1	1,6	76,1	80,8
10	4K3Os2L1E	51,2	29,1	29,1	384,0	141	37,4	2,1	28,3	67,8

2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā

2.1. Vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai

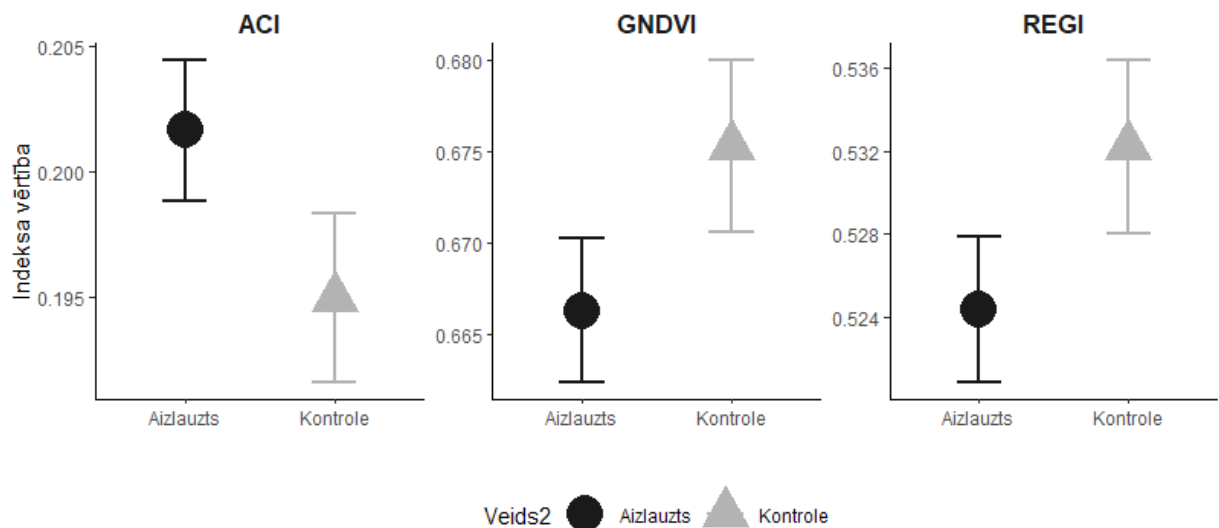
Mērķis: izstrādāt rekomendācijas vēja bojājumu mazināšanai.

Pētījuma uzdevuma ietvaros turpināta primārās lūšanas ietekmes uz koku noturību un vitalitāti vērtēšana. Ierīkotas jaunas koku noturības pārbaudes MPS Kalsnavas MN 148. kvartāla 1. un 66. nogabalos. Tajās kopumā ietverti 100 egles, no kurām 35 netika ietekmētas (kontroles kopa), savukārt 65 ietekmētas (aizlauztas) – veikta to vilkšana līdz primārai lūšanai, mērot noturību (2.1.1. attēls). Noturības dati tiks izmantoti analīzēm pētījuma noslēguma etapā. Šajā pētījuma etapā ar bezpilota lidaparātu “DJI P4” iegūti kokaudzes vainagu klāja multispektrālie attēli pirms primārās lūšanas testiem un veģetācijas sezonas ietvaros. Tie apstrādāti ar datorprogrammu “Agisoft Metashape” un atsevišķi katrai audzei un sezonai izveidota 5 joslu ortomozaīka. Pamatojoties uz apstrādātajiem attēliem, līdzīgi kā iepriekš (metodiku skatīt 3. etapa pārskatā), aprēķināti vitalitāti raksturojošie indeksi un noskaidrots, ar kuriem iespējams identificēt koka stresa reakciju.



2.1.1. attēls. Statiskās vilkšanas testiem atlasīto koku izvietojums MPS Kalsnavas MN 148. kvartāla 1. un 66. nogabalos.

Konstatēts, ka veģetācijas indeksi, kas iegūti no multispektrālajiem attēliem, var būt noderīgi sākotnējās stresa reakcijas identificēšanai. No vairāk nekā 80 aprēķinātajiem indeksiem, statistiski būtiskas atšķirības starp aizlauztiem un kontroles kokiem tika konstatētas ACI (*Antocianīna satura indekss*), GNDVI (*Zaļās normalizētās atšķirības veģetācijas indekss*) un REGI (*Sarkanās malas zaļais indekss*) indeksiem (2.1.2. attēls). Aizlauztajiem kokiem ACI vērtības bija augstākas, nekā kontroles kokiem, attiecīgi $0,202 \pm 0,003$ un $0,195 \pm 0,003$. GNDVI vidējā vērtība kontroles kokiem bija statistiski būtiski ($p < 0,05$) augstāka nekā aizlauztiem kokiem, attiecīgi $0,67 \pm 0,004$ un $0,68 \pm 0,004$. Aizlauztajiem kokiem REGI vidējā vērtība bija $0,52 \pm 0,004$, kas bija būtiski zemāka, nekā tika konstatēts kontroles kokiem $0,53 \pm 0,004$.



2.1.2. attēls. Indeksu vērtības aizlauztiem (vilkti līdz primārajai lūšanai) un neietekmētiem (kontroles) kokiem.

Kopsavilkums.

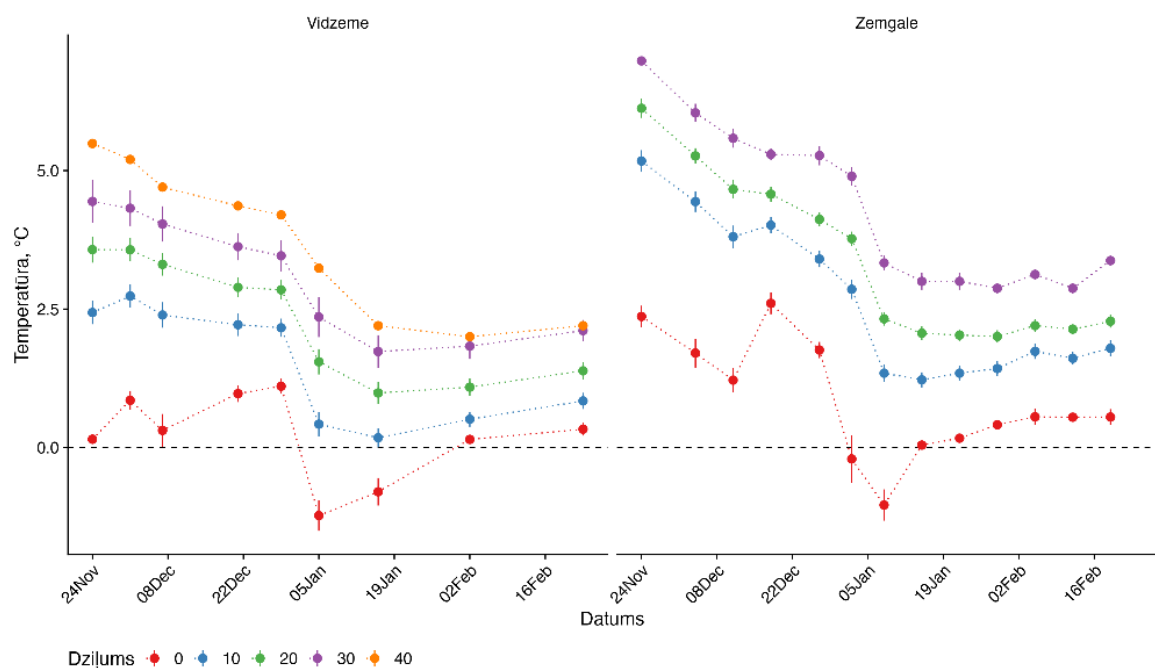
Kokus ar primāro bojājumu no attālās izpētes datiem veģetācijas perioda beigās bija iespējams identificēt ar trīs veģetācijas indeksiem: ACI, GNDVI, REGI. ACI bija augstāks aizlauztajiem kokiem. Iespējams, ka tas saistīts ar antocianīnu pastiprinātu izdalīšanos stresa ietekmē. Zemākas GNDVI un REGI vērtības aizlauztajiem kokiem varētu būt saistītas ar iespējamu fotosintēzes samazināšanos bojājuma (kavētas sulu plūsmas) ietekmē. Lai precīzāk raksturotu konstatēto atšķirību cēloņus, paredzēts veikt skuju paraugu sastāva izpēti, nosakot hlorofila, karotinoīdu u.c. komponentu koncentrāciju.

Turpināts darbs pie iepriekšējā etapā sagatavotā manuskripta, veicot papildus analīzes, labojumus saskaņā ar recenzentu un līdzautoru ieteikumiem un nodrošināta publicēšana: Seipulis A., Gardiner B., Peltola H., Nicoll B., Rust S., Matisons R., Elferts D., Krišāns O., Jansons Ā (2024) Geographic variation in resistance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to wind loading across different wind environments in Europe. *Forest Ecology and Management*, 571, 122237, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122237>.

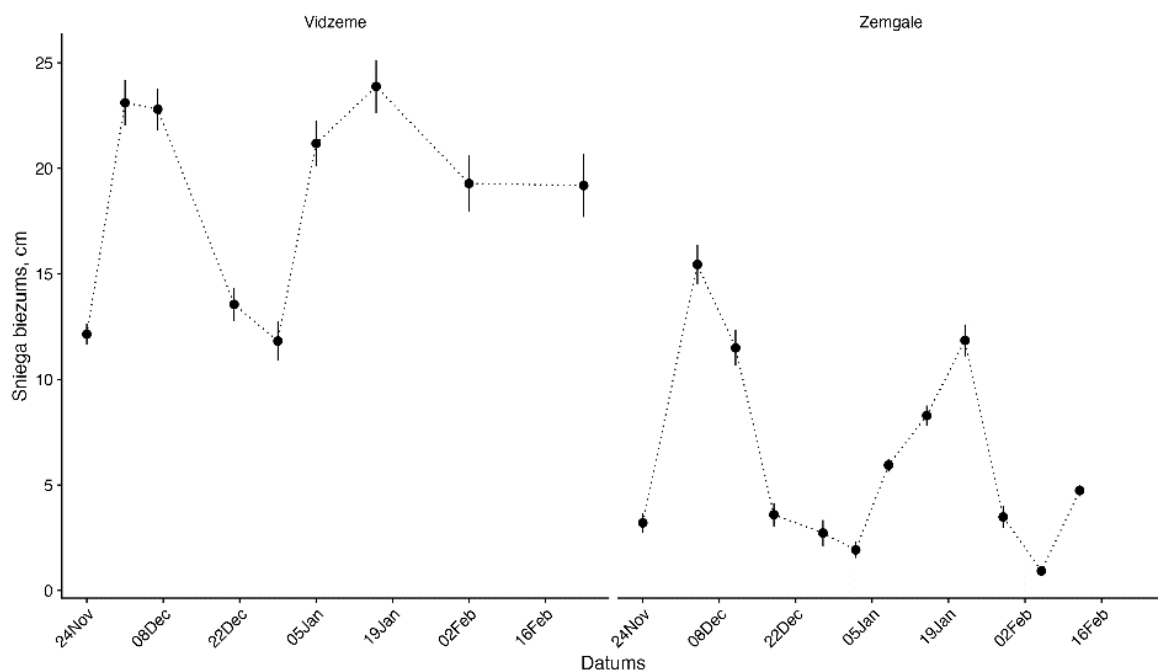
2.4. Modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem

Mērķis: Latvijas apstākļiem adaptēt modeļus augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.

Sniega segas un augsnes sasaluma regulāri mērījumi veikti atbilstoši iepriekšējos etapos (skat. 2. un 3. etapa pārskatu) aprakstītai un saskaņotai metodikai. 2023.-2024. gada ziemā gan MPS Taurenē, gan Jelgavas MN ir novērota pastāvīga sniega sega, kuras ietekmē abās vietās nav fiksēta pastāvīga augsnes sasaluma izveidošanās dziļumā līdz 10 cm, izņemot atsevišķus gadījumus janvāra otrajā pusē MPS Taurenē MN (2.4.1. un 2.4.2. attēli). Papildus sasalumu kavējošos faktos bija augsts gruntsūdens līmenis un nokrišņi lietūs formā (2.4.3. attēls).



2.4.1. attēls. Augsnes temperatūras izmaiņas MPS Taurenes un Jelgavas MN 2023.-2024. gada ziemā.

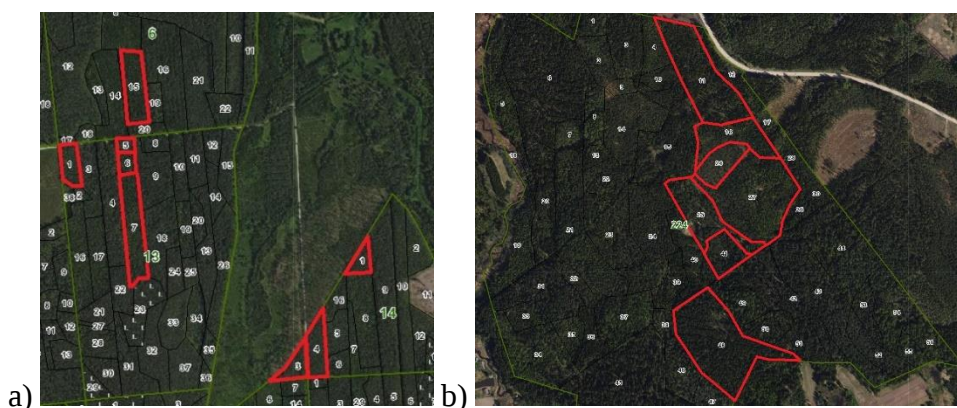


2.4.2. attēls. Sniega segas biezuma izmaiņas MPS Taurenes un Jelgavas MN 2023.-2024. gada ziemā.



2.4.3. attēls. Iepriekšējā atkusnī applūdis parauglaukums bērzu mežaudzē slapjajā vērī MPS Taurenē MN.

Pēc 2023.-2024. gada ziemas sezonas augsnes temperatūras novērojumiem secināts, ka nākamajā (2024.-2025. gada ziemas) novērojumu sezonā ir nepieciešams papildus veikt arī augsnes mitruma satura mērījumus. Šim nolūkam tiks izmantotas papildus mērierīces, kas būs izvietotas jau esošajos un no jauna ierīkotajos parauglaukumos MPS Jelgavas un Taurenē MN. Jaunu parauglaukumu ierīkošana bija nepieciešama, lai aizstātu gan 2023.-2024. gada snieglauzē (MPS Taurenē MN) un 2024. gada vasaras ciklonā (MPS Jelgavas MN) bojātās audzes (2.4.3. un 2.4.4. attēli).



2.4.4. attēls. Nogabali MPS Jelgavas (a) un Taurenē MN (b), kuros ierīkoti sniega segas novērojumu parauglaukumi 2024.-2025. gada sezonai.

Arī 2024.-2025. gada ziemas sezonā katrā parauglaukumā tiks veikti septiņi sniega segas biezuma mērījumi – vainagu klāja atvērumā, kā arī zem trīs paraugkoku vainagiem un to projekciju malās ar pastāvīgām mērlatām atzīmētos punktos, kas izkārtoti uz transekta virzienā no paraugkoka uz vainagu klāja atvērumu (2.4.5. attēls). Tāpat tiks veikti mērījumi uz atklāta lauka mežaudžu tuvumā kontroles datu iegūšanai.



2.4.5. attēls. Sniega segas mērījumiem sagatavots parauglaukums: mērlatu izvietojums attiecībā pret paraugkoku.

Atšķirībā no iepriekšējās (2023.-2024. gada ziemas) sezonas, augsnes temperatūras izmaiņas un attiecīgi arī augsnes sasaluma izveidošanās (ar temperatūras sensoriem; datu ielasīšana reizi trijās stundās) netiks veikta no sniega attīrītos mērījumu punktos, jo tajos nav iespējams ilgtermiņā nodrošināt no sniega un ledus brīvu augsnes virskārtu (2.4.6. attēls). Tāpat ir plānots turpmāk neveikt mērījumus 30 cm dziļumā, kur ir zema iespējamība fiksēt augsnes sasalumu. Augsnes temperatūras un mitruma mērījumi tiks veikti vienīgi 10 cm dziļumā mērījumu punktos ar zemsedzi, ņemot vērā iepriekšējā sezonā novēroto vājo sala un zemsedzes ietekmi augsnes temperatūru dziļākos slāņos (virs 10 cm). Papildus tiks veikti augsnes mitruma mērījumi 10 cm dziļumā, lai pilnvērtīgāk raksturotu augsnes temperatūras izmaiņas un sasaluma veidošanos slapjainos.



2.4.6. attēls. Augsnes temperatūras mērījumu punkti “No sniega ATTĪRĪTS AR zemsedzi” un “No sniega ATTĪRĪTS BEZ zemsedzes” egļu mežaudzē slapjajā damaksnī MPS Taurenē MN 2023.-2024. gada ziemas sezonā.

2.7. Selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību

Mērķis: raksturot augsnes sagatavošanas veida ilgtermiņa ietekmi uz koku vēja noturību.

Pētījuma etapā saskaņā ar plānu papildināta iepriekš ievāktā statistiskās vilkšanas testu datu kopa, veicot darbus 6 audzēs. Ievāktie dati analizēti kopā ar iepriekš (skat pētījuma 3. etapa pārskatu) ievāktajiem, izmantojot vispārinātiem lineāriem jauktu efektu modeļiem, kur kā

dimensiju kovariante izmantots koku augšanu vispusīgi raksturojošais parametrs – stumbra tilpums (V_{STUMBR}). Tas nodrošināja ļoti augstu izskaidroto atkarīgo pazīmju – stumbra pamatnes lieces momentu pie primārās (BBM_{PL}) un sekundārās (BBM_{MAX}) lūšanas, īpatsvaru (94 un 96 %) (2.7.1. tabula). Zemāks modeļa izskaidroto pazīmju īpatsvars bija BBM_{PL} un BBM_{MAX} starpībai (BBM_{DIF}) – 37 līdz 44 %. Audzes kā faktora ietekme uz BBM_{DIF} bija 11% (ICC; 2.7.1. tabula).

BBM_{PL} raksturo koku noturību pret koksnes audu kompresijas deformāciju stumbrā un/vai saknēs. Lai arī pēc šāda bojājuma koki ir spējīgi atjaunoties, tomēr to vitalitāte un stabilitāte var būt pazemināta (skat. analīzi šī pārskata 2.1. nodaļā), kas var veicināt koku novājināšanos, paaugstinot to uzņēmību pret sekundārajiem bojājumiem (Detter et al., 2015). Liekšanas spēkam saglabājoties vai palielinoties, pēc BBM_{PL} izveidošanās var sekot BBM_{MAX} , kas ir pilnīga koku nolūšana vai izgāšanās ar saknēm, un raksturo koku maksimālās noturības līmeni (Detter & Rust, 2013). BBM_{DIF} raksturo līdz pilnīgai bojāejai atlikušo koka noturības kapacitāti pēc BBM_{PL} iestāšanās.

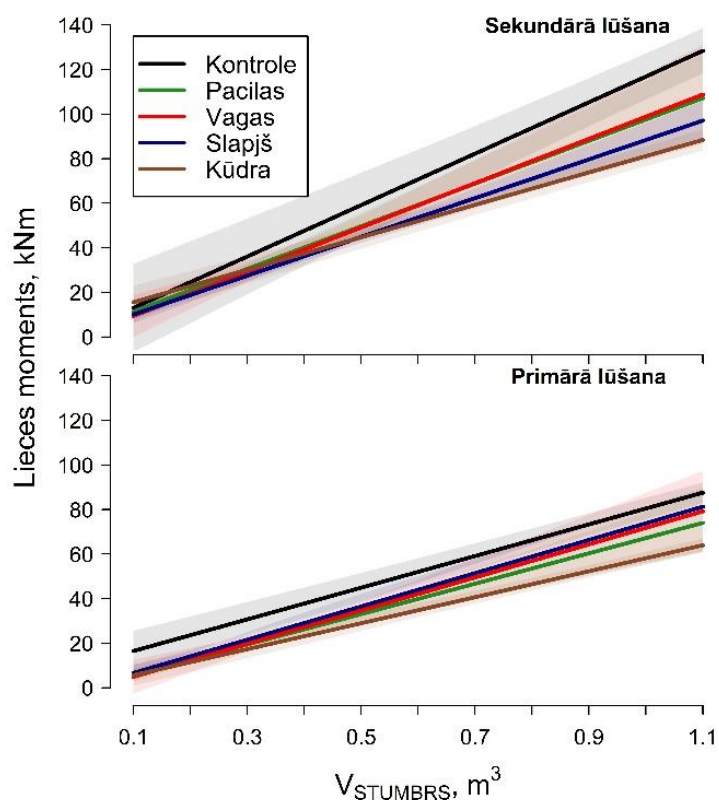
2.7.1. tabula.

Vispārinātu lineāru jauktu efektu modeļu dispersijas (χ^2) parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugkoku lieces momentiem pie primārās (BBM_{PL}) un sekundārās lūšanas (BBM_{MAX}), kā arī to starpībai (BBM_{DIF}) atkarībā no augsnes sagatavošanas veida.

	BBM_{PL}	BBM_{MAX}	BBM_{DIF}
<i>Fiksētie faktori</i>	χ^2	χ^2	χ^2
V_{STUMBR}	682.82*	612.66*	6.28*
<i>Augsne</i>	6.89	3.79	378.08*
$V_{STUMBR} : \textit{Augsne}$	14.64*	45.89*	21.31*
<i>Nejaušie (random) faktori</i>			
ICC_{Audze}	0.03	0.00	0.11
N_{Audzes}	21	21	21
N_{Koki}	128	128	128
R^2_M	0.96	0.94	0.37
R^2_K	0.96	0.94	0.44

Sagatavota minerālaugsne – pacilas (āreņos), vagas (sausieņos). Nesagatavota augsne – slapjš (slapjainos), kūdra (kūdreņos), kontrole (sausieņos). V_{STUMBR} – koka stumbra tilpums; $V_{STUMBR} \cdot D_{ziļums_{SAKNES}}$ – koka stumbra tilpuma un sakņu dziļuma attiecība; * – $p < 0.05$; ICC_{Audze} – randoma faktora (audzes) ietekmes īpatsvars uz modeļa atkarīgo pazīmi; N_{Audzes} – audžu skaits; N_{Audzes} – koku skaits; R^2_M – modeļa R^2 bez randoma faktora; R^2_K – modeļa R^2 ar randoma faktoru.

Analizētajā kopā līdzīgu dimensiju kokiem ir atšķirīga statiskās slodzes noturība (mehāniskā stabilitāte), liecinot par vērtēto faktoru mijiedarbības ietekmi (2.7.1. tabula un 2.7.1. attēls). Priežu, kas stādītas pacilās un vagās sagatavotā augsnē noturības ir tāda pati vai augstāk, nekā slapjainos un kūdreņos bez augsnes sagatavošanas augošajiem kokiem, Pētījuma noslēguma etapā plānota tālāka datu kopās papildināšana un gala secinājumu sagatavošana.



Sagatavota minerālaugsne – pacilas (āreņos), vagas (sausieņos). Nesagatavota augsne – slapjš (slapjainos), kūdra (kūdreņos), kontrole (sausieņos).

2.7.1. attēls. Parastās priedes (*Pinus sylvestris* L.) paraugoku noturība pret primāro un sekundāro lūšanu atkarībā no augsnes sagatavošanas veida.

2.7.2. tabula

Lieces momentu pie primārās (BBM_{PL}) un sekundārās lūšanas (BBM_{MAX}), kā arī to starpības (BBM_{DIF}) un koka stumbra tilpuma sakarības starp paraugkopām atkarībā no augsnes apstākļiem.

BBM_{MAX}

Paraugkopa	EMT	SE	df	LCI	UCI	Grupa
Kūdra	72.80	4.38	30.2	63.90	81.80	a
Slapjš	87.00	18.76	75.3	49.70	124.40	ab
Pacilas	95.80	36.71	96.4	23.00	168.70	ab
Vagas	99.50	26.55	93.3	46.70	152.20	ab
Kontrolē	115.40	4.75	16.4	105.40	125.50	b

BBM_{PL}

Paraugkopa	EMT	SE	df	LCI	UCI	Grupa
Kūdra	58.20	2.52	32.4	53.10	63.30	a
Slapjš	75.30	10.40	85.0	54.60	96.00	ab
Pacilas	68.60	19.90	95.3	29.10	108.10	ab
Vagas	74.20	14.38	92.7	45.60	102.70	ab
Kontrolē	71.30	2.78	16.8	65.50	77.20	b

BBM_{DIF}

Paraugkopa	EMT	SE	df	LCI	UCI	Grupa
Kūdra	-5.31	2.65	40.7	-10.70	0.05	a
Slapjš	-19.57	10.19	100.5	-39.80	0.65	ab
Pacilas	-46.06	18.79	93.7	-83.40	-8.75	a
Vagas	-15.61	13.56	91.8	-42.50	11.33	ab
Kontrole	7.57	3.09	18.3	1.10	14.05	b

Sagatavota minerālaugsne – pacilas (āreņos), vagas (sausieņos). Nesagatavota augsne – slapjš (slapjainos), kūdra (kūdreņos), kontrole (sausieņos). *EMT* – aprēķinātā vidējā vērtība; *SE* – standartklūda; *df* – brīvības pakāpju skaits; *LCL* – 95% ticamības intervāla apakšējā robeža; *UCL* – 95% ticamības intervāla augšējā robeža; *Grupa* (vienādie burti) norāda uz līdzībām starp paraugkopām, kas identificētās ar *Tukey's* testu.

Literatūra.

1. Detter, A., Rust, S. 2013. Aktuelle Untersuchungsergebnisse zu Zugversuchen. Jahrbuch der Baumpflege, 87-100.
2. Detter, A., Richter, K., Rust, C., Rust, S. 2015. Aktuelle Untersuchungen zum Primärversagen von grünem Holz—Current studies on primary failure in green wood. In Proceedings of the Conference Deutsche Baumpflegetag (pp. 156–167). Augsburg, Germany.

2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi

Mērķis: precizēt ugunsbīstamības izmaiņu modeļus Latvijas apstākļiem.

Ugunsgrēku izcelšanās meteoroloģiskie apstākļi.

Ugunsgrēku izcelšanās meteoroloģisko apstākļu raksturošanai izmantots Copernicus datu bāzē pieejamā informācija par Kanādas ugunsbīstamības indeksu (CFFWI) un tā komponentēm – FFMCI – *fine fuel moisture code* – smalkā degmateriāli mitruma kods, DMC – *duff moisture code* – augsnes organiskā slāņa mitruma kods, DC – *drought code* – sausuma kods, ISI – *initial spread index* – sākotnējās izplatīšanās indekss, BUI – *buildup index* – uzkrāšanās indekss, FWI – *fire weather index* – ugunsgrēka laika apstākļu indekss. Lejuplādēta informācija par 2018.-2022.g. laika posmā no 1.marta līdz 31.oktobrim. Faktiskie ugunsgrēku izcelšanās datumi un to poligonu koordinātes periodā 2018. – 2022. gads iegūti no VMD.

Katram reģistrētā ugunsgrēka poligonam QGIS3.34. ģenerēts centroīda punkts un aprēķināts izcelšanās datuma attiecīgā CFFWI komponentes vērtība. CFFWI komponentu vērtības kodētas atbilstoši 2.81.tabulai

2.8.1.tabula.

Kanādas uguns laika apstākļu indeksa un tā komponentu vērtību skala

Ugunsbīstamības klase	FWI	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI
Zema (1)	< 11,2	< 82,7	< 15,7	< 256,1	< 3,2	< 24,2
Vidēja (2)	11,2 - 21,3	82,7 - 86,1	15,7 - 27,9	256,1 - 334,1	3,2 - 5,0	24,2 - 40,7
Augsta (3)	21,3 - 38,0	86,1 - 89,2	27,9 - 53,1	334,1 - 450,6	5,0 - 7,5	40,7 - 73,3
Ļoti augsta (4)	38,0 - 50,0	89,2 - 93,0	53,1 - 83,6	450,6 - 600,0	7,5 - 13,4	73,3 - 133,1
Ekstrēma (5)	50,0 - 70,0	93,0 - 96,0	83,6 - 160,7	600,0 - 749,4	13,4 - 26,8	133,1 - 193,1
Ļoti ekstrēma (6)	> 70,0	> 96,0	> 160,7	> 749,4	> 26,8	> 193,1

Indeksu saīsinājums skat. tekstā

Ugunsgrēka laika apstākļu indeksa FWI klases un ugunsgrēku izcelšanās sakarības atspoguļotas 2.8.2 tabulā. Laika periodā no 1.marta līdz 31.oktobrim 85 % dienu atbilda zema ugunsbīstamībai. Šajās dienās izcēlās 53% no ugunsgrēkiem. Savukārt augstai ugunsbīstamībai atbilda 3% dienu, taču tajās izcēlās 13.5% ugunsgrēku, t.i., šajās dienās ugunsgrēki izceļas 6,7 reizes biežāk, nekā zemas ugunsbīstamības apstākļos. Mērenas ugunsbīstamības apstākļos ugunsgrēki izceļas 4,2 reizes biežāk, nekā zemas ugunsbīstamības apstākļos.

2.8.2.tabula.

Ugunsgrēka laika apstākļu indeksa FWI klases un ugunsgrēku izcelšanās

FWI klase	Ugunsgrēku skaits	Ugunsgrēku platība	Vidējā FWI vērtība	Ugunsgrēku īpatsvars	Dienų īpatsvars no 1III-31X
1	1884	1269,4	5,70	0,534	0,847
2	1140	2906,1	15,23	0,323	0,121
3	477	526,9	26,12	0,135	0,032
4	24	24,3	41,81	0,007	0,001
5	1	0,0	50,22	0,000	0,000
Kopā	3526	4726,7	11,96		

Smalkā degmateriāla mitruma koda (FFMC) klases un ugunsgrēku izcelšanās sakarības atspoguļotas 2.8.3 tabulā. Laika periodā no 1.marta līdz 31.oktobrim 67 % dienu atbilda zema ugunsbīstamībai. Šajās dienās izcēlās 27% no ugunsgrēkiem. Savukārt augstai ugunsbīstamībai atbilda 13% dienu, taču tajās izcēlās 34% ugunsgrēku, t.i., šajās dienās ugunsgrēki izceļas 6,3 reizes biežāk, nekā zemas ugunsbīstamības apstākļos.

Sausuma koda (DC) klases un ugunsgrēku izcelšanās sakarības atspoguļotas 2.8.4 tabulā. Laika periodā no 1.marta līdz 31.oktobrim 64 % dienu atbilda zema sausuma koda klasei. Šajās dienās izcēlās 65% no ugunsgrēkiem. Savukārt augstai ugunsbīstamībai atbilda 13% dienu, taču tajās izcēlās 13% ugunsgrēku, t.i., šajās dienās izceļas tikpat bieži ugunsgrēki nekā zemas DC klases apstākļos. Tas apstiprina, ka ugunsgrēku izcelšanās ir saistīta ar augšējo (smalko) degmateriālu mitruma stāvokli (FFMC), bet nevis ar to, cik dziļi ir izžuvusi augsne.

2.8.3. tabula

Smalkā degmateriāla mitruma koda FFMC klases un ugunsgrēku izcelšanās

FFMC klase	Ugunsgrēku skaits	Ugunsgrēku platība	Vidējā FFMC vērtība	Ugunsgrēku īpatsvars	Dienų īpatsvars no 1III-31X
1	964	520,7	71,3	0,273	0,671
2	707	323,2	84,6	0,201	0,151
3	1213	3170,9	87,7	0,344	0,135
4	642	712,0	90,5	0,182	0,043
5	0	0	0	0	0
Kopā	3526	4726,7	83,4	1	1

Sausuma koda klases DC un ugunsgrēku izcelšanās

DC klase	Ugunsgrēku skaits	Ugunsgrēku platība	Vidējā DC vērtība	Ugunsgrēku īpatsvars	Dienų īpatsvars no 1III-31X
1	2308	2392,0	126,2	0,655	0,640
2	530	279,4	291,7	0,150	0,188
3	472	1945,0	384,2	0,134	0,128
4	215	110,4	497,1	0,061	0,044
5	1	0,0	602,0	0,000	0,000
Kopā	3526	4726,7	83,4	1	1

Bojājuma pakāpe atkarībā no FWI klases

Aprēķiniem izmantoti informācija par VMD reģistrētajiem ugunsgrēkiem 2018.-2022. gadā, kuru platība ir lielāka par 1 ha. Katram ugunsgrēkam noteikts CWFI vērtības ugunsgrēka izcelšanās dienā. Datorprogrammā QGIS 3.34 lejuplādēti .tif katram Sentinel 2 attēlam, kurš no 2017. līdz 2024. gadam iegūts virs Latvijas teritorijas laika posmā no 15.maija līdz 31.augustam, un kurā mākoņainums ir mazāks par 15%. Noteiktas normalizētā deguma indeksa (NBR) vērtības. No apstrādātajiem attēliem izveidota mozaīka, izmantojot rīku *mosaicking*, un katram pikselim izvēloties maksimālo vērtību. Pēc tam katram deguma poligonam aprēķinātas vidējās NBR, un NBR difference (DNBR), izmantojot *zonal statistics* rīku, pēc formulām:

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR2}) / (\text{NIR} + \text{SWIR2}) \quad (2.1.)$$

$$\text{DNBR} = \text{pirms deguma NBR} - \text{pēc deguma NBR} \quad (2.2.)$$

DNBR vērtības aprēķinātas izmantojot NBR vērtību gadu pirms ugunsgrēka un NBR vērtību 1, 2, 3, 4 gadus pēc ugunsgrēka.

Teritorijās, kur degšanas brīdī bijusi zema, vidēja vai augsta FWI vērtība, gadu pēc ugunsgrēka vērojama nenožīmīgas izmaiņas NBR vērtībās (DNBR robežās no -100 līdz +99), savukārt, ja FWI vērtība ir bijusi ļoti augsta, tad gadu pēc ugunsgrēka kopumā konstatēta zema smaguma bojājumi (DNBR no +100 līdz +269). Neatkarīgi no FWI divus gadus un vairāk gadus pēc ugunsgrēka visos degumos konstatēta zema bojājumu pakāpe.

Degumu NBR vērtību vidējās starpības atkarībā no ugunsgrēka FWI vērtības.

FWI klase	N	Vidējais no n-1+1	Vidējais no n-1+2	Vidējais no n-1+3	Vidējais no n-1+4	Vidējais no n-1+5
1	220	78	132	174	216	218
2	223	78	137	190	235	220
3	81	81	125	165	233	248
4	10	168	136	252	231	184
Kopā	534	80	133	180	226	223

Ugunsgrēku riska raksturošanas komponentu pielāgošana Latvijas apstākļiem.

Komponentu lokālai adaptācijai iespējams izmantot Vienotā pētījumu centra pieeju *Pan-European wildfire risk assessment*. Analizētas tās komponentes, kas attiecas uz ugunsgrēka izcelšanās varbūtību un potenciālo uguns uzvedību – degmateriālu tiem, degmateriālu mitrumu, nogāžu raksturojumu. Salīdzināti Paneiropas un nacionālā līmeņa pieejamie informācijas avoti. Praktiskai lietošanai (modelēšanai) piedāvāts izmantot alternatīvus informācijas avotus ar detālāku izšķirtspēju.

I Degmateriāls / veģetācijas tipi (*Fuel/vegetation Types*). Latvijā Mežaudžu un izcirtumu iedalījums ugunsbīstamības klasēs pēc tiem noteikts MK noteikumos #238 (2016.g.19.aprīlis). Tas paredz mežaudzes un izcirtumus iedalīt 3 klasēs – augsta ugunsbīstamība, vidēja ugunsbīstamība un zema ugunsbīstamība. Iedalījumā nosaka meža tips, mežaudzes vecums, koku sugu grupa (skuju koki vai lapu koki). Eiropā tiek izmantotas vairākas degmateriālu/veģetācijas tipu klasifikācijas:

- 1) Eiropas degmateriālu karte (EFFIS, 2017), kuru veido 42 sākotnējie degmateriālu veidi, kas organizēti 9 grupās (zālāji, krūmāji, krūmāju / mežu pārējas josla, skuju koku meži, lapu koku meži, jaukti meži, ūdens veģetācija, agromežsaimniecības platības un purvi), kas tālāk iedalīti 13 degmateriālu modeļos. Karte ir publiski pieejama, tā veidota ar pikseļu izmēru 250x250m.
- 2) CorineLandcover kartes: pikseļa izmērs 25 ha;
- 3) FireEURisk pieeja, kur veģetācija tiek klasificēta, izmantojot dažādas Eiropas līmeņa kartes. Publiski pieejamā karte ir ar pikseļa izmēru 1 km². Klasifikācijas, kas izmantota FirEURisk (Aragoneses et al., 2023), adaptācija Latvijai iekļauta 2.8.6.tabulā.

2.8.6.tabula.

FireEURiks degmateriālu tipu adaptācija Latvijai

FirEURisk degmateriālu tipi		Atbilstošie degmateriālu tipi Latvijā
Kods	Apraksts	Apraksts
1111	Open broadleaf evergreen forest	-
1112	Closed broadleaf evergreen forest	-
1121	Open broadleaf deciduous forest	MVR BIEZ<7, lapu koki (MVR kodi)>7, H10>2
1122	Closed broadleaf deciduous forest	MVR BIEZ 7=<, lapu koki (MVR kodi)>7, H10>2
1211	Open needleleaf evergreen forest	MVR BIEZ<7, skuju koki (MVR kodi)>7, H10>2
1212	Closed needleleaf evergreen forest	MVR BIEZ 7=<, skuju koki (MVR kodi)>7, H10>2
1221	Open needleleaf deciduous forest	-
1222	Closed needleleaf deciduous forest	-
1301	Open mixed forest	MVR BIEZ<7, lapu koki (MVR kodi) 3-7, H10>2
1302	Closed mixed forest	MVR BIEZ 7=<, lapu koki (MVR kodi) 3-7, H10>2
21	Low shrubland [0–0.5 m)	MVR ZKAT14, Oligotrofi meži,
22	Medium shrubland [0.5–1.5 m)	MVR ZKAT14 Mezotrofi meži,
23	High shrubland [≥1.5 m)	MVR ZKAT14 Eitrofi meži, Topo 16 - krūmāji
31	Low grassland [0–0.3 m)	-
32	Medium grassland [0.3–0.7 m)	LAD – Zālāji

33	High grassland [≥ 0.7 m)	-
41	Herbaceous cropland	LAD – Rušināmās kultūras
42	Woody cropland	LAD – Augļu koki un augļu krūmi
51	Wet and peat/semi-peat land – tree	Topo 16 – Purvi, augstie
52	Wet and peat/semi-peat land – shrubland	Topo16 – Purvi, pārejas
53	Wet and peat/semi-peat land – grassland	Topo 16 – Purvi, zemie
61	Urban continuous fabric	Topo 16 – Apbūve, ceļi $\geq 80\%$
62	Urban discontinuous fabric	Topo 16 – Apbūve 15-80%
7	Nonfuel	Topo 16 – Ūdeņi, smiltāji, karjeri

MVR- meža valsts reģistrs, LAD – lauku karte, Topo16 -LĢIA topogrāfiskā karte. BIEZ – biežība, H10 – valdošās sugas augstums, ZKAT – zemes kategorija

II Topogrāfija. Latvijas apstākļiem topogrāfijas novērtējumam slīpuma un ekspozīcijas karte veidota, izmantojot LĢIA digitālā reljefa modeli ar soli starp punktiem 20 metri, no kura datorprogrammā SAGA_GIS aprēķināts slīpums grādos un ekspozīcijas grādos.

III Virszemes biomasa. Virszemes biomasa aprēķins veikts pikseļiem ar izmēru 100x100m, balstoties uz to centrā esošo mežaudze aprakstu pēc Meža valsts reģistra datiem un biomasas vienādojumiem (Liepiņš et al., 2018, Liepiņš et al., 2021).

III Koku vainagu klājums. Vainagu klājums noteikts pikseļiem ar izmēru 20x20m, balstot uz LĢIA LiDAR datiem.

IV Koku vainagu augstums. Koku augstums noteikts pikseļiem ar izmēru 100x100m, balstoties uz to centrā esošo mežaudze valdošās sugas vidējo augstumu pēc Meža valsts reģistra datiem.

V Koku vainagu sākuma augstums. Vainaga sākuma augstums tāpat aprēķināts pikseļiem ar izmēru 100x100m, balstoties uz to centrā esošo mežaudze aprakstu pēc Meža valsts reģistra datiem un sakarībām starp koku caurmēru, augstumu un vainaga sākuma augstumu:

$$H_{\text{vain sākuma augstums}} = H - H(a_1 * D^{a_2} * h^{a_3}), \quad (2.3)$$

kur

H – valdošās koku sugas vidējais augstums;

D valdošās koku sugas vidējais caurmērs;

a_1, a_2, a_3 koeficienti (2.8.7. tabula).

2.8.7.tabula.

Koeficienti vainaga sākuma augstumam aprēķināšanai

Koeficients	Koku suga							
	P	E	B	M	A	Ba	Oz	Os
a1	0,66493	0,719571	1,049264	1,085827	1,16906	0,949308	0,777077	0,962969
a2	0,492487	0,369533	0,453016	0,396181	0,433967	0,411976	0,262378	0,363651
a3	-0,69476	-0,39823	-0,68854	-0,69068	-0,71127	-0,64221	-0,36674	-0,6011

VI Vainagu klāja blīvums ir lapotnes biomasas pret vainagu klāja blīvumu. Šis rādītājs aprēķinu modelis pagaidām nav izveidots.

Tāpat komponentu lokālai adaptācijai iespējams izmantot Horizon 2020 pētījumā “FIRE-RES” definēto pieeju: 1) topogrāfijas novērtējumu (augstums virs jūras līmeņa, nogāžu slīpums, ekspozīcija), 2) virszemes biomasu 3) vainagu raksturojumu (vainagu klāja segumu%, vainagu augstumu, vainagu sākuma augstumu, vainagu klāja blīvumu), kā arī atbilstību Scott and Burgan, 2005 degmateriālu modelim. Atbilstoši tai sagatavotas kartes: 2.8.1.-2.8.4. attēli.

Latvijas teritorijas iedalījums atbilstoši Scott and Burgan, 2005 degmateriāla modeļa kategorijām noteikts šādi:

NB91 (91) Urban - kadastrs - apbūve, infrastruktūra

NB93 (93) Agriculture - lauku bloki LAD, lauki LAD)

NB99 ūdeņi TOPO2016

GR2 (102) - Low Load, Dry, Grass - LAD Zālāji+ augsnes karte, mitro vietu karte

GR3 (103) - Low Load, Humid, Grass - LAD Zālāji + augsnes karte, mitro vietu karte

GR4 (104) - Mod. Load, Dry, Grass - LAD Zālāji + augsnes karte, mitro vietu karte

GR6 (106) - Mod. Load, Humid, Grass - LAD Zālāji + augsnes karte, mitro vietu karte

GR7 (107) - High Load, Dry, Grass - LAD Zālāji + augsnes karte, mitro vietu karte

GR8 (108) - High Load, Very Coarse, Humid, Grass - LAD Zālāji + augsnes karte, mitro vietu karte

GR9 (109) - Very High Load, Humid Clim., Grass - LAD Zālāji + augsnes karte, mitro vietu karte

SH2 (142) - Mod. Load Dry – TOPO krūmāji + augsnes karte, mitro vietu karte+M<5

SH3 (143) - Mod. Load, Humid - TOPO krūmāji + augsnes karte, mitro vietu karte M<5

SH5 (145) - High Load, Dry TOPO - krūmāji + augsnes karte, mitro vietu karte M<5

SH7 (147) - Very High Load, Dry TOPO - krūmāji + augsnes karte, mitro vietu karte M<5

SH8 (148) - High Load, Humid TOPO- krūmāji + augsnes karte, mitro vietu karte M<5

SH9 (149) - Very High Load, Humid - TOPO krūmāji + augsnes karte, mitro vietu karte M<5

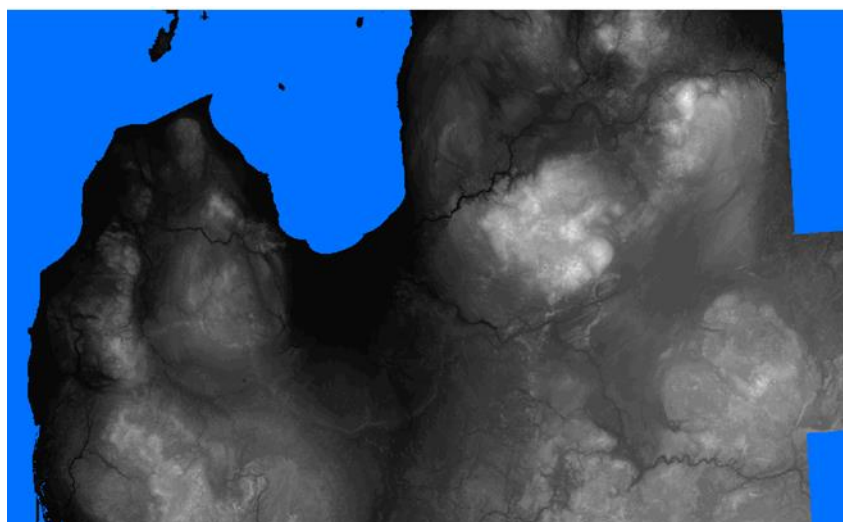
TU1 (161) - Low Load Dry - M5 slānis MVR MT, suga

TU2 (162) - Mod. Load, Humid - M5 slānis MVR MT, suga

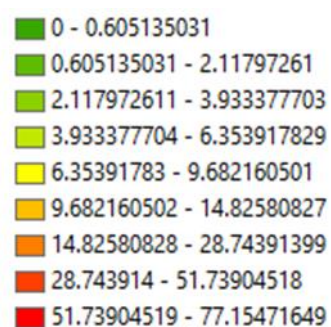
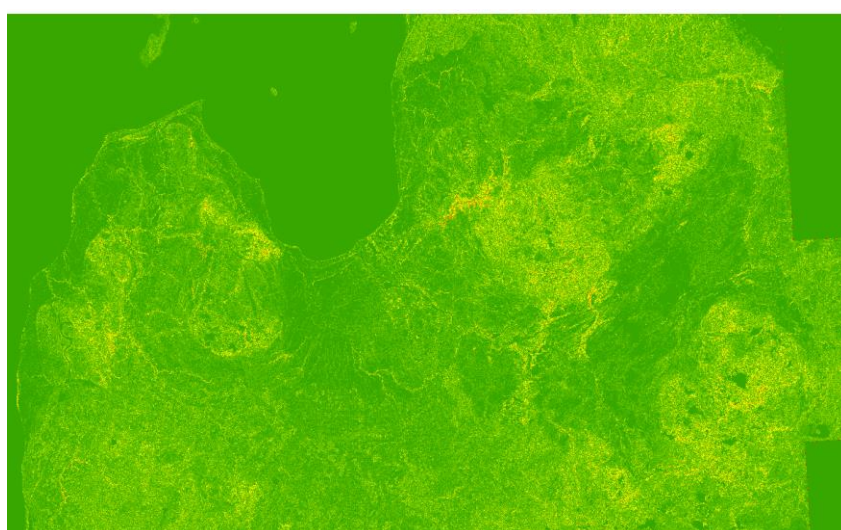
TU3 (163) - Mod. Load, Humid - M5 slānis MVR MT, suga

TU5 (165) - Very High Load, Dry - M5 slānis MVR MT, suga

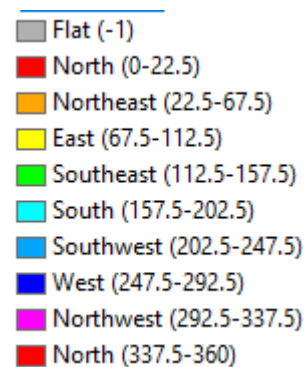
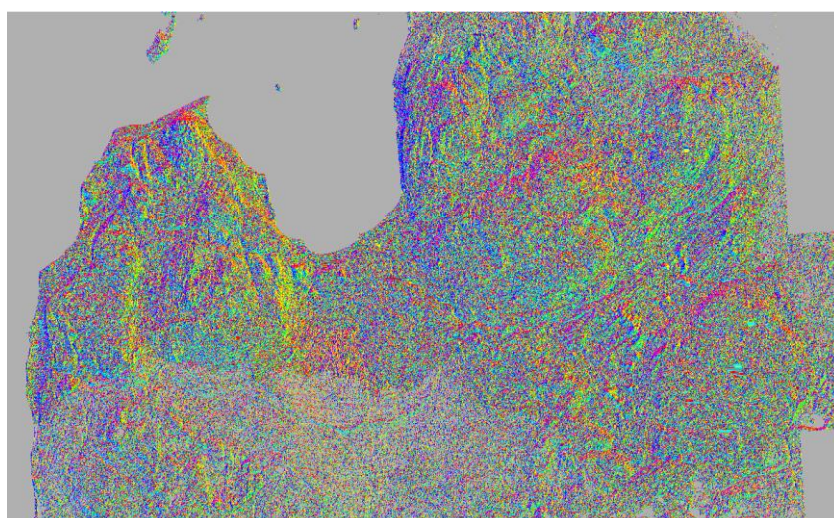
Etapā iegūtie rezultāti demonstrē, kā Latvija apstākļiem adaptējama precīzāka ugunsbīstamības klasifikācija, izmantojot vairākas atšķirīgas pieejas. Noslēguma etapā iespējam papildus analīze izvēlētajai pieejai.



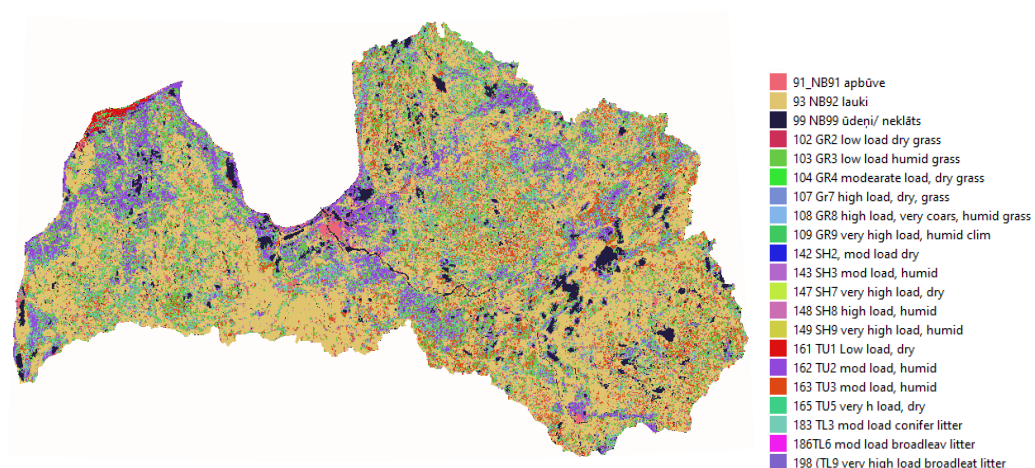
2.8.1. attēls. Augstums virs jūras līmeņa



2.8.2. attēls. Nogāzes slīpums



2.8.3. attēls. Ekspozīcija



2.8.4. attēls. Degmateriālu tipi pēc Scott and Burgan 2005 klasifikācijas.

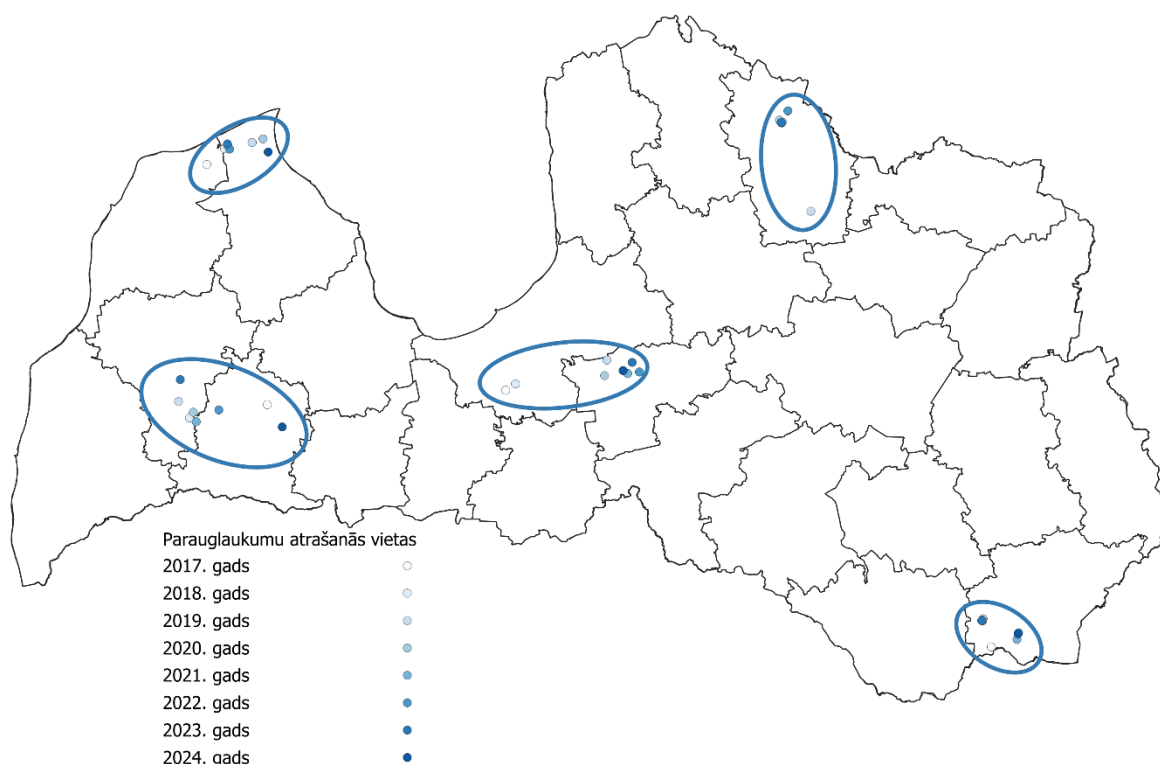
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā

3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi novērtējums

Mērķis: Sagatavot novērtējumu par klimata pārmaiņu ietekmi uz egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus*) attīstības cikla sākumu un tālāko dinamiku.

Pētījuma virzība.

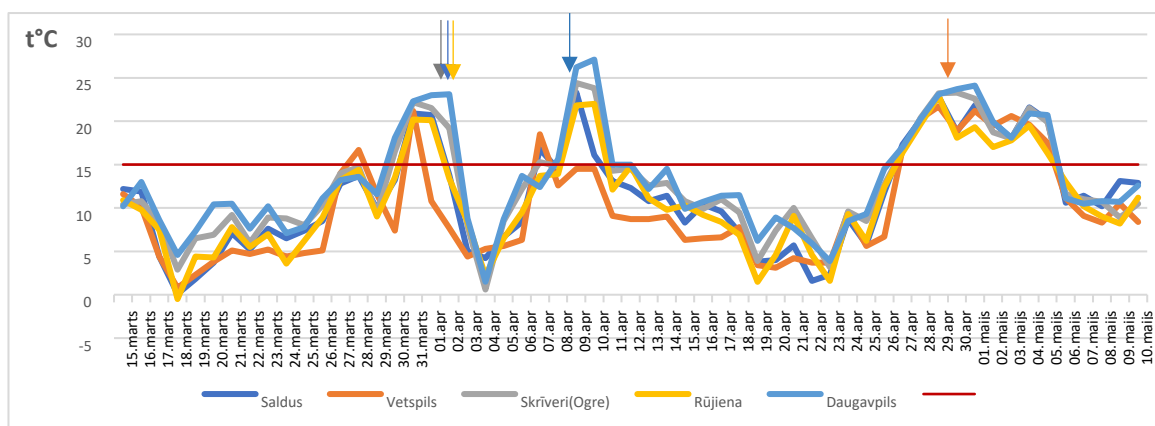
Egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas monitoringam katru gadu tiek ierīkoti parauglaukumi piecos Latvijas reģionos (3.2.1. attēls). Analogi mizgraužu lidošanas dinamikas monitoringam, svaigās skuju koku cirmās tiek izvietoti trīs slazdi ar *I. typographus* agregācijas feromona dispanseru. Slazdi tiek pārbaudīti reizi dienā, sākot no 15. marta, un noteikts datums, kad slazdā konstatēta pirmā egļu astoņzobu mizgrauža vabole. Šo datumu uzskata par mizgraužu lidošanas sākumu konkrētajā reģionā attiecīgajā gadā un saista ar meteoroloģiskajiem datiem (3.2.2. attēls).



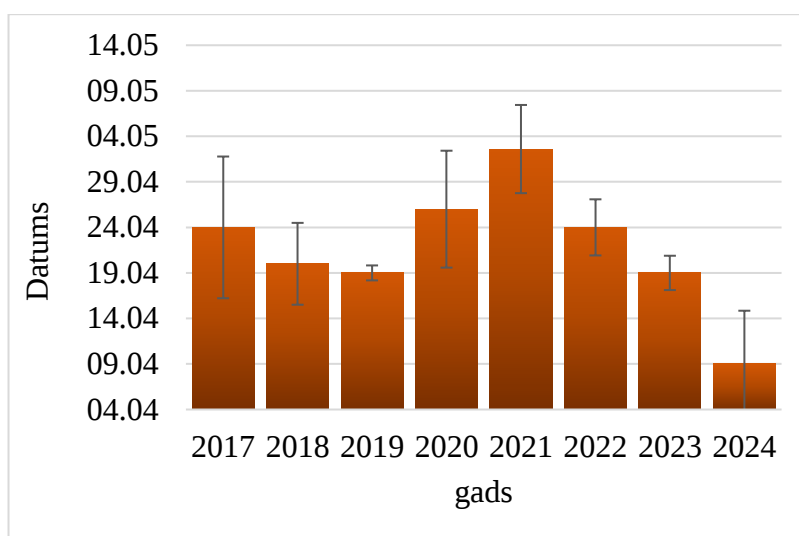
3.2.1. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža izlidošanas sākuma monitoringa reģioni.

2024. gadā egļu astoņzobu mizgraužu lidošana sākās ļoti agri un jau aprīļa beigās novērota mizgraužu masveida lidošana. Pirmo vaboļu izlidošanas datums bija atšķirīgs dažādos Latvijas reģionos. Ogres, Saldus, Valmieras parauglaukumos egļu astoņzobu mizgraužu lidošana sākās pirmajā siltuma vilnī un pirmās vaboles slazdos noķertas 2. aprīlī. Līdzīgi kā iepriekšējā gadā, visvēlākais mizgraužu lidošanas sākums novērots Ventspils parauglaukumā - 29. aprīlī. Aprīļa mēnesī novēroti 3 siltuma vilņi. Otrajā siltuma vilnī mizgraužu lidošana aizsākās Krāslavas parauglaukumā - pirmās vaboles noķertas 8. aprīlī. 24. aprīlī ir novērota agrākā egļu astoņzobu izlidošana kopš monitoringa uzsākšanas. Nepieciešami ilglaicīgāki novērojumi, lai secinātu cik lielā mērā mizgraužu lidošanu ietekmē lokāli laika apstākļi un cik liela nozīme ir piejūras klimatam. Latvijā mizgraužu masveida izlidošana parasti novērojama maija pirmajā dekādē (Ozols, 1985) un ir tieši saistīta ar temperatūras paaugstināšanos. Masveida lidošana novērojama, kad gaiss dienā uzsilst virs 18°C (Harding & Ravn, 1985).

2024. gada pavasarī egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, novērota 11 dienas agrāk nekā 2023. gadā (3.2.3. un 3.2.4. attēls).

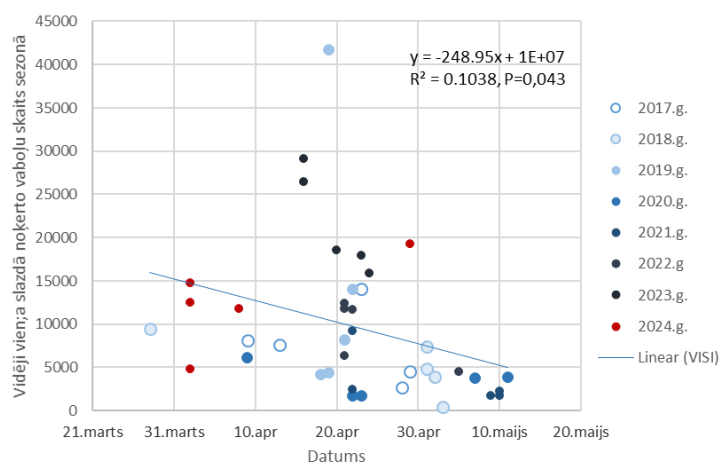


3.2.2. attēls. Maksimālā diennakts temperatūra un *I. typographus* lidošanas sākums.



3.2.3. attēls. Pirmās vaboles izlidošanas datums (vidēji no 5 parauglaukumiem).

Šobrīd ievāktie dati neļauj izdarīt drošu secinājumu par sakarību starp agrākā mizgrauža izlidošanas laika saistību ar kopējo lidošanas intensitāti sezonā, tomēr tendence ir vērojama (3.2.4. attēls).



3.2.4. attēls. Sakarība starp egļu astoņzobu mizgrauža lidošanas sākumu un kopējo vidēji vienā slazdā noķerto vaboļu daudzumu sezonā.

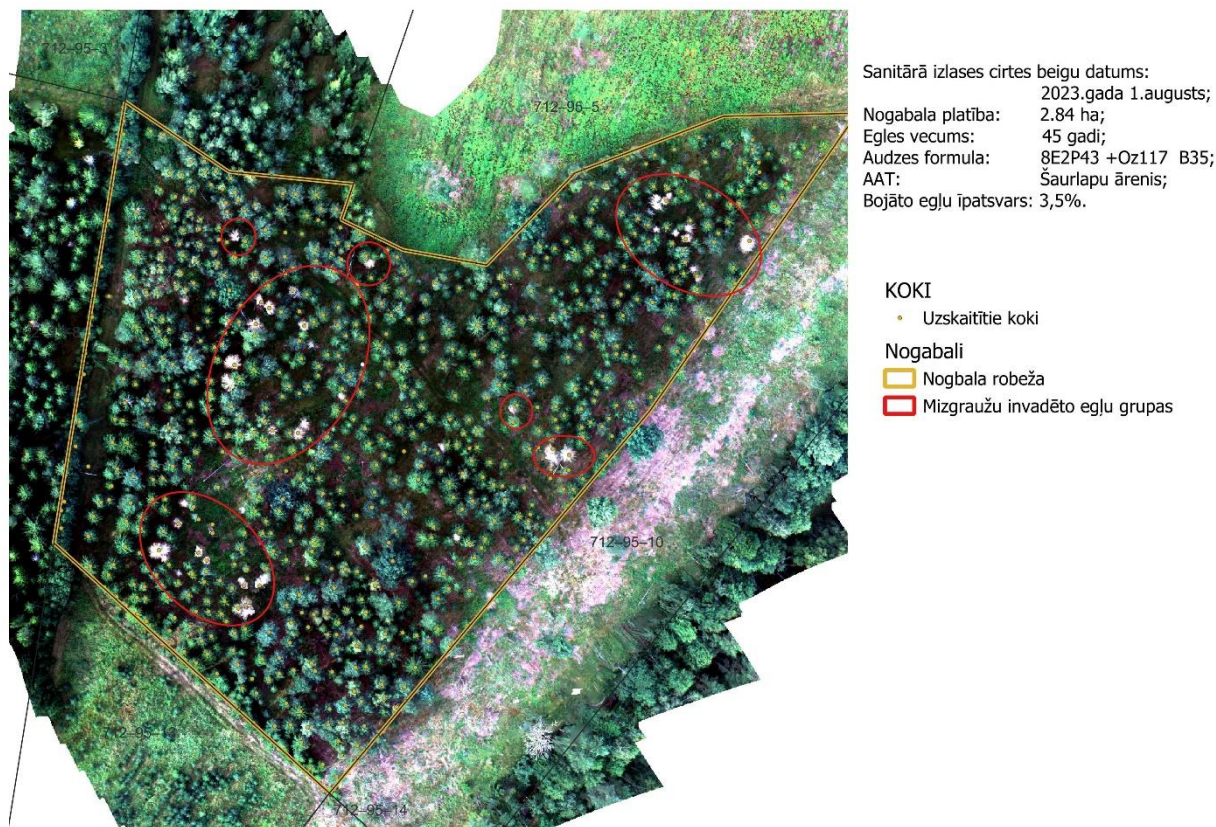
Kopsavilkums.

1. 2024. gada pavasarī egļu astoņzobu mizgrauža izlidošana, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, novērota 11 dienas agrāk nekā 2023. gadā, kas ir agrākā novērotā mizgraužu izlidošana Latvijā, kopš monitoringa uzsākšanas.
2. Novērojama tendence, ka agrāka vaboļu izlidošana rezultējas ar augstāku lidošanas intensitāti visas sezonas garumā.

3.3. Dendrofāgo kukaiņu un to saimniekorganismu dzīves cikla sinhronitātes izmaiņu novērtējums

Mērķis: Novērtēt sanitāro izlases ciršu lietderību (ietekmi uz turpmāko mizgraužu invāziju) egļu astoņzobu mizgrauža ietekmētās audzēs.

Egļu audzēs veikto sanitāro izlases ciršu ietekme uz egļu astoņzobu mizgrauža invāziju saistībā ar dažādiem audzes parametriem (izstrādes laiks, audzes vecums, audzes mistrojums u.c.) novērtēta, izmantojot multispektrālos attēlus no drona fotogrammetrijām. Kopumā 182 audzēs laika posmā no 2024. gada 15. augusta līdz 30. augustam, veikta kartēšana ar multispektrālo kameru un LIDAR bezpilota lidaparātu (dronu). Tika pieņemts, ka sanitārās izlases cirtes laikā veikta visu kaltsušo egļu izvākšana un fotogrammetrijās redzamās kaltsušās egles ir 2023. gada un 2024. gada mizgraužu pirmās paaudzes invadētas egles. Iegūtā multispektrālā attēla un tā analīzes piemērs 2023. gadā ir dots 3.3.1. attēlā. Sanitārās cirtes izstrādāšanas laika posmā no 2023. gada 2. februāra līdz 2024. gada 13. martam. Apsekošanai atlasīto audžu telpiskais izvietojums atspoguļots 3.3.2. attēlā.

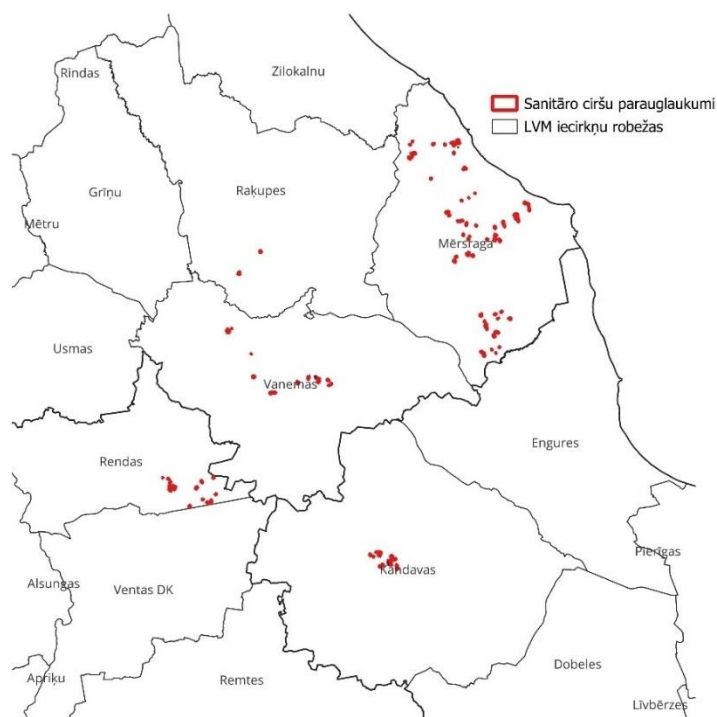


3.3.1. attēls. Multispektrālās kameras veidotā attēla piemērs.

Visi koki nogabalā saskaitīti, izmantojot punktu mākonī no LIDAR datiem, iegūstot DEM (Digital Elevation Model - digitālais augstuma modelis) un DSM (Digital Surface Model - digitālais virsmas modelis), koku virsotnes skaitot no koku vainagu slāņa (DEM-DSM). Bojātās egles no veselām atšķiramas pēc krāsu toņa un uzskaitītas manuāli, izvērtējot katru attēlu atsevišķi. Ja radās šaubas par attēlā redzamā koka krāsas atbilstību bojātai eglei, koks netika uzskaitīts.

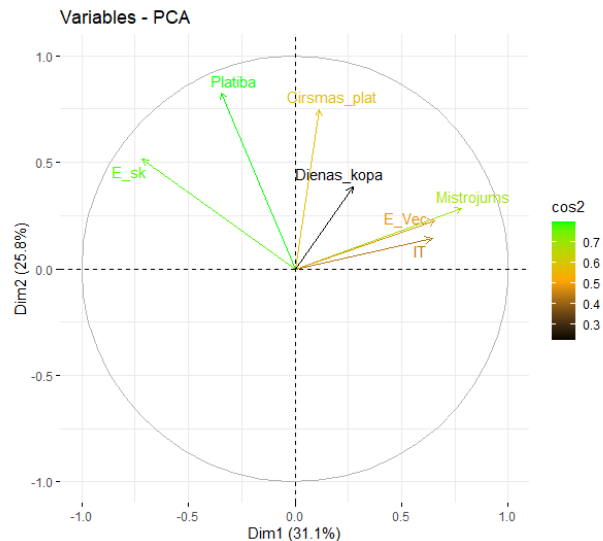
Sanitāro ciršu ietekmes uz mizgraužu invāzijas risku analīzē izmantota sekojoša informācija no LVM datu bāzes:

- cirsmas izstrādes beigu datums;
- egļu vecums gados;
- citu koku sugu piemistrojams procents (0% līdz 90%);
- valdošā koku suga nogabalā;
- meža augšanas apstākļu tips – sausieņi, slapjaini un kopā āreņi un kūdreņi;
- cirsmas platība (ha);
- LVM reģions, kurā cirte veikta;
- audzes bojājuma veids – sanitārās cirtes pamatojumam;
- nogabala platība (ha).



3.3.2. attēls. Egļu nogabali, kuros veikta sanitāro izlases ciršu ietekmes izvērtēšana uz turpmāko mizgraužu invāzijas risku.

Veikta galveno komponentu analīze – PCA (3.3.3. attēls) turpmākos aprēķinos ietveramo faktoru izvēlei.



IT- bojāto egļu proporcija nogabalā, E_sk- egļu skaits nogabalā, E_vec- egļu vecums gados, Mistrojums- audzes piemistrojums procentos, Platība- nogabala platība, Cirsmas_plat- cirsmas platība, Dienas kopā- mizgraužu aktivitātes dienas kopš cirtes beigu datuma un audzes apsekošanas.

3.3.3. attēls. Galveno komponentu analīze (PCA) egļu astonzobu mizgrauža ietekmes uz audzi pēc sanitārās izlases cirtes novērtējumam.

Datu tālākai analīzei izmantots GLM (General Linear Models) analīze programmā R statistics:

model=glm(cbind(E_IT,E_sk)~Vec+IT_akt+SC_ha+Nog_ha+Mistrojums+Augsne+ (3.1.)
+BojVeids+Nocirsts+Regions+ValdosaSuga, family =binomial()),

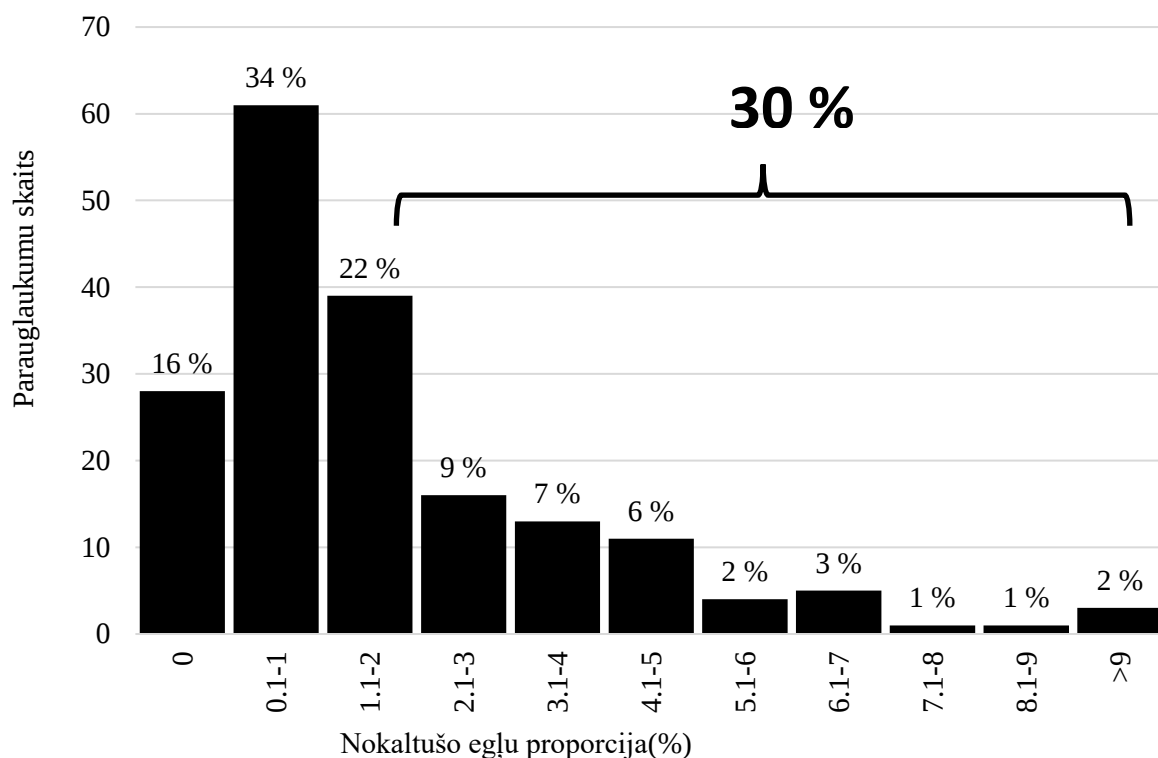
kur

- E_IT – mizgraužu invadēto koku skaits, kas konstatēts fotogrammetrijā;
- E_sk – kopējais koku skaits nogabalā;
- Vec – egļu vecums gados;
- IT_akt – sanitārā izlases cirte veikta mizgraužu aktivitātes laikā (maijs-septembris) (Jā/Nē);
- SC_ha – sanitārās izlases cirtes platība (ha);
- Nog_ha – nogabala platība (ha);
- Mistrojums – citu koku piemistrojums nogabalā (%);
- Augsne – augšanas apstākļu tips nogabalā – “sausieņi, “meliorēti (āreņi un kūdreņi)”, “slapjaini”;
- BojVeids – sanitārās izlases cirtes pamatojums (vējgāzes, mizgraužu bojājumi, svaigi mizgraužu bojājumi);
- Nocirsts – izstrādes beigu datums;
- Regions – LVM reģions;
- ValdosaSuga – valdošā koku suga nogabalā.

Sešpadsmit procentos parauglaukumu mizgraužu bojājumi pēc sanitārās izlases cirtes netika konstatēti, kas galvenokārt saistīts ar izstrādi ziemas periodā. 30% no parauglaukumiem mizgraužu bojājumi pārsniedza 2% (3.3.4. attēls).

Egļu kalšanu pēc sanitārajām izlases cirtēm būtiski ietekmē šīs koku sugas vecums, izstrādes veikšana mizgraužu aktivitātes laikā, citu koku sugu piemistrojums, augšnes veids, bojājuma

veids, kas bija par iemeslu sanitārās izlases cirtes veikšanai, kā arī tika konstatētas reģionālās atšķirības starp parauglaukumiem (3.3.1. tabula).



3.3.4. attēls. Parauglaukumu sadalījums pēc bojājuma egļu astonezību mizgrauža intensitātes pēc sanitārajām izlases cirtēm.

3.3.1. tabula

Dispersijas analīzes kopsavilkuma tabula faktoru ietekmes analīzei egļu kalšanai pēc sanitārajām izlases cirtēm vidēji vecās un vecās egļu audzēs. Saīsinājumu skaidrojumu skat. metodikā.

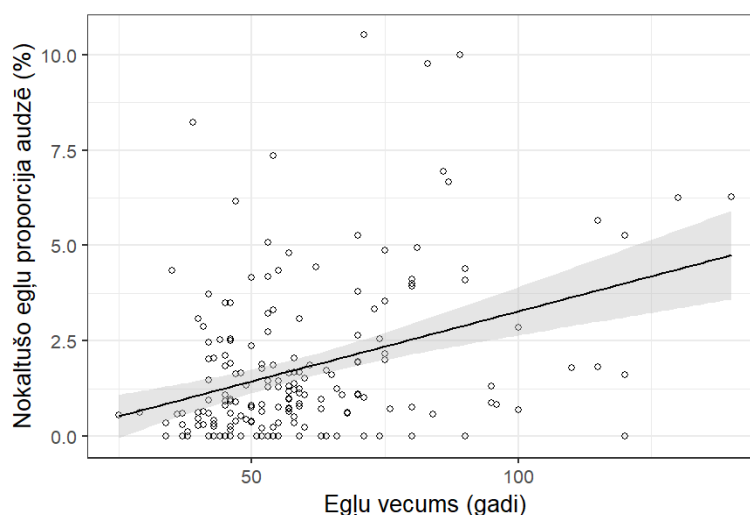
Atkarīgais mainīgais: cbind(E_IT, E_sk)

	χ^2	BP	Pr(> χ^2)	
Vec	30.3790	1	3.553e-08	***
IT_akt	11.9493	1	0.0005467	***
SC_ha	0.0989	1	0.7531462	
Nog_ha	0.6568	1	0.4176880	
Mistrojums	15.5309	1	8.117e-05	***
Augsne	18.3921	2	0.0001014	***
BojVeids	9.1746	2	0.0101804	*
Nocirsts	0.2099	1	0.6468840	
Regions	8.8521	2	0.0119619	*
ValdosaSuga	0.6959	4	0.9518383	

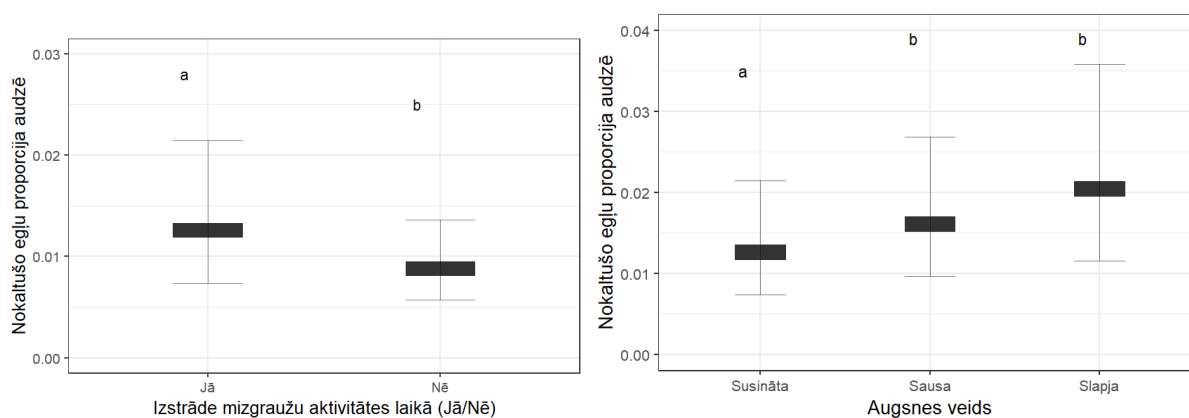
Būtiskuma līmeņa kodi: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Pieaugot egļu vecumam, palielinās mizgraužu invāzijas risks pēc sanitārajām izlases cirtēm (3.3.5. attēls). Līdzīga sakarība konstatēta arī pēc krājas kopšanas cirtēm un mizgraužu bojājuma intensitātes, kas novērota meža kaitēkļu monitoringā.

Sanitārās izlases cirte mizgraužu aktivitātes laikā (maijs-septembris) būtiski palielina mizgraužu invāzijas ietekmi (3.3.6. attēls), atkārtoti apliecinot, ka šī nav piemērota pieeja mizgraužu ierobežošanai.



3.3.5. attēls. Egļu vecuma ietekme uz mizgraužu invāzijas risku pēc sanitārās izlases cirtes.

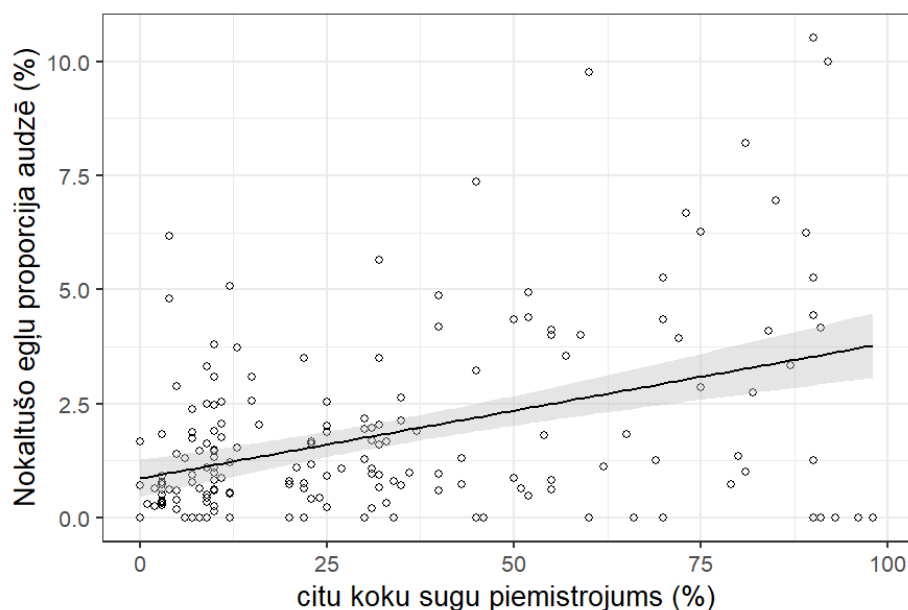


Izkliede: 95% ticamības intervāls

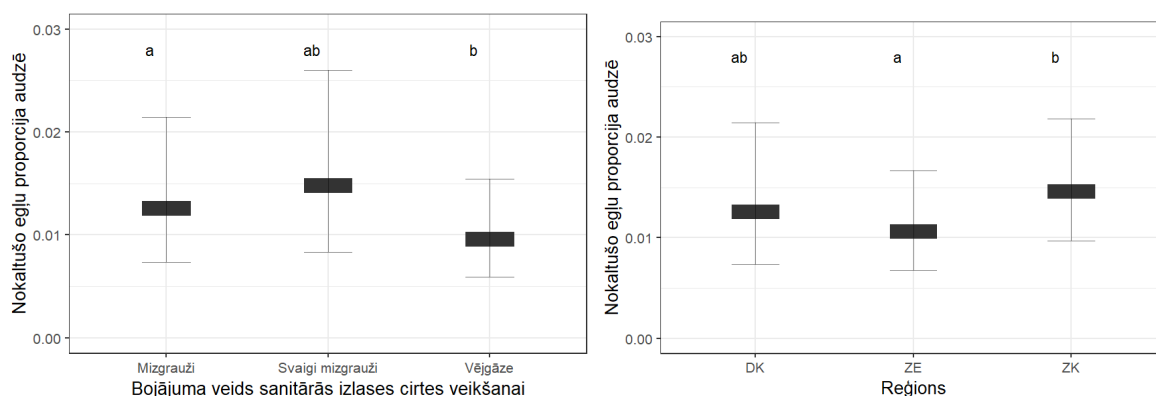
3.3.6. attēls. Izstrādes veikšana mizgraužu aktivitātes laikā (pa kreisi) un augšnes veida (pa labi) ietekme uz mizgraužu invāzijas risku pēc sanitārās izlases cirtes.

Egļu astonezību mizgrauža radīto apdraudējumu egļu audzēm pēc sanitārās izlases cirtes veikšanas ietekmē arī meža augšanas apstākļu tips. Šajā pētījumā konstatēts, ka egļu audzēs sausiešos mizgraužu invāzijas risks ir mazāks (3.3.6. attēls). Iespējams, ka šāds rezultāts saistīts ar mazāku mežistrādes tehnikas ietekmi uz koku saknēm.

Iepriekšējā gadā (skat. 3. etapa pārskatu), analizējot retināšanas (krājas kopšanas cirtes) netika konstatēta piemistrojuma pozitīva ietekme uz invāzijas risku. Šajā etapā, vērtējot sanitārās izlases cirtes, konstatēta negatīva piemistrojumam ietekme (3.3.7. attēls). Iespējams, tādēļ, ka uz audzi atlidojušajiem mizgraužiem bija pieejams mazāks egļu skaits (uz ha), līdz ar to risks katram atsevišķam kokam bija lielāks.



3.3.7. attēls. Citu koku sugu piemistrojuma ietekme uz mizgraužu invāzijas risku pēc sanitārās izlases cirtes.



Izkliede: 95% ticamības intervāls

3.3.8. attēls. Audzes bojājuma veida ietekme uz mizgraužu invāzijas risku (pa kreisi) un atšķirības starp reģioniem (pa labi).

Būtisku ietekmi uz egļu apdraudējumu pēc sanitārās izlases cirtes atstāj tās iemesls: vai sanitārā cirte veikta vēja gāzto un laužto koku izvākšanai, vai mizgraužu invadēto koku izvākšanai. Lielāks mizgraužu bojājumu apjoms novērots egļu audzēs, kurās sanitārā cirte veikta mizgraužu bojāto egļu izvākšanai (3.3.8. attēls). Būtiskas atšķirības bojāto egļu daudzumā pēc sanitārās cirtes konstatētas arī starp reģioniem, kas skaidrojams ar lokālām atšķirībām mizgraužu populācijas blīvumā.

Kopsavilkums.

1. Egļu audžu apdraudējumu pēc sanitārajām izlases cirtēm būtiski ietekmē egļu vecums – vecākās egļu audzēs bojājumu risks ir lielāks.
2. Risks ir lielāks mežaudzēs, kurās sanitārā izlases cirte ir veikta mizgraužu aktīvas lidošanas laikā.

3. Lielāks risks ir audzēs ar augstu citu koku sugu piemistrojumu.
4. Egļu audzes slapjainos ir pakļautas lielākam mizgraužu apdraudējumam pēc sanitārās izlases cirtes, nekā audzes sausieņos.
5. Mizgraužu apdraudējums pēc izlases cirtes ir lielāks, ja par iemeslu sanitārajai cirtei ir bijuši mizgraužu bojājumi, salīdzinot ar sanitārajām cirtēm, kuras veiktas pēc vējgāzēm.
6. Mizgraužu apdraudējums pēc sanitārajām izlases cirtēm variē pa reģioniem, un to nosaka šī dendrofāga populācijas blīvuma atšķirības.

3.4. Mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.

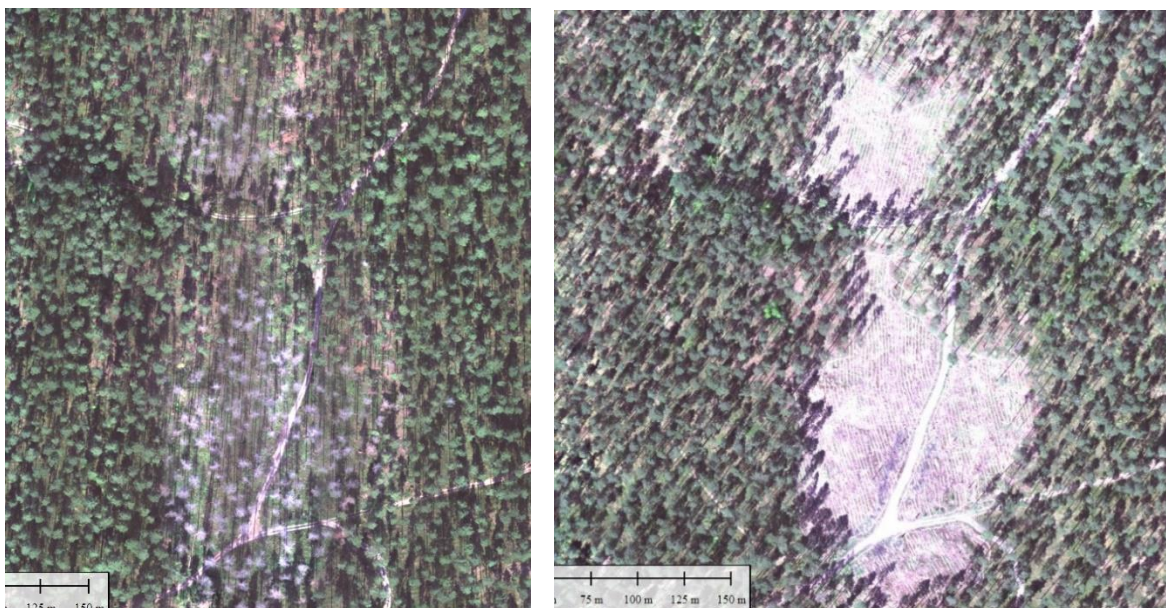
Mērķis: raksturot mistrojuma ietekmes uz dendrofāgu bojājumiem.

Iepriekšējā etapa pārskatā tika izvērtēta uz to brīdi pieejamā zinātniskā literatūra par mistrojuma nozīmi egļu mežaudžu noturības paaugstināšanai pret mizgrauzi. Tajos lielākoties norādīts, ka bērza piemistrojums egļu audzēm varētu palielināt šo audžu noturību. Tomēr ievāktais un vērtētais empīriskais materiāls no audzēm, kurās veikta retināšana, par to neliecināja. Izvērtējot situāciju pēc sanitāro ciršu veikšanas, konstatēts, ka mistrojumam ir būtiska negatīva ietekme uz turpmāko mizgraužu kaitējumu atlikušajām eglēm mežaudzē. Dati apkopoti manuskriptā, kas šobrīd ir stadijā akceptēts ar labojumiem – un notiek darbs pie precizējumu sagatavošanas, lai nodrošinātu publicēšanu.

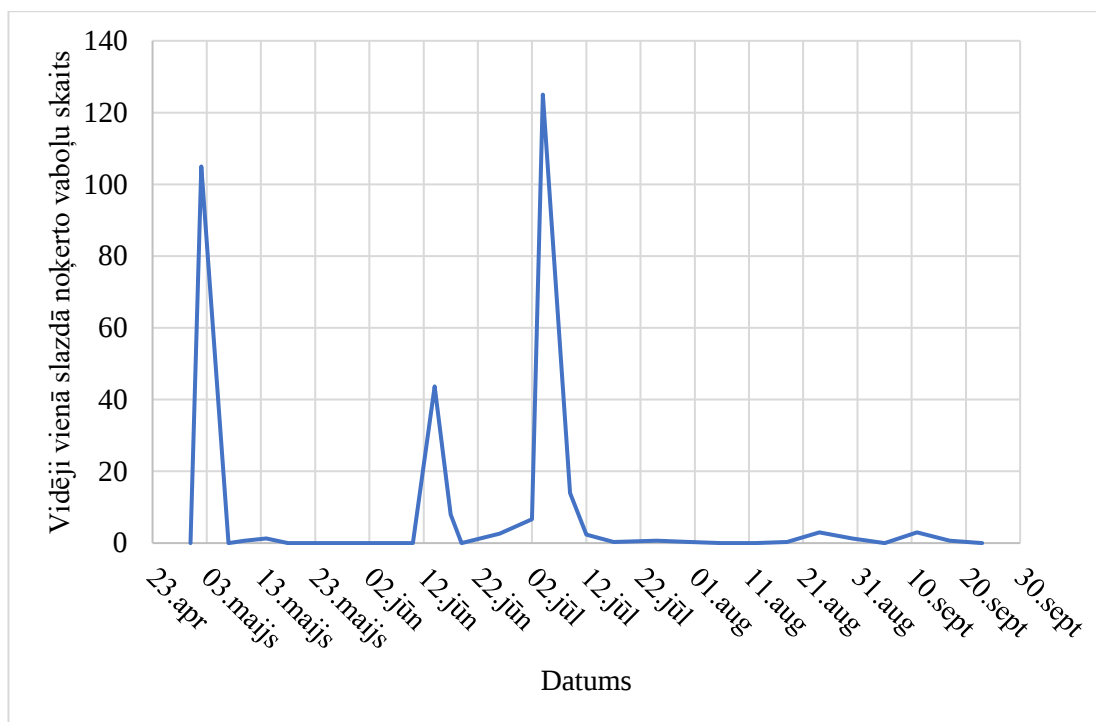
3.5. Videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija, mazinot dendrofāgu saimniecisko ietekmi.

Mērķis: sagatavot sākotnējo vērtējumu par priežu galotņu kaitēkļu detektēšanu ar attālo izpēti kā daļu no aizsardzības stratēģijas.

Veikta priekšizpēte agrīnās detektēšanas iespēju izvērtēšanai galotņu sešzobu mizgrauža kolonizētām priedēm pēc meža ugunsgrēka. Par pētījuma teritoriju tika izvēlēta priežu audze Jaunciemā, kur 2021. gada jūnija mēnesī notika meža ugunsgrēks. Novājinātajos kokos strauji savairojās galotņu sešzobu mizgrauzis. 2023. gada vasarā liela daļa audzes nokalta un 2023. gada rudenī tā tika nocirsta atjaunošanas cirtē (3.5.1. attēls). Lai gan trīs gadus pēc ugunsgrēka, galotņu sešzobu mizgrauža populācijas blīvums bija mazinājies, tomēr konstatēti atsevišķi invadēti koki. *Ips acuminatus* pievilināšanai pētījuma vajadzībām paredzētie feromonu slazdi (9 gab.) ar Acumodor dispenseru deguma teritorijā izvietoti 30. aprīlī. Tie apsekoti 2 reizes nedēļā, bet, sākot no jūlija vidū, 1 reizi nedēļā. Slazdos konstatētā mizgraužu lidošanas dinamika (3.5.2. attēls) salīdzināta ar agrīno simptomu parādīšanos priedēm. Šie simptomi meklēti multispektrālajos attēlos, kas uzņemti 2024. gada vasarā, ar apmēram nedēļas intervālu (kopumā 22 attēlu sērijas). Pirmā audzes kartēšana veikta 3. maijā un noslēdzošā 5. oktobrī.



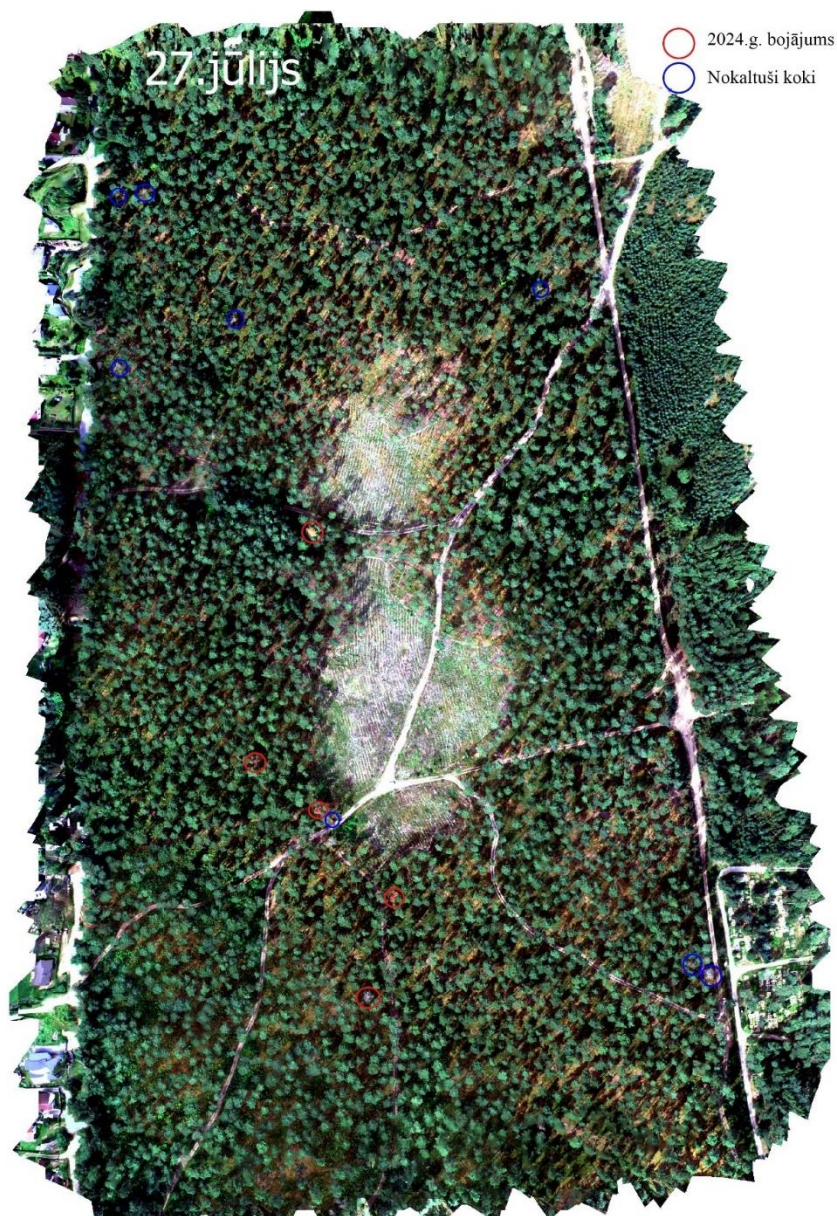
3.5.1. attēls. Multispektrālās kameras veidots attēls Jaunciema degumā 2023. gada vasarā (pa kreisi) un 2024. gada pavasarī (pa labi).



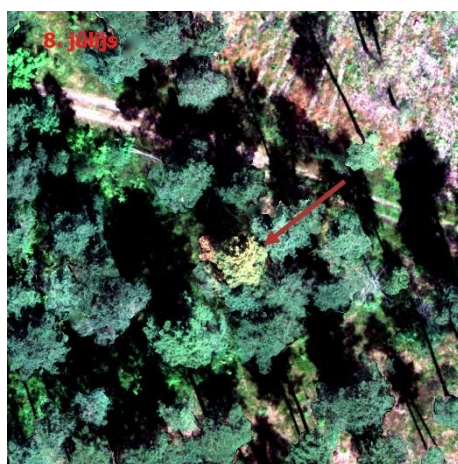
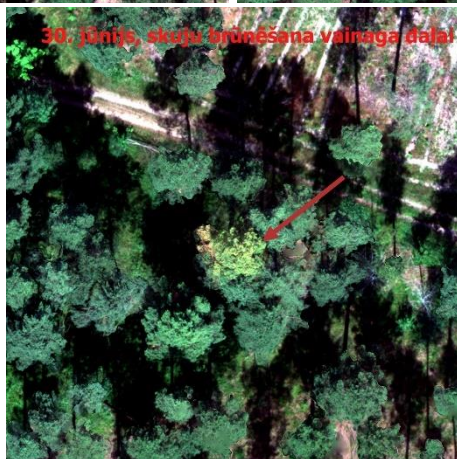
3.5.2. attēls. Galotņu sešzobu mizgraužu lidošanas dinamika trīs gadus pēc meža ugunsgrēka priežu audzē.

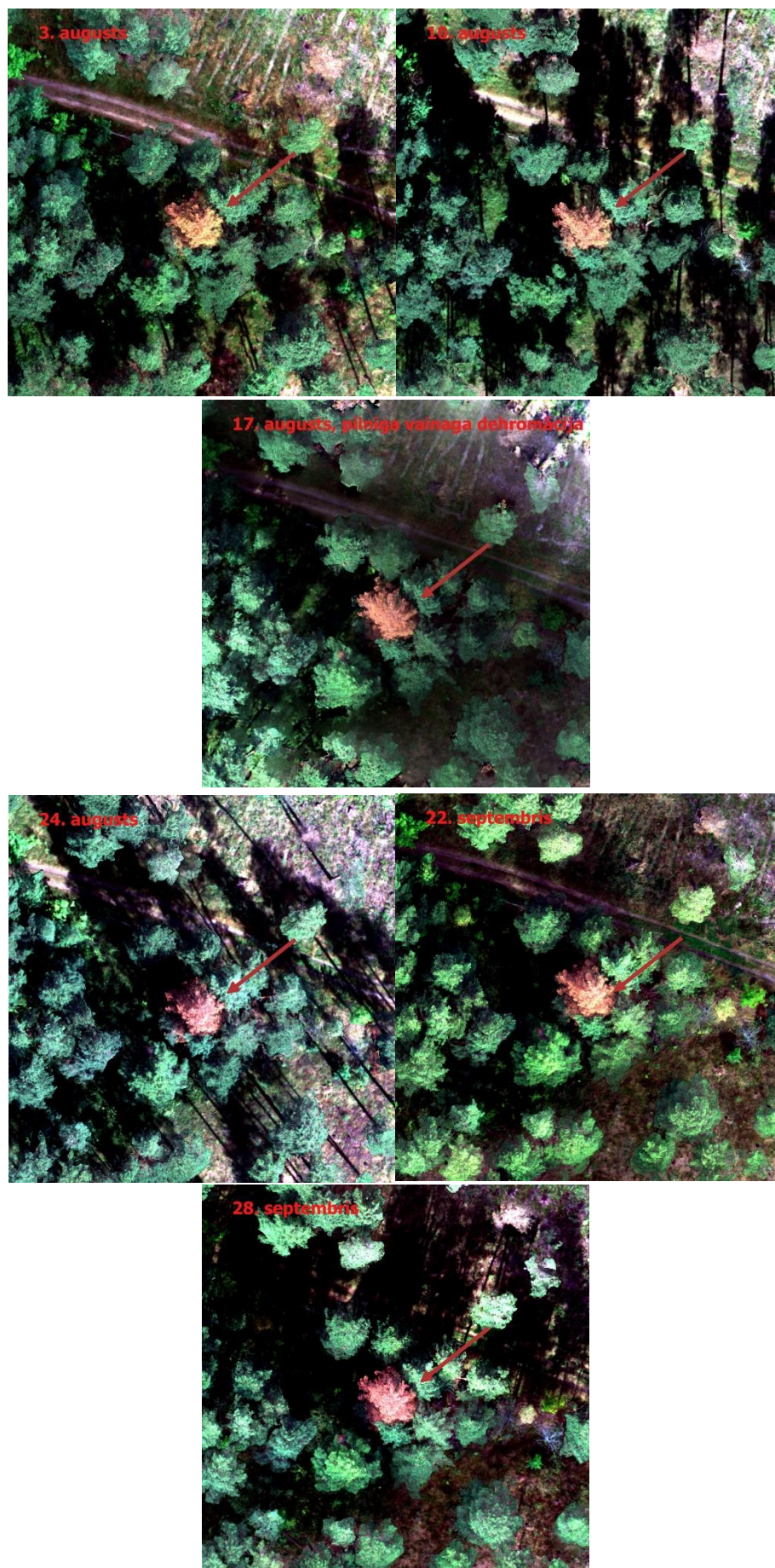
I. acuminatus pirmā aktīvā lidošana novērota maija sākumā – 2. maijā feromonu slazdos noķertas 105 vaboles (3.5.2. attēls). 14. jūnijā pēc feromonu nomaiņas novērota aktīva mizgraužu lidošana, kas varētu būt saistīta ar māsu paaudzes veidošanu. Otrās paaudzes lidošana novērota 4. jūlijā. Vaboļu lidošana ļoti sinhronizēta un lielākā daļa vaboļu izlido vienā laikā. Vairākas reizes slazdos tika konstatēti arī šī dendrofāga dabiskais ienaidnieks – skudrulītis *Thanasimus formicarius* L.

Vainagu dehromācija sezonas laikā novērota 5 kokiem (3.5.3. attēls). Vairākas priedes bija nokaltušas 2023. gadā. *Ips acuminatus* invadējis arī priedes, kuras nebija tieši pieguļošas izcirtuma malai. Pirmās izmaiņas priežu vainagos uzņemtajos attēlos novērotas 15. jūnijā, bet skaidri pamanāmas tās bija vēl nedēļu vēlāk – tāpat apmēram 45 dienas pēc ziemojošo vaboļu izlidošanas vai apmēram 2 nedēļas pirms jauno vaboļu izlidošanas sākuma. Skuju brūnēšana sākas ap jauno vaboļu izlidošanas laiku un vainagu pilnīga dehromācija novērojama pēc jauno vaboļu izlidošanas. Liela daļa jauno vaboļu paliek ziemot attīstības vietās – nepamet priežu stumbrus. Jaunu koku dehromācija rudenī netika novērota. Iespējams, ka otrā paaudze netika veidota, vai arī koku dehromācija noris vēlāk – pēc 5. oktobra.

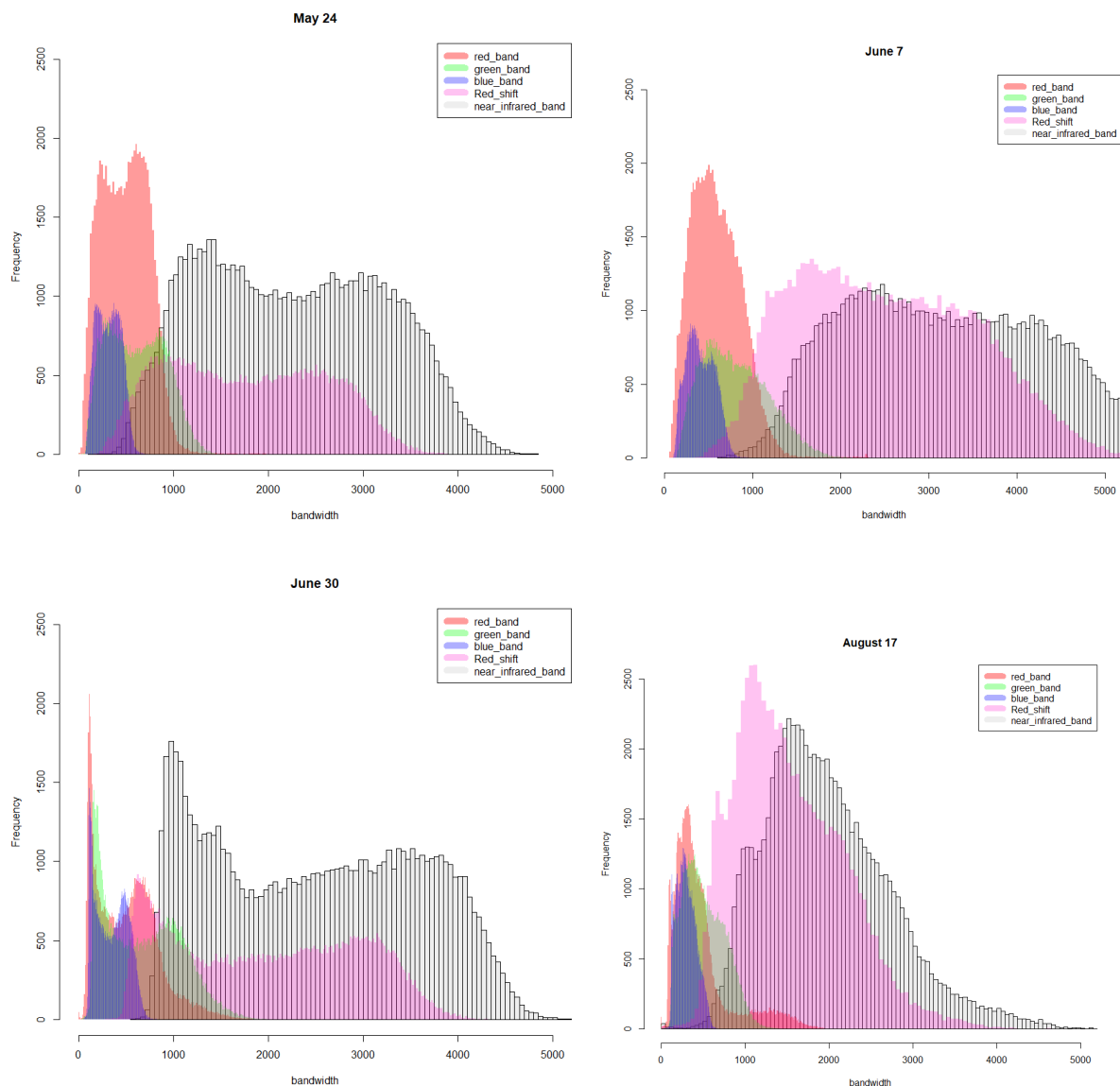


3.5.3. attēls. Kaltušie koki un *Ips acuminatus* svaigi invadētās priedes Jaunciema deguma teritorijā.





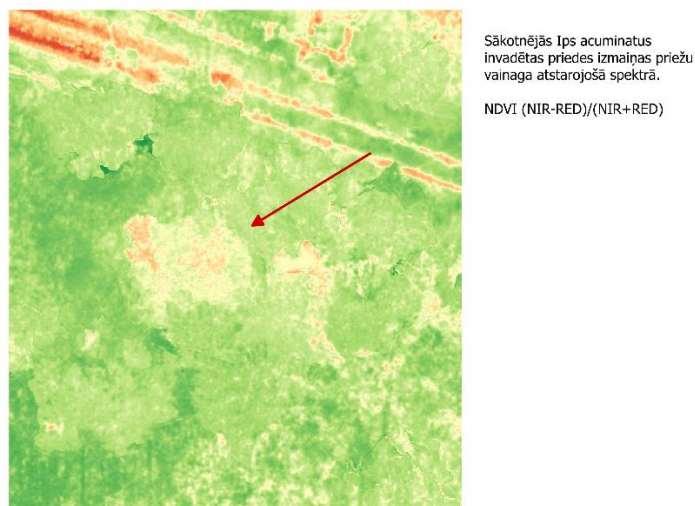
3.5.4. attēls. Priedes vainaga izmaiņas pēc *Ips acuminatus* kolonizācijas. Spektra vērtību histogrammas zīmīgajiem datumiem dotas 3.5.5. attēlā.



Spektra joslas: Blue (B): $450 \text{ nm} \pm 16 \text{ nm}$; Green (G): $560 \text{ nm} \pm 16 \text{ nm}$; Red (R): $650 \text{ nm} \pm 16 \text{ nm}$; Red edge (RE): $730 \text{ nm} \pm 16 \text{ nm}$; Near-infrared (NIR): $840 \text{ nm} \pm 26 \text{ nm}$.

3.5.5. attēls. Multispektrālā attēla histogramma zīmīgajos datumos *Ips acuminatus* invadētas priedes vainagam.

Izmaiņas atstarojošā spektrā invadētajam kokam vairāk saistītas ar redzamās spektra daļas (RGB) un infrasarkanā spektra attiecību. Vasaras beigās, kad vainaga dehromācija ir ļoti izteikta, būtiskas izmaiņas novērojamas sarkanās nobīdes (red shift band) un infrasarkanajā spektra daļā (near infrared band). Testējot vairākus RGB spektra atvasinātos indeksus, izmaiņas nav konstatējamas. No testētajiem veģetācijas indeksiem, izmaiņas invadētā koka atstarojošā spektrā labāk pamanāmas NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, formula: $\text{NIR} - \text{RED} / \text{NIR} + \text{RED}$, 3.5.6. attēls). Atšķirībā no egļu astonzobu mizgrauža invadētajām eglēm, galotņu sešzobu mizgrauža invadēto priežu vainaga izmaiņas iespējams konstatēt pirms jaunās vaboles ir pametušas attīstības vietas.



3.5.6. attēls. 30. jūnijā redzamās izmaiņas *Ips acuminatus* invadētas priedes atstarojošā spektrā (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI).

Kopsavilkums.

Multispektrālās kameras attēlus var izmantot agrīnai galotņu sešzobu (*Ips acuminatus*) invāzijas identificēšanai.

Koku dehromācija novērojama apmēram 45 dienas pēc aktīvas mizgraužu lidošanas un apmēram 2 nedēļas pirms jaunās paaudzes izlidošanas.

3.6. Sistēma veģetācijas kā indikatora izmantošanai klimata pārmaiņu indicēšanai.

Mērķis: papildināt sagatavoto indikatoru sistēmu.

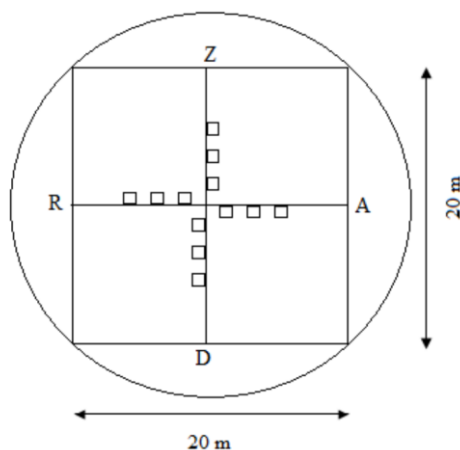
Klimata pārmaiņu ietekme uz veģetācijas dinamiku dažādās pasaules valstīs atšķiras atkarībā no reģiona un klimata zonas (Munang et al. 2013). Globālās klimata pārmaiņas ir izraisījušas izmaiņas augu sugu izplatībā, veicinājušas ūdens trūkumu, kā arī krasu veģetācijas aizņemto platību samazināšanos. Lai izpētītu veģetācijas dinamikas izmaiņas klimata pārmaiņu kontekstā, jāizprot veģetācijas sugu un meteoroloģisko apstākļu savstarpējās saistības. Tas var ietvert veģetācijas sugu jutīgumu, jutīguma ietekmi uz veģetācijas produktivitāti un sugu izplatību (Baldi et al. 2016; Chen et al. 2019).

Augu sugu sastopamības atkarība no konkrētiem augšanas apstākļu un klimatisko faktoru gradientiem padara tās par labiem klimata pārmaiņu indikatoriem, jo veģetācijas sastāva izmaiņas tiešā veidā atspoguļo klimata pārmaiņu ierosināto vides faktoru gradienta nobīdi. Klimatisko apstākļu ietekmes novērojumu veikšana laikā un telpā ir uzskatāmākais veids kā novērtēt sekas konkrētu faktoru izmaiņu rezultātā. Sezonalitātei ir liela nozīme, tieši tā sniedz iespēju novērot klimatisko faktoru atšķirības un tendences gadu no gada. Pamatojoties uz plānotiem un regulāriem novērojumiem, pastāv iespēja izprast, kāda ir veģetācijas atbildes reakcijas uz klimatisko apstākļu izmaiņām, kā arī izdarīt prognozes par nākotnē gaidāmajām pārmaiņu tendencēm.

Latvijas mēroga veģetācijas datu ieguves raksturojums. Ekosistēmu pielāgošanās uzraudzība var būt nozīmīgs elements klimata pārmaiņu radīto izaicinājumu ierobežošanas pasākumu

plānošanā (Wamsler et al 2016; Redford et al. 2018). Liela mēroga veģetācijas sugu monitorings un novērtējums ir neatņemams adaptīvās dabas teritoriju pārvaldības un tās dinamikas ietekmes novērtēšanas process (Kittel et al. 2011; Busayo et al. 2020). Daļa no Nacionālā meža monitoringa ir meža bioloģiskās daudzveidības monitorings, kura mērķis ir iegūt fona informāciju par meža bioloģiskās daudzveidības stāvokli un tās pārmaiņām (MSI, 2023).

Meža veģetācijas novērtējums tiek veikts veģetācijas aktīvās sezonas periodā – no jūnija līdz oktobrim. Augu sabiedrību uzskaitē katrā parauglaukumā tiek veikta divos līmeņos: ģeobotāniskais apraksts 400 m² inventarizācijas laukumā; veģetācijas uzskaitē 12 gab. 1m² lielos uzskaites laukumos. Veģetācijas uzskaites laukumus ierīko uz četrām transektēm Z (0°), A (90°), D (180°) un R (270°) pēc kompasa, neņemot vērā magnētisko deklināciju, 1,0-2,0 m, 3,0-4,0 m un 5,0-6,0 m no parauglaukuma centra. Uzskaites laukumus kodē attiecīgi norādot virzienu un attālumu no centra Z1, Z3, Z5, A1, A3, A5, D1, D3, D5, R1, R3, R5 (3.6.1. attēls).



3.6.1. attēls. Veģetācijas uzskaites laukumu shēma – ģeobotāniskais apraksta laukums (400 m²) un 1 m² uzskaites laukumi (MSI, 2023).

Sugu inventarizācija tiek veikta četros mežaudzes pamatstāvos pēc Brauna-Blankē metodes (Braun-Blanquet, 1964): koku stāvs (E3); krūmu stāvs (E2); lakstaugu un sīkkrūmu stāvs (E1); sūnu un ķērpju stāvs (E0). Koku stāvā ieskaita visus kokaugus, kuri augstāki par 5 m. Krūmu stāvā ieskaita visus kokus (arī paaugu mežsaimnieciskā izpratnē) un krūmus (pamežu), kuri ir augstāki par vidējo lakstaugu/sīkkrūmu stāva līmeni un sniedzas līdz 5 m augstumam. Lakstaugu un sīkkrūmu stāvā ieskaita lakstaugus un sīkkrūmus. Lakstaugu stāvā ieskaita arī kokaugus, kuru augstums nepārsniedza E1 stāva augstumu. Sūnu un ķērpju stāvā ieskaita augsnes sūnas un ķērpjus (epigeīdus). Apsekotajos parauglaukumos sugu procentuālais segums noteikts piecu balļu skalā (1 balle – < 5%; 2 balles – 5–25%; 3 balles – 25–50%; 4 balles – 50–75%; 5 balles – 75–100%), kuros uzskaitītas visas kokaugu, lakstaugu un sūnu un ķērpju stāva sugas (Braun-Blanquet, 1964). Ja kādas sugas projektīvais segums novērtēts mazāks par 1 procentu, tad sugu atzīmē ar “+” zīmi. Vaskulāro augu klasifikāciju sēklaugiem veic atbilstoši Englera sistēmai, bet paparžaugiem – pēc Bobrova klasifikācijas (Gavrilova un Šulcs, 1999). Ķērpju klasifikāciju veic atbilstoši Lielbritānijas un Īrijas ķērpju apskata sistematiskajai struktūrai (Āboliņa u.c., 2015).

Veģetācijas uzskaites rezultāti potenciāli attiecināmi uz dažādiem telpiskajiem līmeņiem un interpretējami dažādi. Pietiekami liels skaits veģetācijas uzskaites laukumu dod informāciju gan par veģetācijas attīstības dinamiku kādā konkrētā objektā, gan par atšķirībām starp dažādiem objektiem, gan par veģetācijas dinamiku reģionā. Bioloģiskās daudzveidības monitoringam kopumā atlasīti 600 parauglaukumi, bet līdz 2023. gadam apsekoti 483 pastāvīgie meža resursu monitoringa parauglaukumi. 2019. gadā apsekoti tikai 53 parauglaukumi, 2020. – 89, 2021. –

120, 2022. – 100, bet 2023. gadā – 121 parauglaukumi (MSI, 2023). Kopējais sadalījums starp parauglaukumiem konkrētā meža tipa rindā un izvietojums Latvijas teritorijā atzīts par pietiekami vienmērīgu, lai ietvertu un raksturotu veģetācijas dažādību reģionālā dimensijā (3.6.1. tabula).

3.6.1. tabula.

Meža bioloģiskās daudzveidības monitoringā piecu gadu ierīkoto parauglaukumu sadalījums pa meža tipiem (MT – meža tips, N – skaits) (MSI, 2023).

MT/ N, %, koef.	Sausieņi 37,47% (50,86)						Slapjaini 15,94% (9,36 (ieskaitot Gs (0,025%)))				Purvaini 14,49% (10,38)			
	Sl	Mr	Ln	Dm	Vr	Gr	Mrs	Dms	Vrs	Grs	Pv	Nd	Db	Lk
N	17	25	28	41	51	19	17	27	19	14	19	24	21	6
%	3,52	5,18	5,80	8,49	10,56	3,93	3,52	5,59	3,93	2,90	3,93	4,97	4,35	1,24
% (MSI)	0,73	3,08	3,28	17,70	23,08	2,98	1,72	4,00	3,22	0,40	2,76	3,33	4,13	0,16
koef.	0,206	0,596	0,566	2,085	2,186	0,759	0,488	0,716	0,818	0,139	0,701	0,670	0,951	0,125

MT/ N, %, koef.	Āreņi 15,11% (17,07)				Kūdreņi 16,98% (12,33)			
	Av	Am	As	Ap	Kv	Km	Ks	Kp
N	2	16	28	27	15	19	28	20
%	0,41	3,31	5,80	5,59	3,11	3,93	5,80	4,14
% (MSI)	0,04	1,37	10,21	5,45	0,53	2,04	6,63	3,13
koef.	0,108	0,412	1,761	0,976	0,171	0,517	1,144	0,756

Līdz šim praktizētā datu apstrāde veģetācijas raksturošanai. Lakstaugu stāva un sūnu, ķērpju stāva sugu analīzei izmantots Šenona-Vīnera (Shannon-Wiener) daudzveidības indekss, kas raksturo sugu daudzveidību. Respektīvi, jo lielāka indeksa vērtība, jo noteiktā parauglaukumā augstāka sugu daudzveidība. Turpmākajos uzskaites posmos Šenona-Vīnera daudzveidības indekss norādītu konkrētā mežaudzes parauglaukuma kopējo sugu dinamiku laika gaitā. Datu statistiskajā analīzē izmantota programma ar PC-ORD 7.07 (McCune and Mefford 2016), kurā veikta sugu un parauglaukumu detrendētā korespondentanalīze (DCA). Ordinācijā izmantoti sugu projektīvā seguma dati. Šenona-Vīnera daudzveidības indeksa, β-daudzveidības indeksa aprēķini veikti programmā “R” v. 4.2.2. (R Core Team 2022). β-daudzveidības indekss rēķināts kā skaitliskās atšķirības starp dažādiem meža tipiem (Koleff. et al. 2003).

Potenciālie indikatori – veģetācijas analīze klimata pārmaiņu ietekmes novērtējumam. Situācija saistībā ar sugu spēju priekšlaicīgi adaptēties sagaidāmajām klimata pārmaiņām vēl joprojām ir neskaidra (Myers et al. 2000). Veģetācijas sugu migrācijas rādītāji ir atkarīgi no katras sugas īpašībām, konkurences, sugu un mežu ekosistēmu telpiskās konfigurācijas un meteoroloģiskajiem apstākļiem. Sugu diapazona pielāgošanās klimata un zemes izmantošanas veida izmaiņām ir sarežģīta un unikāla katras sugas ietvaros. Globālās temperatūras paaugstināšanās būtiski ietekmē gan veģetācijas sugu, gan vides apstākļu atbildes reakcijas (Turner 2010; Wang et al. 2011). Gaisa temperatūrai novērota visizteiktākā ietekme uz veģetācijas sugu dinamiku, kam seko saules starojums, pieejamais saules gaismas apjoms un nokrišņu daudzums (Wang et al. 2011). Boreālo mežu zonas purvu ekosistēmās novērota gan sūnaugu, gan vaskulāro augu atbildes reakcijas laika nobīde (8 gadi) uz slāpekļa koncentrācijas un temperatūras paaugstināšanos (Wiedermann et al. 2007), kas signalizē, ka klimata pārmaiņu ietekme būtu vērtējama gan īstermiņa, gan ilgtermiņa scenārijos. Arī tādiem faktoriem, kā sniega segas biezuma samazināšanās ziemas periodā, novērota būtiska, negatīva ietekme uz veģetācijas sugu sastāva izmaiņām, salu radīto bojājumu dēļ (Kreyling et al. 2012).

Līdz šim monitoringa programmas ietvaros iegūtie dati būtu izmantojami vairāku potenciālo klimata pārmaiņu indikatoru aprēķināšanai, piemēram:

- 1) nemorālajai mežu zonai raksturīgo sugu sastopamības/projektīvā seguma izmaiņas laikā un telpā;
- 2) invazīvo vai potenciāli invazīvo un svešzemju sugu sastopamības vai projektīvā seguma izmaiņas laikā un telpā;
- 3) termofilo sugu sastopamības/projektīvā seguma izmaiņas laikā un telpā.

Lai analizētu šo sugu grupu sastopamības un projektīvā seguma datus, vispirms būtu nepieciešams veikt fiksēto sugu kategorizāciju balstoties uz tām piemītošajām īpašībām un to botānisko izplatības reģionu. Tajā skaitā, būtu nepieciešams raksturot: vai suga jau ilglaicīgi sastopama Latvijas teritorijā; vai Latvijas teritorija atrodas uz konkrētās sugas sastopamības areāla robežas; vai suga endēmiska; vai suga reta, vai plaši sastopama; vai suga raksturīga boreālajai mežu zonai, boreāl-nemorālai vai nemorālajai mežu zonai; vai suga potenciāli invazīva. Visticamāk, ka veģetācijas sugu sastopamība jāanalizē vairākos reģionos atsevišķi, vai ņemot vērā to, ka daļā valsts vairāk dominē kontinentāls klimats, bet daļā – piejūras klimats.

Dati analizējami saistībā ar meteoroloģiskajiem datiem par nokrišņu daudzumu un temperatūru konkrēto parauglaukumu teritorijā. Būtiski analizēt sakarības starp ikgadējo, pērnā gada, kā arī iepriekšējo gadu nokrišņu daudzumu un temperatūru saistību ar parauglaukumos konstatēto sugu skaita vai projektīvā seguma izmaiņām, atkarībā no sugas īpašību kategorijām. Arī boreālo mežu zonas veģetācijas sugu seguma un skaita samazināšanās var norādīt uz potenciālo klimata pārmaiņu ietekmi reģionā. Meteoroloģisko faktoru kopā būtu iekļaujams arī sniega segas biezums un tās parādīšanās/nokušanas laiks, kam ir potenciāls ietekmēt veģetācijas sugu dinamiku.

Rezultātā - izmantojot šo kvalitatīvo kategoriju pieeju, būtu iespējams novērtēt, cik no sugām apsekotajās teritorijās relatīvi (%) pārstāv konkrētu grupu (nemorālās mežu zonas sugas, potenciāli invazīvās sugas, termofilās sugas), kā šī pārstāvētība mainās laika gaitā, reizē novērtējot arī potenciālo meteoroloģisko faktoru un meteoroloģisko ekstrēmu ietekmi.

Potenciālie ierobežojumi. Mežu apsaimniekošana – ja nesen parauglaukumā, vai tā tuvumā veikti apsaimniekošanas pasākumi, vai arī pieguļošās teritorijas urbanizācija/apbūve, tad tas apgrūtina klimata pārmaiņu ietekmes novērtējumu, jo šādu traucējumu rezultātā var tikt ietekmēta sugu kompozīcija un pārstāvētība, kas var nejauši tikt raksturota kā citu faktoru ietekmes vadīta (klimata pārmaiņu). Risinājums šādā gadījumā būtu izslēgt konkrētos parauglaukumus no turpmākas analīzes, klimata pārmaiņu ietekmes novērtējuma kontekstā. Ir jānovērtē cita veida antropogēnās ietekmes intensitāte - ja parauglaukuma teritorijā manāma cilvēku darbības intensitātes palielināšanās (izstaigātas takas, atkritumi (īpaši komposta tipa atkritumi) u.c.). Šādu faktoru esamība arī var ietekmēt gūtos rezultātus, novedot pie kļūdainas rezultātu interpretācijas.

Raksturojot konkrētu sugu grupu sastopamības tendences Latvijas teritorijā, ar laiku iespējams, ka varbūt varētu atlasīt īpašas sugas, kuru sastopamība kādā daļā Latvijas teritorijas būtu raksturojama kā konkrēta klimata pārmaiņu pazīme. Piemēram, ja sugu visu laiku bijusi sastopama Dienvidkurzemē, bet tā sāk tikt konstatēta arī Zemgalē vai Kurzemes vidienē. Bet ir sarežģīti nodalīt klimata pārmaiņu ietekmi, jo sugas izplatību var ietekmēt arī tās sēklu izplatīšanas stratēģija, antropogēnā darbība u.c.

Kopsavilkums.

Līdz šim Latvijas mežu monitoringa sistēmas ietvaros ievāktie dati, kā arī nākotnē paredzētie apsekojumi būtu izmantojami konkrētu potenciālo klimata pārmaiņu ietekmes uz veģetāciju indikatoru raksturošanai. Tā pat, šāda tipa analīzē var tikt izmantoti dati, kuri veikti līdzīgā sugu

uzskaites metodikā. Potenciālie klimata pārmaiņu radītās ietekmes indikatori, kas iegūstami, no pēdējos gados apkopotajām datu kopām ir nemorālo mežu zonas, potenciāli invazīvo, kā arī termofilisko sugu īpatsvars un dinamika laikā un telpā.

Literatūra.

1. MSI, 2023. <https://www.silava.lv/petnieciba/nacionalais-meza-monitorings>. (Skatīts: 25.11.2024.)
2. Baldi, G.; Texeira, M.; Murray, F.; Jobbágy, E.G. Vegetation Productivity in Natural vs. Cultivated Systems along Water Availability Gradients in the Dry Subtropics. *PLoS ONE* 2016, 11, e0168168.
3. Chen, C.; He, B.; Yuan, W.; Guo, L.; Zhang, Y. Increasing interannual variability of global vegetation greenness. *Environ. Res. Lett.* 2019, 14, 124005.
4. Munang, R.; Thiaw, I.; Alverson, K.; Liu, J.; Han, Z. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2013, 5, 47–52.
5. Kittel, T.G.; Howard, S.G.; Horn, H.; Kittel, G.M.; Fairbairns, M.; Iachetti, P. A vulnerability-based strategy to incorporate climate change in regional conservation planning: Framework and case study for the British Columbia Central Interior. *J. Ecosyst. Manag.* 2011, 12, 7–35.
6. Wamsler, C.; Niven, L.; Beery, T.; Bramryd, T.; Ekelund, N.; Jönsson, K.I.; Osmani, A.; Palo, T. St Operationalizing ecosystem-based adaptation: Harnessing ecosystem services to buffer communities against climate change. *Ecol. Soc.* 2016, 21.
7. Busayo, E.T.; Kalumba, A.M.; Afuye, G.A.; Ekundayo, O.Y.; Oriomoloye, I.R. Assessment of the Sendai framework for disaster risk reduction studies since 2015. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 2020, 50, 101906.
8. Redford, K.H.; Hulvey, K.B.; Williamson, M.A.; Schwartz, M.W. Assessment of the Conservation Measures Partnership's effort to improve conservation outcomes through adaptive management. *Conserv. Biol.* 2018, 32, 926–937.
9. Āboliņa A., Piterāns A., Bambe B. 2015. Latvijas ķērpji un sūnas. Taksonu saraksts. Salaspils: LVMI "Silava", Daugavpils Universitātes akadēmiskais apgāds "Saule", 218 lpp.
10. Gavrilova Ģ., Šulcs V. (1999) Latvijas vaskulāro augu flora. Taksonu saraksts. Rīga: Latvijas Akadēmiskā bibliotēka, 136 lpp.
11. Braun-Blanquet J. (1964) *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien: Springer Verlag, 865 S.
12. McCune, B., & Mefford, M. J. (2016). *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 7*. MJM Software Design.
13. Koleff, P., Gaston, K.J., Lennon, J.J. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* 72(3): 367–382.
14. Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., De Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000): Biodiversity hotspots for conservation priorities. – *Nature* 403: 853-858.
15. Kreyling, J., Haei, M., Laudon, H. (2012): Absence of snow cover reduces understory plant cover and alters plant community composition in boreal forests. – *Oecologia* 168(2): 577-587.
16. Turner, M.G. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* **2010**, 91, 2833–2849.
17. Wang, X.; Piao, S.; Ciais, P.; Li, J.; Friedlingstein, P.; Koven, C.; Chen, A. Spring temperature change and its implication in the change of vegetation growth in North America from 1982 to 2006. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2011**, 108, 1240–1245.
18. Wiedermann, M.M., Nordin, A., Gunnarsson, U., Nilsson, M.B., Ericson, L. (2007): Global change shifts vegetation and plant-parasite interactions in a boreal mire. – *Ecology* 88(2): 454-464

4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā

Veiktas visas šajā etapā plānotās analīzes, dati nodoti iekļaušanai augšanas gaitas modeļos, kas tiek aktualizēti pētījumā “Atsevišķu koku un to grupu augšanas gaitas mijiedarbības monitorings un novērtēšana”.

4.1. Klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem: egles

Klimata komponēšu sagatavošanai augšana gaitas modeļu papildināšanai izmantoti atkārtotie mērījumi un augstuma pieauguma rekonstrukcija no četrām zema biežuma (stādīšanas biežums 275–625 koki ha⁻¹) vietējo pluskoku klonu plantācijām. Pluskoku klonu plantācijas izvēlētas, jo tās raksturo populācijas daļu, kas nodrošina saimnieciski nozīmīgu meža reproduktīvo materiālu (uzlabotais stādmateriāls no sēklu plantācijām). Izmantots materiāls no Druvēnu, Jurgu, Valguma un Skutuļu plantācijām, kurās koki uzmērīti attiecīgi 50 un 59, 52 un 56, 50 un 59, kā arī 24 un 32 gadu vecumā. Papildus, Druvēnu plantācijā 35 kokiem (četri kloni; Zeltiņš et al., 2022) izmantota augstuma rekonstrukcija no stumbra analīzes, proti augstuma pieauguma laika rindas ar viena gada izšķirtspēju. Kopumā augstuma pieauguma mērījumi reprezentēja 165 klonu augšanu Latvijas klimata kontinentalitātes gradientā (Gailis, 1993), kas kopumā raksturoti ar 3970 augstuma mērījumu pāriem.

Mērījumu dati organizēti pāros, tādējādi novērojums raksturo pieauguma izmaiņas atkarībā no vecuma izmaiņām (attiecīgi h_1 un h_2 un a_1 un a_2) individuālam kokam atbilstoši vispārinātās algebriskās differences modeļu pieejai (Sharma et al., 2017, 2015, 2011). Pieauguma modelis atvasināts no Hosfelda (Hosfeld) bāzes augstuma modeļa (Sharma et al., 2011; Cieszewski, 2002):

$$h_1 = \frac{b_1 + \frac{h_0 - b_1}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}{1 + \frac{t_1^{-b_3} b_2 (h_0 - b_1)}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}, \quad (1)$$

kur b_1 , b_2 , b_3 – koeficienti, a_1 – sākotnējais vecums (gadi), h_1 – sākotnējais augstums (m), a_2 – mērķa vecums (gadi), h_2 – augstums vecumā a_2 (m). Meteoroloģiskās komponentes, kas aprēķinātas kā vidējā periodiskā vērtība ($\bar{x}$) testētas atvasinājumā kā lineāri ($\gamma_a x + \gamma_b$) neatkarīgi koeficientu aizstājēji. Meteoroloģiskie mainīgie, mēnešu rādītāji iegūti no brīvpieejas repozitorija (Harris et al., 2020). Analīzē iekļauti mēnešu vidējā diennakts vidējā, minimāla un maksimāla temperatūra, potenciālā evapotranspirācija, dienu ar salu skaits, nokrišņu summa, mākoņaino dienu skaits, dienu ar nokrišņiem skaits. Papildu aprēķināti aktīvās augšanas sezonas (maijs jūlijs) sausuma indekss (Vicente-Serrano et al., 2010) un pavasara (mart-aprīlis) vidējā temperatūra, kas uzrādīja saistības ar pieauguma ikgadējo mainību (Matisons et al., 2021e), kā arī gada vidējā temperatūra (Mäkinen et al., 2018; Salminen and Jalkanen, 2005). Klons atvasinātajos modeļos testēts kā randomais efekts, kas var mijiedarboties ar koeficientiem (b_1 , b_2 , b_3), kā arī ar to klimatisko aizstājēju ($\gamma_{a..z}$) koeficientiem dažādās kombinācijās. Modeļos iekļauta autokorelācija. Modeļu atlase veikta balstoties uz AIC un kļūdu rādītājiem (Sharma et al., 2017, 2011). Modeļiem vērtēta atbilstība statistiskajiem pieņēmumiem, modeļa prognozēm vērtēts bioloģiskais un ekoloģiskais reālisms. Randomo efektu struktūras un meteoroloģisko komponentu efektivitāte testēta ekstensīvi izmantojot cikla funkciju. Modeļi kalibrēti pret nedalītu datu kopu (Sharma et al., 2017). Modelēšanai izmantota REML (Restricted Maximum Likelihood) pieeja pieļaujot starp subjektiem heterogēnas dispersijas.

Analīzes periodā no testētajām > 5000 kombinācijām kā vislabāk empīriskos datus aprakstošais novērtētais modelis, kas saturēja divus meteoroloģiskās komponentes, kas aizstāja b_1 un b_2 koeficientus, attiecīgi papildinot modeli ar attiecīgi γ_0 un γ_1 , kā arī γ_2 un γ_3 , no kuriem pirmie divi bija klonam specifiski. Klonam specifisks bija arī b_3 koeficients. Attiecīgi labākais modelis bija:

$$h_2 = \frac{\gamma_0 + \gamma_1 * \text{TMP.mar.apr} + \left(\frac{h_1 - \gamma_0 - \gamma_1 * \text{TMP.mar.apr}}{1 - (\gamma_2 + \gamma_3 * \exp(\text{SPEI3})) * h_1 * a_1 - b_3} \right)}{1 + (\gamma_2 + \gamma_3 * \exp(\text{SPEI3})) * \left(\frac{h_1 - \gamma_0 - \gamma_1 * \text{TMP.mar.apr}}{1 - (\gamma_2 + \gamma_3 * \exp(\text{SPEI3})) * h_1 * a_1 - b_3} \right) * a_2 - b_3}, \quad (2)$$

kur a_1 – sākotnējais vecums (gadi), h_1 – sākotnējais augstums (m), a_2 – mērķa vecums (gadi), h_2 – augstums vecumā a_2 (m), TMP.mar.apr. – vidējā periodiskā marta un aprīļa gaisa temperatūra attiecīgā prognozes periodam (°C), SPEI3 – vidējais periodiskais maija līdz jūlija trīs mēnešu sausuma indekss (Vicente-Serrano et al., 2010), b_3 , – modeļa koeficients, γ_0 , γ_1 , γ_2 , γ_3 – meteoroloģisko lineāro funkciju koeficienti.

Atlasītais modelis parādīja augstu determinācijas spēju un attiecīgi marginālais un kondicionālais determinācijas koeficients bija 0,978 un 0,984. Jāpiezīmē, ka atšķirība starp determinācijas koeficientiem bija neliela, norādot uz samērā maz izteiktām klonālajām atšķirībām, kas saskan ar iepriekš novēroto mēreno lokālo ģenētisko adaptāciju (Liepe et al., 2022). Novērtētie modeļi ir dinamiski, tādējādi novērotais klonālais efekts sasitām ar pieauguma jutību un pieaugumu, kas attiecināts pret laika vienību (gadu). Attiecīgi, ilgtermiņā šim efektam visticamāk ir kumulatīvs efekts, kā novērtos attiecībā uz koku augstumu (Zeltiņš et al., 2019). Atlasītais modelis raksturoja koku augstumu ar 0.89 m precizitāti, ko parādīja aprēķinātā kvadrātiskā kļūda (RMSE). Modeļa koeficienti un to klonālās atšķirības izpausmes (randomo efektu standartnovirzes) parādītas 4.1.1. tabulā.

4.1.1. tabula

Atlasītā augstuma augšanas gaitas modeļa, kas papildināts ar meteoroloģiskajām komponentēm, koeficienti to ticamība un klonālā mainība.

	γ_0	γ_1	γ_2	γ_3	b_3
Vērtība	31.1351	-0.5164	26.5003	-0.6575	1.5961
Standartkļūda	0.5457	0.1191	4.7228	0.2371	0.0421
t-vērtība	57.1	-4.3	5.6	-2.8	37.9
p-vērtība	<0.001	<0.001	<0.001	0.006	<0.001
Randomo efektu standartnovirzes					
Koeficientu	2.6779	0.0010			0.0168
Atlikuma			0.9099		

Atlasītajā modelī iekļautās meteoroloģiskās komponentes atbilda galvenajiem reģionālajiem pieaugumu noteicošajiem meteoroloģiskajiem apstākļiem (Matisons et al., 2021p,e; Jansons et al., 2015) apliecinot kompleksu klimatisku augšanas kontroli. Atlasītās meteoroloģiskās komponentes ir izteikti sastātas ar klimata pārmaiņām reģionā (Meier et al., 2022) norādot uz to praktisko un ekoloģisko nozīmību. Modelī iekļauto meteoroloģisko komponentu ietekmes uz pieaugumu uzskaitāmās par kompensatorām (Matisons et al., 2021e; Reyer et al., 2014), liecinot par efektu sabalansētību un modeļa ekoloģisko ticamību un reprezentativitāti, lai arī to koeficienti ir pozitīvi (4.1.1.tab.). Proti, globālās klimata pārmaiņu rezultātā paaugstinās pavasara temperatūra, kam novērota ieteikti pozitīva ietekme uz papildpieaugumu (4.2.2. att.). Savukārt pozitīvās saistība ar sausuma indeksu SPEI, kas reprezentē ūdens bilanci (Vicente-Serrano et al., 2010), un kam novērtēta pozitīva ietekme (4.1.1.tab.), norāda uz pieauguma mazināšanos mitruma režīmam kļūstot heterogēnākam un sausuma periodiem pagarinoties (Meier et al., 2022). Tādējādi meteoroloģiskajām komponentēm sagaidāmi kontrastējoši efekti, kas saistāmi ar koku augšana izmaiņu diversifikāciju (Reyer et al., 2014; Lindner et al., 2014). Izteiktākās klonālās atšķirības novērtētas γ_0 , kas ir pavasara temperatūras intersepts (brīvais loceklis), kas saistāms ar genotipu pielāgojumiem pret miera perioda temperatūras režīmu (Liepe et al., 2022; Zeltiņš et al., 2021, 2019). Pārējie koeficienti norāda uz reģionālām pieauguma reakcijām. Tomēr jāpiezīmē, ka

augšanas gaitas modelī testēti tikai lineāri meteoroloģiskie efekti, lai arī pieauguma jutības analīze uzrādīja nelineāras saistības (4.2.2.att.), norādot uz laikā ierobežotu ekstrapolāciju (Wilmking et al., 2020). Nelineāras ietekmes ticams novērtējums nebija iespējams pieejamās datu kopas apjoma dēļ (izmēģinājuma gadījumos modeļi nekonverģēja). Tomēr jāņem vērā, ka nelineāri augšanas modeļi pēc definīcijas ietver pieguma plastiskumu (Sharma et al., 2017, 2011; Billings et al., 2015; Cieszewski, 2002), tādejādi nodrošinot to ekstrapolējamību.

4.2. Novērtēt klimata ekstrēmu ietekmi uz egļu pieaugumu

Lai visaptveroši raksturotu meteoroloģisko apstākļu un to ekstrēmu, kas ir novirzes no klimatiskās normas (30 gadu vidējās vērtības) par vairāk kā divām standartnovirzēm (σ) analizēts gan augstuma, gan radiālais pieaugums. Ņemot vērā klimata mainību un sagaidāms izmaiņas kokaugu reakcijā (Wilmking et al., 2020), pieguma reakcijas analīze veikta maksimāli plašā klimatiskā gradientā. Attiecīgi, radiālā pieauguma jutības uz ekstrēmiem analīze balstīta uz reģionālu datu kopu. Savukārt augstuma pieauguma analīzei izmantoti vietējo pluskoku kloni no vienas plantācijas, tādejādi raksturojot lokālās adaptācijas iezīmes un selekcijas potenciālu (Housset et al., 2018; Moran et al., 2017).

4.2.1. Augstuma pieauguma mainība

Augstuma pieauguma meteoroloģiskās jutības raksturošanai izmantots materiāls no 1964. gadā ierīkotas zemas biežības klonālās plantācijas (Druvēni, Kalsnava). Plantācija aizveidota uz bijušās lauksaimniecības zemes (salīdzināma ar damaksni). Plantācijā pārstāvēti 20 egles pluskoku kloni, no kuriem balstoties uz radiālā pieauguma specifiku (Zeltiņš et al., 2022), atlasīti četri, kas atšķīrās ar gaitu. Proti atlasīti relatīvi lēnaudzīgs (zem plantācijas vidējā), mēreni produktīvs, produktīvs un izcili produktīvs kloni. Atlase veikta, lai raksturotu pieauguma jutības un plastiskuma potenciālās saistības ar produktivitāti. Katram klonam paraugoti desmit paraugkoki (izcilajam klonam pieci, lai saglabātu pārstāvētību), kas atbilda plantācijas un klona stumbru diametra sadalījuma (atbilstoši pēdējai inventarizācijai). Paraugkoki nozāģēti, sagarināti un to stumbri pāršķelti sagītāli diametrāli. Augstuma pieaugums mērīts tieši. Mērījumu datējumu kvalitātes nodrošināšanai veikta verifikācija izmantojot gadskārtas stumbra nogriežņu galos. Mērījumu laika rindas savstarpēji šķērsdatētas kvalitātes un datējuma pārbaudei.

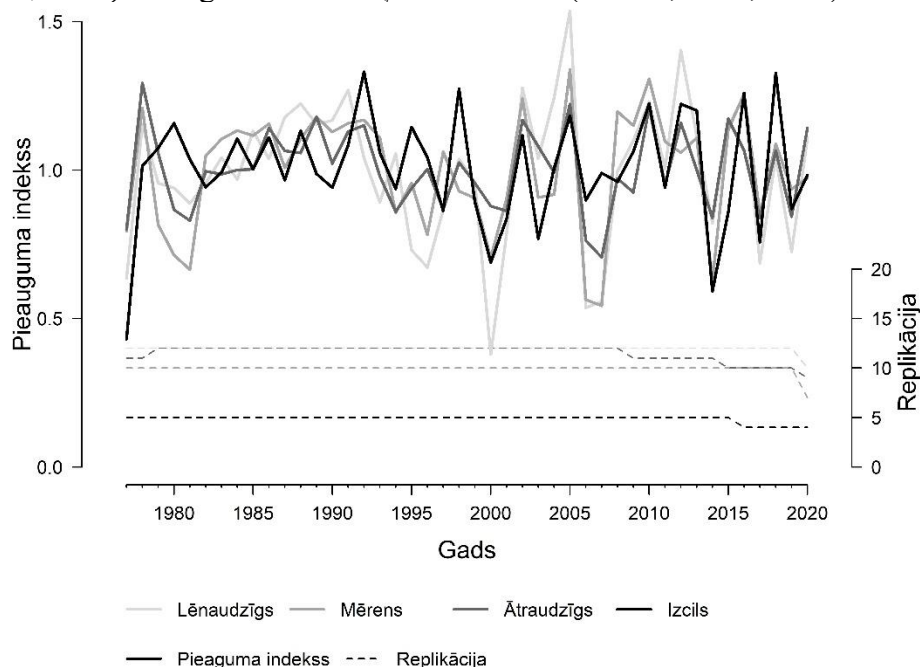
Mērījumu sērijas detrendētas izmantojot fleksiblu kubisko līkni ar 30 gadu viļņa garumu un tām noņemta autokorelācija. Izmantojot vispārinātu aditīvu modeļi veikta multiplā regresija, kas pieļauj nelineāras atbildes reakcijas (Wood, 2011), novērtēta meteoroloģiskāko apstākļu kompleksa ietekme (parciālie efekti) uz augstuma pieaugumu. Modeļi balstīti uz detrendētām individuālu koku laika rindā, attiecīgi koks un gads iekļauti kā randomie efekti. Fiksēto (meteoroloģisko) mainīgo efekti atlasīti veicot visiem kloniem vienlaicīgi un kompleksi, tādejādi uzsverot klonālās atšķirības. Datu kopa (koki) tika dalīta kalibrācijas un verifikācijas (attiecīgi 80% un 20%) apakškopās.

Augstuma pieauguma laika rindu datu kopas bija informatīvas vides ietekmju reprezentēšanai, par ko liecināja aprēķinātie radītāji (Wigley et al., 1984). Ikgadējā augstuma pieauguma mainība pētītajiem kloniem bija kopumā sinhrona, bet klonālās atšķirības izpaudās reakcijas intensitātē, kas atšķīrās starp gadiem (4.2.1. attēls.). Vispārinot pieauguma reakcijas konstatēts, ka pieauguma reakcijas bija kompleksas un klonam specifiskas (4.2.2. attēls.). Pieauguma meteoroloģiskā kontrole kopumā bija izteiktāka mazāk produktīvākajiem kloniem, kas parādīja augstāku R^2_c , liecinot par jutības un produktivitātes saistībām. Lai arī bija analizēts augstuma pieaugums no vienas audzes ierobežotā laika posmā, vairums no būtiskajām pieauguma atbildes reakcijām bija nelineāras un norādīja uz vides apstākļu optimumu. Vienlaikus, meteoroloģiskās atbildes reakcijas nelinearitāte norāda uz klimata ietekmi, izteikti norādot uz lineāro saistību izmaiņām (plastiskumu) klimatam mainoties (Billings et al., 2015). Šādas atbildes reakcijas arī norāda uz izteiktu temporālo klimatisko gradientu, kas var liecināt

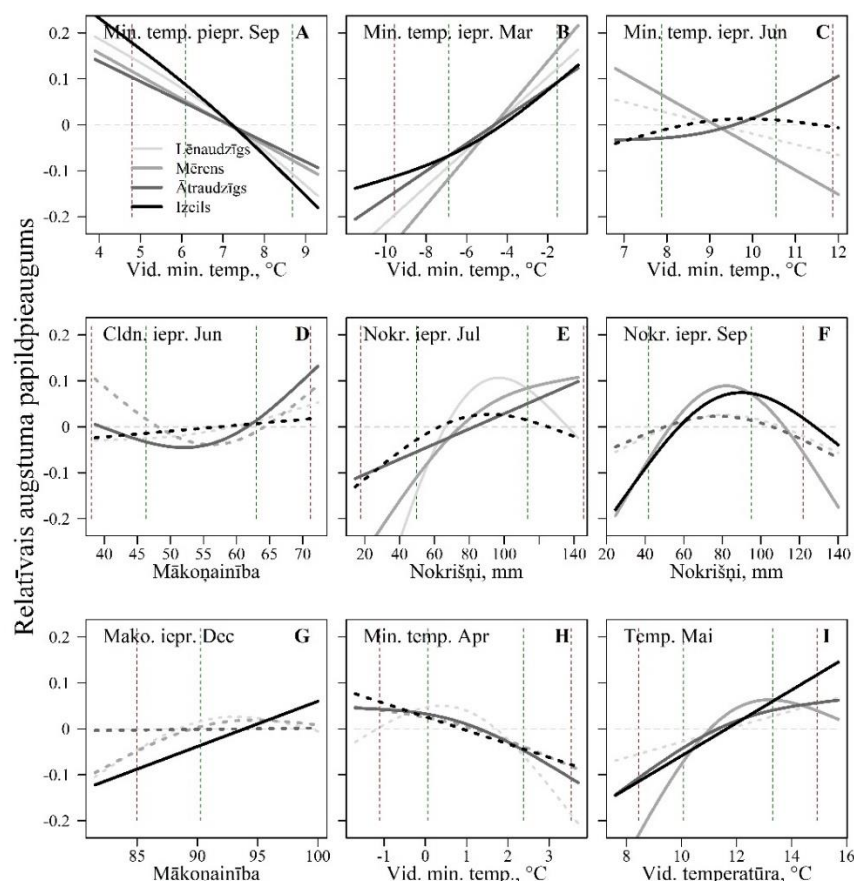
liecina par klimatisko apstākļu marginalitātes pieaugumu no pētīto genotipu perspektīvas (Wilmking et al., 2020; Cavin and Jump, 2017).

Minimālā vidējā temperatūra septembrī pirms iepriekšējā, kas bija būtiska visiem kloniem, parādīja izteiktāko ietekmi uz izcilo klonu (4.2.2. attēls. A), kas parādīja nelineāru reakciju ar pārliekuma punktu ap 7,0 °C, pārsniedzot kuru reakcija nedaudz pārstiprinājās. Tomēr ņemot vērā, ka atbildes reakcijas līknes bija lineāras vai gandrīz lineāras, attiecīgā meteoroloģiskā mainīga ekstrēmiem, kas visticamāk ir pieaugums (Meier et al., 2022), ir sagaidāma proporcionāla ietekme uz pieaugumu. Šāda ietekmes pārnese laikā ir raksturīga augstuma pieaugumam, kas ir divu gadu process (Lanner, 1978, 1976). Minimālajai vidējai temperatūrai iepriekšējā Martā (4.2.2. attēls. B) bija izteiktākā pozitīva ietekme uz mazāk produktīvajiem (lēnaudzīgo un mēreno) kloniem, kas uzrādīja lineāras pieauguma saistības. Izcilajam klonam, turpretim, novērota mērenāka nelineāra atbildes reakcija, kam raksturīgs pārliekuma punkts ap -6 °C, kuru pārsniedzot ietekme nedaudz pastiprinās. Attiecīgi, izcilais klons ir mazāk jutīgs pret arktisko masu ieplūdi ziemas beigās un krasu temperatūras pazemināšanos, kas ir viens no klimata pārmaiņu riskiem (Meier et al., 2022). Jāuzsver, ka pētītajā lokācijā attiecīgie ekstrēmi ir saistāmi ar temperatūras pazemināšanos.

Iepriekšējā jūnija temperatūras ietekme izteikti atšķīrās starp kloniem (4.2.2.att. C). Mēreni produktīvais un produktīvais klons uzrādīja kontrastējošu atbildes reakciju pret iepriekšējā jūnija temperatūru, bet pārējiem diviem kloniem saistības nebija būtiskas. Mēreni produktīvais parādīja lineāru negatīvu saikni ar iepriekšējā jūnija temperatūru, liecinot par proporcionālām pieauguma izmaiņām arī attiecībā pret ekstrēmiem. Ātraudzīgais klons, turpretim, novērota pozitīva nelineāra augšanas reakcija, kas raksturīga gados ar attiecīgā mainīgā vērtību virs 9 °C un ir izteiktāka ekstrēmi siltos apstākļos. Mākoņainībai iepriekšējā jūnijā, novērota ātraudzīgajam klonam specifiska kvadrātiska atbildes reakcija (4.2.2.att. D), kas bija līdzīga kā temperatūrai. Attiecīgi, paaugstinātai Mākoņainībai un (it īpaši tās pozitīvajiem ekstrēmiem) novērota neproporcionāla pozitīva ietekme uz pieauguma veidošanos, ka skaidrojams ar zemāku evapotranspirāciju, kas sekmē asimilāciju (Mäkinen et al., 2018; Prendin et al., 2018) un augšanas aizmetņu veidošanos (Lanner, 1985, 1976).



4.2.1. attēls. Pētīto egles klonu augstuma pieauguma ikgadējās mainības komponente, ko atspoguļo atlikumu hronoloģiju indeksu vērtības, kā arī datu kopas replikācijas izmaiņas laikā (1977.–2020. gads).



Zaļās un sarkanās raustītās līnijas parāda attiecīgā meteoroloģiskā mainīgā 1 σ un 2 σ izkliedes intervālus.

4.2.2. attēls. Pētīto egles pluskoku klonu augstuma pieauguma atbildes reakcijas uz meteoroloģiskajiem apstākļiem references periodā no 1980. līdz 2020. gadam stādījumā Druvēnos, Kalsnavā.

Klonam specifiska ietekme novērota nokrišņu daudzuma iepriekšējā jūlijā un septembrī, kas ir saistāmi ar ģeneratīvo un veģetatīvo aizmetņu attiecību un pieaugumu nākamajā gadā (Hacket-Pain et al., 2018, Lanner, 1978). Nokrišņiem jūlijā kopumā novērota pozitīva ietekme uz lēnaudzīgā, mērenā un ātraudzīgā klonu pieaugumu (4.2.2. attēls. E). Ātraudzīgajam klonam novērota pozitīva lineāra reakcija, bet mērenajam konam raksturīgs jutības zudums, nokrišņu daudzumam pārsniedzot 100 mm mēnesī, bet augsta jutība pret ekstrēmi sausiem apstākļiem. Savukārt, lēnaudzīgajam klonam raksturīgs krass pieauguma kritums gan sausos, gan pārmitros apstākļos, norādot uz īpašu uzņēmību pret nokrišņu ekstrēmiem. Mērenais un izcilais klons parādīja negatīvu kubisku pieauguma reakciju pret nokrišņiem iepriekšējā septembrī (4.2.2. attēls. F), bet izcilajam klonam raksturīgs mazāks pieauguma kritums ekstrēmi augstu nokrišņu gadījumā; ekstrēmi mazi nokrišņu ietekme abiem kloniem ir līdzīga. Pārējie kloni neparādīja saistības ar šo mainīgo. Izcilais klons parādīja pozitīvu lineāru mākoņainības Decembrī ietekmi (4.2.2. attēls. G), kas skaidrojama ar maigākiem laikapstākļiem un mazākiem barības vielu zudumiem (Linkosalo et al., 2014; Ögren, 1997).

Aprīļa temperatūrai bija būtiska nelineāra negatīva ietekme uz ātraudzīgā klonu pieaugumu (4.2.2.attēls. G), kas pastiprinājās virs 1.0 °C, norādot uz sagaidāmiem neproporcionāliem pieauguma samazinājumiem, klimatam kļūstot siltākam un siltuma ekstrēmiem kļūstot intensīvākiem un biežākiem (Meier et al., 2022). Arktisko gaisa masu ieplūdei, nav prognozējama ietekme uz pieaugumu, norādot uz pētīto genotipu adaptācijām aukstam klimatam (Liepe et al., 2022; Isaac-Renton, et al., 2018). Maija temperatūra, kas sasītamā ar pieauguma aizmetņu pagarināšanās sākumu (Lanner, 1976), kad dzinumi ir uzņēmīgi pret salnām (Silvestro et al., 2019), ietekmēja augstuma pieaugumu visiem izņemot mazāk produktīvo klonu, bet atbildes reakcijas atšķīrās. Mēreni produktīvā un produktīvā klonu

pieauguma reakcijas uzrādīja sliekšņa vērtības (ap 11,5°C), zem kurām novērotas pozitīvas saistības, kas bija stiprākas mēreni produktīvajam klonā. Izcilais klons parādīja lineāras saistības norādot uz reakcijas neatkarību no klimatiskajiem apstākļiem. Tādējādi, augstuma pieauguma ikgadējās mainības ietekmējošie meteoroloģiskie apstākļi parādīja laikā kompleksas saistības, kas atšķīrās starp genotipiem, kas saskan ar prognozētajam heterogēnajām mežu produktivitātes izmaiņām klimata pārmaiņu dēļ (Reyer et al., 2014; Lindner et al., 2014).

4.2.2. Radiālā pieauguma mainība

Radiālā pieauguma reakcijas uz meteoroloģisko apstākļu mainību un to ekstrēmiem raksturošanai izmantoti dati no radiālā pieauguma (gadskārtu laika rindu /hronoloģiju) tīkla, kas raksturo Baltijas jūrās reģiona austrumu daļu (no Somijas dienvidiem līdz Vācijas ziemeļiem). Audzes atlasītas no meža reģistriem ar nosacījumu, ka tām jābūt pieaugušām, saimnieciskām, ar automorfām mezotrofām augsnēm un platību > 0,7 ha, kā arī jāreprezentē lokālos apstākļus. Attiecīgi, lokācijās (valstīs) paraugošanai atlasītas no trim līdz sešām audzēm. Atlasītajās audzēs izvēlēti no 15–30 dominanti, nesagāzušies un vizuāli veseli koki. No katra koka krūšu augstumā ievākti divi pieauguma urbumi no nejaušām pretējām stumbra pusēm. Laboratorijā urbumi fiksēti, slīpēti un gadskārtas mērītas manuāli ar LINATB 6 mērgaldu.

Mērījumu laika rindu kvalitāte pārbaudīta ar grafisku un statistisku šķersdatēšanu audzes, lokācijas (valsts) un reģiona līmenī. Šķersdatētas datu kopas detrendētas (multiplikatīvā dispersijas dekonstrukcija) ar negatīvi eksponenciālo līkni un kubisko splainu, kā arī noņemta autokorelācija. Audžu atlikuma hronoloģijas izveidotas parēķinot katram gadam divsvaru svērto vidējo indeksa vērtību, kas raksturo ikgadējo relatīvo papildpieaugumu. Galveno komponentu analizē (ordinācija) veikta lai raksturotu audžu hronoloģiju līdzību. Lai raksturotu kompleksu meteoroloģisko apstākļu kontroli pār radiālo pieaugumu reģionālā klimatiskā gradientā (Wilmking et al., 2020; Matison et al., 2019p), izmantots jaukta tipa aditīvs modelis (Wood, 2011). Par atbildes mainīgo izmantotas audžu atlikuma hronoloģiju indeksu vērtības, meteoroloģiskie mainīgie (mēnešu vidēja temperatūra, nokrišņu daudzums un sausuma indekss (SPEI; Vicente-Serrano et al., 2010) testēti kā ietekmējošie mainīgie. Gads un audze izmantoti kā pakārtoti randomie efekti, lai ņemtu vērā telpiskās atkarības un atkarības laikā. Analīze veikta references periodam no 1954. gada līdz 2017. gadam. Slīdošā intervāla (30 gadi) neparametriski stacionāri būsstrapota korelācijas Pīrsona analīze (Zang and Biondi, 2015) starp audžu atlikuma hronoloģijām un meteoroloģiskajiem mainīgajiem references periodā veikta, lai novērtētu pieauguma un meteoroloģisko apstākļu saistību izmaiņas laikā (stacionaritāti, Wilmking et al., 2020) audzēs Latvijā.

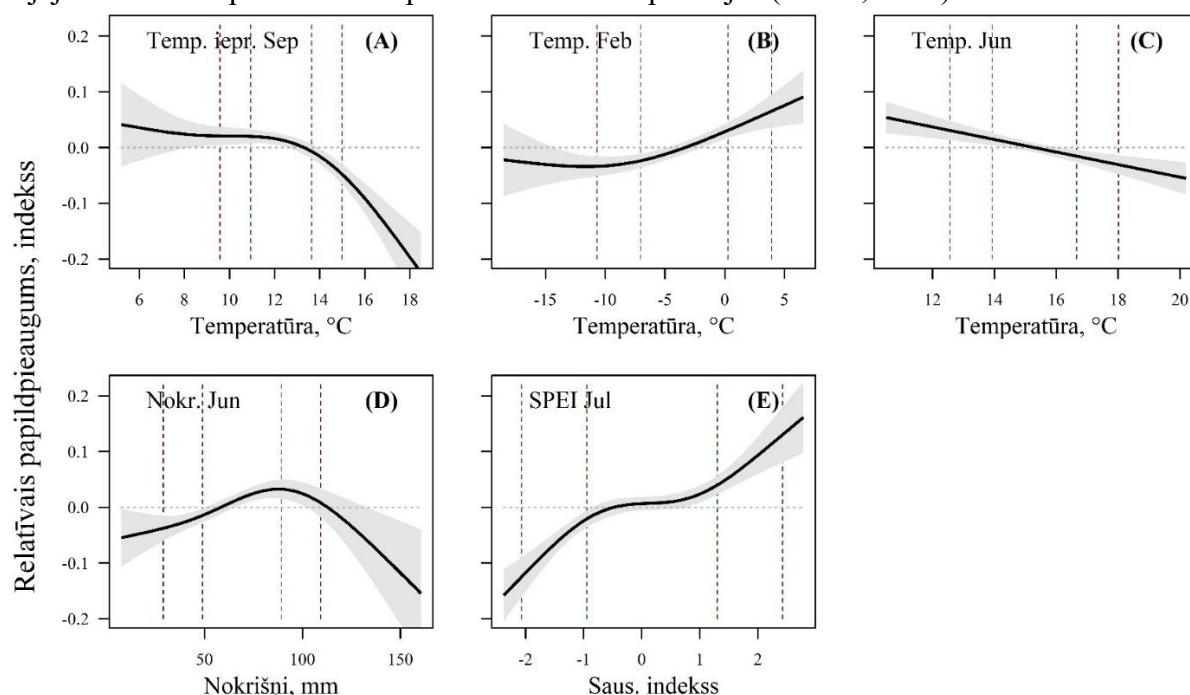
Izveidotās audžu pieauguma hronoloģijas lokācijās bija sinhronas, norādot uz kopīgu vides apstākļu ietekmi, un sinhronitātei bija tendence pieaugt ar vecumu, kas saistāms ar jutības pastiprināšanos (Prendin et al., 2018), kā arī pārmaiņām klimatā (Wilmking et al., 2020). Attiecīgi lokālās atšķirības radiālā pieauguma mainībā bija saistītas ar vides ietekmju izpausmes stiprumu “normālajos” gados, savukārt izteiktākie pieauguma kritumi “ekstrēmie gadi” vairumā gadījumu bija ļoti līdzīgi audzēm lokācijā. Šie kritumi parādīja līdzības arī reģiona līmenī, lai gan graduālas ģeogrāfiskas izmaiņas novērotas to datējumā, norādot uz izteiktu reģionālu pieauguma reakcijas gradientu, kas visticamāk ir saistāms ar klimatu (Meier et al., 2022), jo lokālās adaptācijām var nebūt izteikta ģeogrāfiskā gradienta (Liepe et al., 2022).

Novērtējot pieauguma mainības (hronoloģiju) līdzību ar galveno komponentu analīzi, novērtēts, ka gadskārtu pieauguma mainībā ir izteiktas vairākas reģionālas iezīmes, par ko liecināja mērens pirmo komponentu izskaidrotās variācijas īpatsvars. Attiecīgi, pirmās divas komponentes uzskatāmas par nozīmīgām (būtiskām), kuru īpašvērtības bija lielākas par 1,0. Veicot audžu hronoloģija ordināciju balstoties uz pirmo divu komponentu vērtībām, novērojams izteikts ģeogrāfisks gradients un grupēšanās atbilstoši lokācijai.

Pirmā komponente izteikti reprezentēja Z–D ģeogrāfisko/klimatisko gradientu, vienlaikus nošķirot Vācijas un Polijas audzes, kas skaidrojams ar klimatisko apstākļu marginalitāti (Klisz et al., 2019), kā arī ar reģionālajām ģenētiskām populāciju atšķirībām (Liepe et al., 2022; Bucci

and Vendramin, 2000; Hewitt, 2000). Otrais gradients, savukārt pirmšķietami skaidrojams ar lokālo ģenētisko adaptāciju, proti Austrumprūsijas priedes izcelsmes reģionu (Bucci and Vendramin, 2000) vai arī ar gaisa masu pārvietošanās un nokrišņu režīma specifiku (Meier et al., 2022). Attiecīgi, novērotie gradienti gadskārtu pieauguma mainībā ir saistāmi ar ziemas temperatūras un nokrišņu/sausuma un to izmaiņām.

Vispārinot pieauguma reakciju pret meteoroloģiskajiem apstākļiem reģionālajā klimatiskajā gradientā novērota piecu meteoroloģisko mainīgo ietekme (4.2.3. attēls.), no kuriem četriem novērtēta nelineāra atbildes reakcija. Meteoroloģisko apstākļu ietekmes nelinearitāte izceļ klimata ietekmi uz pieauguma un meteoroloģisko apstākļu saistību un tās nepastāvību mainību sagaidāmo vides pārmaiņu kontekstā (Billings et al., 2015). Izmaiņas uzskatāmi vērojamas izmantojot sašaurinātu slidošu references intervālu (daļa no kopējā gradienta), kas reprezentē lokālus apstākļus, piemēram kādas koakcijas meteoroloģisko apstākļu 1 σ izkliedi. Izveidotais modelis izskaidroja ap 20 % no kopējās variācija, kas ir uzskatāms par mēreni augstu, ņemot vērā ekoloģisko datu kompleksumu. Temperatūrai iepriekšējā septembrī (4.2.3. attēls, A), kas saistāma ar augšanas un reprodukcijas atkarībām, t.sk. sēklu ražas gadiem (Hacket-Pain et al., 2018), ietekmei novērtēta sliekšņa vērtība (ap 12.0 °C), kuru pārsniedzot novērota izteikta negatīva pieauguma reakcija. Šai reakcijai ir tendence pastiprināties pieaugot temperatūrai, norādot uz neproporcionālu ietekmi pret siltuma anomālijām, vienlaikus pieaugumam nereaģējot uz zemas temperatūras anomālijām. Līdzīgi, atbildes reakcija ar sliekšni novērtēta pret Februāra temperatūru (4.2.3. attēls, B), proti, pārsniedzot -7.5 °C novērota pozitīva ietekme, kam ir tendence pastiprināties, norādot uz sagaidāmas ziemu pasiltināšanās un tās ekstrēmu neproporcionāli pozitīvu ietekmi uz pieauguma veidošanas sekojošā augšanas sezonā. Gadiem ar ekstrēmi aukstām ziemā, nav novērota negatīva ietekme uz pieauguma veidošanos, lai gan jāpiemin, ka atbildes reakcija šādos gadījumos pieaug. Novērotā februāra temperatūras ietekme ir saistāma ar iespējamu papildus asimilāciju siltākos apstākļos (Hansen et al., 1996), kā arī ar mazākiem sala bojājumiem un nepieciešamību pēc resursiem to reparācijas (Pierce, 2001).



Poligoni parāda 95% ticamības intervālu. Zaļās un sarkanās raustītās līnijas parāda attiecīgā meteoroloģiskā mainīgā 1 σ un 2 σ izkliedes intervālus Latvijas centrālajā daļā.

4.2.3. attēls. Brīvapputes saimnieciskās mezotrofās audzēs augošo egļu radiālā pieauguma ikgadējās mainības atbildes reakcija un meteoroloģiskajiem mainīgajiem.

Temperatūrai jūnijā novērtēta lineāra negatīva ietekme uz radiālo pieaugumu (4.2.3. attēls, C), kas saistāma ar paaugstinātu evapotranspirāciju, kas samazina asimilāciju un pieaugumu (Mäkinen et al., 2018; Isaac-Renton et al., 2018). Lineāra atbildes reakcija norāda uz ietekmes stacionaritāti (nemainību; Wilmking et al., 2020), līdz ar to proporcionālu jūnija temperatūras mainības ietekmi. Jūnija nokrišņu daudzumam, savukārt, novērota zvanveida atbildes reakcija ar optimumu ap 60–100 mm mēnesī, kas uzskatāms par mēreni mitriem apstākļiem (4.2.3. att. D), lai gan jūnija nokrišņu normālās mainības (1σ) intervālā novērota lineārai tuvināta pozitīvs ietekme, kas norāda uz jutību pret sausumu. Ekstrēmi mazu nokrišņu gadījumā gan novērojams neproporcionāli mazs pieauguma samazinājums, kas skaidrojams ar augsnes ūdens pieejamību. Turpretim, ekstrēmi lielam nokrišņu daudzumam, kas saistāms ar vēsiem no mākoņainiem apstākļiem, ir izteikt negatīva ietekme uz pieaugumu, kas skaidrojama ar nepietiekamu saules radiācijas daudzumu (Strand et al., 2006). Sigmundā reakcija uz ūdens bilanci, ko reprezentē sausuma indekss SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010), norādīja uz izteiktu pozitīvu pieauguma reakciju uz ekstrēmiem apstākļiem. Attiecīgi, ekstrēmā sausuma samazinājums vienā gadā ver tikt kompensēts ekstrēmi slapjās vasarās citos gados. Ņemot vērā prognozēto nokrišņu režīma diversifikāciju (Meier et al., 2022, Allen et al., 2015), sausuma ietekmei uz pieaugumu jābūt kompensētai ar uzlabotu pieaugumu citos gados. Šī prognoze neņem vērā sausuma pēctecības efektus, piemēram, kaitēkļu savairošanos, kas ir nozīmīgākais egļu mirsties faktors (Venäläinen et al., 2020; Seidl et al., 2017). “Normālai” ikgadējai jūlija mitruma apstākļu variācijai nav novērota būtiska ietekme uz pieaugumu, kas skaidrojams ar populācijas pielāgotību lokālajiem apstākļiem (Liepe et al., 2022).

4.3. Augšanu limitējošo faktoru izmaiņu novērtējums, ietverot klimata komponenti augšanas gaitas modeļos

Parastās egles radiālo pieaugumu limitējošo meteoroloģisko faktoru izmaiņu novērtējums balstīts uz gadskārtu platumu hronoloģijām no audzēm Latvijā. Analīze veikta references periodam no 1954. gada līdz 2017. gadam. Slīdošā intervāla (30 gadi) neparametriski stacionāri būsstrapota korelācijas Pīrsona analīze (Zang and Biondi, 2015) starp audžu atlikuma hronoloģijām un meteoroloģiskajiem mainīgajiem references periodā veikta, lai novērtētu pieauguma un meteoroloģisko apstākļu saistību izmaiņas laikā (stacionaritāti, Wilmking et al., 2020).

Reģionālas nelineārās pieauguma reakcijas uz meteoroloģiskajiem apstākļiem norādīja uz lineāro saistību izmaiņu neizbēgamību, tomēr slīdošā korelācijas analīze parādīja, ka šīs izmaiņas ir telpiski heterogēnas, uz ko norādīja izteiktās atšķirības starp audzēm. Neskatoties uz to ir vērojamas atsevišķas kopīgas tendences. Ziemas temperatūras ietekmei ir tendence mazināties, kas skaidrojams ar pasiltināšanos (Meier et al., 2022). Apstākļiem, kas nosaka mitruma pieejamību augšanas sezonas laikā, ir tendence pastiprināties, kas saskan ar, globālie pieaugošo sausuma ietekmi uz mežu ekosistēmām it īpaši attiecībā pret beznokrišņu periodu ar paaugstinātu temperatūru biežu palielināšanos (Allen et al., 2015). Vērojamas arī pretējas tendences (piem., nokrišņu un temperatūras ietekmes mazinājums LAT_3 un LAT_4) audzēs, kas skaidrojams ar iespējamu limitējošo apstākļu nomaiņu un/vai ietekmes perioda nobīdi (Harvey et al., 2020; Matisons et al., 2019p; Hofgaard et al., 2019). Atsevišķās audzēs novērota iepriekšējās vasaras beigu (Augusta) temperatūra ietekmes pastiprināšanās, norādot uz meteoroloģisko apstākļu kontroles pār sēklu ražošanu kontroli (Hackett-Pain et al., 2018), kas saistāms ar karstuma viļņu intensitātes un biežuma pieaugumu (Allen et al., 2015).

Literatūra.

1. Allen, C.D., Breshears, D.D., McDowell, N.G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6, 1–55. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>.

2. Billings, S.A., Glaser, S.M., Boone, A.S., Stephen, F.M. 2015. Nonlinear tree growth dynamics predict resilience to disturbance. *Ecosphere* 6, 1–13.
3. Bucci, G., Vendramin, G.G. 2000. Delineation of genetic zones in the European Norway spruce natural range: preliminary evidence. *Mol. Ecol.* 9, 923–934. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2000.00946.x>.
4. Cavin, L., Jump, A.S. 2017. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Glob. Change Biol.* 23, 362–379. <https://doi.org/10.1111/gcb.13366>.
5. Cieszewski, C.J. 2002. Comparing fixed- and variable-base-age site equations having single versus multiple asymptotes. *For. Sci.* 48, 7–23. <https://doi.org/10.1093/forestscience/48.1.7>
6. Gailis, A. 1993. Norway spruce provenances in Latvia. In: *Norway Spruce Provenances and Breeding. Proceedings of IUFRO (S2.2–11) Symposium, Riga, Latvia*, p. 44–49.
7. Hacket-Pain, A.J. et al. 2018. Climatically controlled reproduction drives interannual growth variability in a temperate tree species. *Ecol. Lett.* 21, 1833–1844. <https://doi.org/10.1111/ele.13158>.
8. Hansen, J., Vogg, G., Beck, E. 1996. Assimilation, allocation and utilization of carbon by 3-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees during winter and early spring. *Trees* 11, 83–90.
9. Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P., Lister, D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci. Data* 7, 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.
10. Harvey, J. et al. 2020. Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Glob. Change Biol.* 26, 2505–2518. <https://doi.org/10.1111/gcb.14966>.
11. Hewitt, G. 2000. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405, 907–913. <https://doi.org/10.1038/35016000>.
12. Hofgaard, A. et al. 2019. Non-stationary response of tree growth to climate trends along the Arctic margin. *Ecosystems* 22, 434–451. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0279-4>.
13. Housset, J.M. et al. 2018. Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change. *New Phytol.* 218, 630–645. <https://doi.org/10.1111/nph.14968>.
14. Isaac-Renton, M., Montwe, D., Hamann, A., Spiecker, H., Cherubini, P., Treydte, K., 2018. Northern forest tree populations are physiologically maladapted to drought. *Nature Comm.* 9, N5254. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07701-0>.
15. Jansons, Ā., Matisons, R., Zadiņa, M., Sisenis, L., Jansons, J. 2015. The effect of climatic factors on height increment of Scots pine in sites differing by continentality in Latvia. *Silva Fenn.* 49, N1262. <https://doi.org/10.14214/sf.1262>.
16. Klisz, M. et al. 2019. Limitations at the limit? Diminishing of genetic effects in Norway spruce provenance trials. *Front. Plant Sci.* 10, N306. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00306>.
17. Lanner, R.M. 1976. Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. In: Cannell, M.G.R., Last, F.T. (eds.). *Tree Physiology and Yield Improvement*. Academic Press, London, UK. pp. 223–243.
18. Lanner, R.M. 1978. Development of the terminal bud and shoot of slash pine saplings. *Forest Sci.* 24, 167–179.
19. Lanner, R.M. 1985. On the insensitivity of height growth to spacing. *Forest Ecol. Manag.* 13, 143–148. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(85\)90030-1](https://doi.org/10.1016/0378-1127(85)90030-1).
20. 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 largescale transplant experiment of *Picea abies* (L.) Karst. in Europe. *Front. For. Glob. Change* 5, N804857. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.804857>.
21. Lindner, M. et al. 2014. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *J. Env. Manag.* 146, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030>.
22. Linkosalo, T. et al. 2014. Fluorescence measurements show stronger cold inhibition of photosynthetic light reactions in Scots pine compared to Norway spruce as well as during spring compared to autumn. *Front. Plant Sci.* 5, N264. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00264>.
23. Mäkinen, H., Jyske, T., Nöjd, P. 2018. Dynamics of diameter and height increment of Norway spruce and Scots pine in southern Finland. *Ann. Forest Sci.* 75, N28. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0710-1>.
24. Matisons, R. et al. 2019p. Plasticity of response of tree-ring width of Scots pine provenances to weather extremes in Latvia. *Dendrochronologia* 54, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.01.002>.
25. Matisons, R. et al. 2021e. Nonlinear weather–growth relationships suggest disproportional growth changes of Norway spruce in the eastern Baltic region. *Forests* 12, N661. <https://doi.org/10.3390/f12060661>.
26. Matisons, R. et al. 2021p. Non-linear regional weather-growth relationships indicate limited adaptability of the eastern Baltic Scots pine. *Forest Ecol. Manag.* 479, N118600. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118600>.

27. Meier, H.E.M., et al. 2022. Climate change in the Baltic Sea region: a summary. *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 13, 457–593. <https://doi.org/10.5194/esd-13-457-2022>.
28. Moran, E., Lauder, J., Musser, C., Stathos, A., Shu, M. 2017. The genetics of drought tolerance in conifers. *New Phytol.* 216, 1034–1048. <https://doi.org/10.1111/nph.14774>.
29. Ögren, E. 1997. Relationship between temperature, respiratory loss of sugar and premature dehardening in dormant Scots pine seedlings. *Tree Physiol.* 17, 47–51. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.1.47>.
30. Pearce, R. 2001. Plant Freezing and Damage. *Ann. Bot.* 87, 417–424, doi:10.1006/anbo.2000.1352.
31. Prendin, A.L., Mayr, S., Beikircher, B., von Arx, G., Petit, G. 2018. Xylem anatomical adjustments prioritize hydraulic efficiency over safety as Norway spruce trees grow taller. *Tree Physiol.* 38, 1088–1097. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy065>.
32. Reyer, C. et al. 2014. Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. *Ann. For. Sci.* 71, 211–225. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0306-8>.
33. Salminen, H., Jalkanen, R. 2005. Modelling the effect of temperature on height increment of Scots pine at high latitudes. *Silva Fenn.* 39, 497–508. <https://doi.org/10.14214/sf.362>.
34. Seidl, R. et al. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Clim. Change* 7, 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>.
35. Sharma, M., Subedi, N., Ter-Mikaelian, M., Parton, J. 2015. Modeling climatic effects on stand height/site index of plantation-grown jack pine and black spruce trees. *Forest Sci.* 61, 25–34. <https://doi.org/10.5849/forsci.13-190>.
36. Sharma, R.P., Brunner, A., Eid, T., Oyen, B.H. 2011. Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecol. Manag.* 262, 2162–2175. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.037>.
37. Sharma, R.P., Vacek, Z., Vacek, S., Jansa, V., Kučera, M. 2017. Modelling individual tree diameter growth for Norway spruce in the Czech Republic using a generalized algebraic difference approach. *J. Forest Sci.* 63, 227–238. <https://doi.org/10.17221/135/2016-JFS>.
38. Silvestro, R. et al. 2019. From phenology to forest management: Ecotypes selection can avoid early or late frosts, but not both. *Forest Ecol. Manag.* 436, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.005>.
39. Strand, M., Löfvenius, M. O., Bergsten, U., Lundmark, T., Rosvall, O. 2006. Height growth of planted conifer seedlings in relation to solar radiation and position in Scots pine shelterwood. *Forest Ecol. Manag.* 224, 258–65. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.038>.
40. Venäläinen A. et al. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Glob. Change Biol.* 26, 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>.
41. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *J. Climate* 23, 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
42. Wigley, T.M., Briffa, K.R., Jones, P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 23, 201–213. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2).
43. Wilmking, M. et al. 2020. Global assessment of relationships between climate and tree growth. *Glob. Change Biol.* 26, 3212–3220. <https://doi.org/10.1111/gcb.15057>.
44. Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. R. Stat. Soc. B* 73, 3–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>.
45. Zang, C., Biondi, F. 2015. treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38, 431–436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>.
46. Zeltniš, P., Kangur, A., Katrevičs, J., Jansons, Ā. 2022. Genetic parameters of diameter growth dynamics in Norway spruce clones. *Forests* 13, N679. <https://doi.org/10.3390/f13050679>.
47. Zeltniš, P., Katrevičs, J., Gailis, A., Maaten, T., Desaine, I., Jansons, A. 2019. Adaptation capacity of Norway spruce provenances in Western Latvia. *Forests* 10, N840. <https://doi.org/10.3390/f10100840>.

5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām platībās ar auglīgām kūdras augsnēm

Pētījuma laikā notiek modeļteritorijas – Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtās laboratorijas (*Climate smart forestry living lab*) attīstīšana Meža pētīšanas stacijas Kalsnava meža novadā. Tas nodrošinās bāzi infrastruktūras izveidei un uzturēšanai, kā arī iespējas plānot un pielāgot veicamos mežsaimnieciskos pasākumus pētījuma vajadzībām. Konkrētā teritorija izvēlēta arī tādēļ, ka ir pieejama precīza informācija par meliorācijas sistēmas izveidi tajā, kā arī ilgtermiņa tās darbību raksturojoši dati (novērojumu sērijas) un atsevišķu ar konkrētiem meža augšanas aspektiem saistītu datu kopas, kas iegūtas tās ietvaros. Pētījuma ietvaros paredzēts arī papildināt un detalizēt datus par izvēlēto teritoriju un sagatavot tās turpmākās darbības plānu.

5.1. Meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizēts novērtējums

Mērķis: sagatavot meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes novērtējumu uz augsnes mitruma režīma izmaiņām.

Pētījuma virzība. Etapa ietvaros datu ievākšanas transektu kopa papildināta ar otrās vecumklases egļu un bērzu mežaudzēm kūdreņos, kuras no pretējām pusēm ir norobežotas ar meliorācijas sistēmu grāvjiem (5.1.1. attēls).

2024. gada sezonā MPS Kalsnavas MN ir papildināts eksperimenta dizains meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīmu novērtējumam. Papildus jau esošajiem augsnes mitruma sensoriem priedes pēcnācēju pārbaužu stādījumos 120., 151. un 170. kvartālā otrās vecumklases egļu un bērzu mežaudzēs kūdreņos, kuras no pretējām pusēm ir norobežotas ar meliorācijas sistēmu grāvjiem (148. un 149. kvartāls), ir uzstādīti augsnes mitruma, ūdens potenciāla, gruntsūdens līmeņa, koku sulu plūsmas, kā arī radiālā pieauguma (dendrometri) sensori (5.1.1. tabula). Meliorācijas sistēmas 148. kvartālā ir renovētas, bet 149. – nerenovētas, kur atlasītās egļu un bērzu mežaudzes ir izvēlētas kontroles novērojumiem (5.1.1. attēls).

5.1.1. tabula

MPS Kalsnavas MN izvietotie mērinstrumenti

Suga	Objekts	Kvartāls	Nogabals	Sensori	Skaits	Dziļums, m	Ierīkots
Egle	Vidēja vecuma audze, Ingka IM	1	5; 12	Augsnes mitrums	7	0.05	2021
Melnalksnis	Jaunaudze, pacilas	95	18	Gruntsūdens līmenis	12	2	2024
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	120	18	Augsnes mitrums	5	0.05	2023
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	120	18	Augsnes mitrums	5	0.15	2023
Egle	Jaunaudze, selekcija, pacilas	148	6	Augsnes mitrums	9	0.05	2023
Egle	Jaunaudze, selekcija, pacilas	148	6	Gruntsūdens līmenis	9	2	2024
Egle	Jaunaudze, pacilas	148	14	Augsnes mitrums	7	0.05	2022

Egle	Jaunaudze, pacilas	148	14	Gruntsūdens līmenis	5	2	2022
Egle	Jaunaudze, pacilas	148	14	Meteostacija	1	—	2024
Egle, bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums	148	20; 55; 56; 23; 58	Augsnes mitrums	7	0.05	2021
Egle, bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums	148	20; 55; 56; 23; 58	Augsnes mitrums	16	0.25	2024
Egle, bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums	148	20; 55; 56; 23; 58	Augsnes ūdens potenciāls	16	0.25	2024
Egle, bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums	148	20; 55; 56; 23; 58	Dendrometri	16	—	2024
Egle, bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums	148	20; 55; 56; 23; 58	Gruntsūdens līmenis	5	2	2024
Egle, bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums	148	20; 55; 56; 23; 58	Koku sulu plūsma	16	—	2024
Bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	13	Augsnes mitrums	16	0.25	2024
Bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	13	Augsnes ūdens potenciāls	16	0.25	2024
Bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	13	Dendrometri	16	—	2024
Bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	13	Gruntsūdens līmenis	6	2	2024
Bērzs	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	13	Koku sulu plūsma	16	—	2024
Egle	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	15	Augsnes mitrums	6	0.25	2024
Egle	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	15	Augsnes ūdens potenciāls	16	0.25	2024
Egle	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrolē	149	15	Dendrometri	16	—	2024
Bērzs	Vidēja vecuma audze,	149	15	Gruntsūdens līmenis	6	2	2024

	appludinājums - kontrole						
Egle	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrole	149	15	Gruntsūdens līmenis	6	2	2024
Egle	Vidēja vecuma audze, appludinājums - kontrole	149	15	Koku sulu plūsma	16	—	2023
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	151	1	Augsnes mitrums	5	0.05	2023
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	151	1	Augsnes mitrums	5	0.15	2023
Priede	Pieaugusi audze, kontrole	151	16; 17	Augsnes mitrums	7	0.05	2021
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	170	3	Augsnes mitrums	5	0.05	2023
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	170	3	Augsnes mitrums	5	0.15	2023
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	170	3	Gruntsūdens līmenis	5	2	2024
Priede	Jaunaudze, selekcija, pacilas	170	3	Meteostacija	1	—	2024



5.1.1. attēls. Gruntsūdens un augsnes mitruma, kā arī koku fizioloģisko procesu novērojumu transeksti starp meliorācijas grāvjiem pēcnācēju pārbaužu stādījumā (148. kvartāls, 6. un 14. nogabals) un otrās vecumklases egļu un bērzu mežaudzēs kūdreņos (148. kvartāls, 20., 23., 55., 56. un 58. nogabals, un 149. kvartāls, 13. un 15. nogabals) Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā.

Papildus gruntsūdens līmeņa novērojumu akas ir ierīkotas arī 95. kvartāla 18. nogabalā, kā arī 170. kvartāla 3. nogabalā (5.1.1. tabula). 95. kvartālā šie novērojumu punkti ir izvietoti pirms un pēc pārgāznes/dambja uz meliorācijas grāvja, lai raksturotu uzgludinājuma/meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmi uz jaunaudžu attīstību (5.1.2. attēls).



5.1.2. attēls. Gruntsūdens līmeņa novērojumu transekts jaunaudzē (95. kvartāla 17. nogabals) Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas meža novadā.

Vides pilnīgākai raksturošanai jaunaudzēs 148. kvartāla 14. un 170. kvartāla 3. nogabalā stādu augstumā ir uzstādītas arī meteostacijas.

5.2. Liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojums.

Mērķis: sagatavot raksturojumu liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmei uz mežu ar meliorētām augsnēm.

Etapā ietvaros nav paredzēta papildus datu ievākšana, bet turpināta datu analīze, lai nodrošinātu plānotās publikācijas sagatavošanu. Nākamajā etapā paredzēta veģetācijas novērtēšanas transektu ierīkošana Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtās laboratorijas teritorijā (šajā gadā ierīkotajos stādījumos – 5.4.1. attēls.). Pētījuma objekts ir teritorija Kuldīgas novadā, kur veikta liela atjaunošanas cirte (30 ha). Mežsaimnieciskās darbības ietekmē cirtes vidusdaļā ir izveidojies reljefa pazeminājums, radot ūdenstilpi, ap ko izveidojusies mežam neraksturīga veģetācija, ko galvenokārt veido ūdensaugi. Pētījuma teritorijā veikta pirmreizējā veģetācijas uzskaitē, ierīkojot pastāvīgus parauglaukumus (210 gab.). Veikta otrreizējā veģetācijas uzskaitē: novērtēts sugu sastāvs un procentuālais segums trīs stāvos – sūnu un ķērpju, lakstaugu, koku un krūmu. Tāpat parauglaukuma ietvaros fiksēts nobiru un atklātas augsnes procentuālais segums. Aprēķināts Shannona-Vīnera un Pielou indeksi. Tie salīdzināti ar atkarīgu paraugkopu t-testu, visi pārējie salīdzinājumi veikti ar atkarīgu paraugkopu Vilksona testu.

Sugu proporcija pa stāviem starp novērojumiem nav būtiski mainījusies. Joprojām proporcionāli lielāko daļu sastāda lakstaugi, kas nedaudz samazinājusies, salīdzinot ar pirmo novērtējuma gadu. Tomēr gan koku un krūmu, gan arī sūnu un ķērpju sugu proporcija ir pieaugusi. Kopumā sākotnējā uzskaitē reģistrētas 170 sugas, bet atkārtotā 111 sugas. Būtiski samazinājies arī konstatēto unikālo (konstatētas tikai konkrētajā uzskaites reizē) sugu skaits, kas ir attiecīgi 69 un 10.

Šenona-Vīnera indekss būtiski samazinājās ($p < 0,001$) no $1,93 \pm 0,43$ pirmajā uzskaitē līdz $1,59 \pm 0,48$ atkārtotā. Tāpat šajā periodā būtiski samazinājās arī vidējā sugu daudzveidība. Pirmajā novērtējumā kopējā sugu daudzveidība bija vidēji $13,58 \pm 4,9$ sugas parauglaukumā, savukārt otrajā tā samazinājās līdz $7,8 \pm 2,76$. Vislielākā sugu daudzveidība tika novērota lakstaugu stāvā, kas samazinājās no vidēji $8,99 \pm 4,29$ uz $5,83 \pm 2,35$ sugām parauglaukumā. Tam

sekoja sugu daudzveidības samazināšanās sūnu un ķērpju stāvā, no $3,83 \pm 1,87$ pirmajā novērtējumā līdz $1,60 \pm 1,00$. Vismazākās izmaiņas tika novērotas koku un krūmu stāvā, vidējam sugu skaitam parauglaukumā samazinoties no $0,76 \pm 0,94$ līdz $0,41 \pm 0,62$. Pielou indekss neuzrādīja būtiskas izmaiņas starp abiem novērojumu gadiem. Tomēr tika novērota neliela sugu dominances samazināšanās, par ko liecina Pielou indeksa pieaugums no $0,76 \pm 0,10$ sākotnēji līdz $0,78 \pm 0,17$. Vidējais veģetācijas procentuālais segums būtiski samazinājies: lakstaugi tas samazinājies no $80,79 \pm 21,93\%$ līdz $63,13 \pm 22,41\%$, sūnām un ķērpjiem — no $40,02 \pm 31,10\%$ līdz $25,08 \pm 25,57\%$. Taču būtiskas atšķirības starp koku un krūmu stāva procentuālo segumu vērtēšanas gados nebija. Līdzīgi arī atklātas augsnes vidējais segums procentuāli būtiski nemainījās, saglabājoties relatīvi stabils $6,93 \pm 12,43\%$ pirmajā novērtējumā un $6,96 \pm 12,43\%$ otrajā. Arī vidējais nobiru seguma procentuālais daudzums mainījās minimāli, nedaudz palielinoties no $22,43 \pm 32,43\%$ līdz $23,72 \pm 34,51\%$.

Detrendētās korespondanalīzes ordinācijas liecina par parauglaukumu grupēšanos – parauglaukumi, kuri atradās vienā no izcirtuma malām un raksturoti, kā “mitrie parauglaukumi” izkārtājušies ordinācijas telpas labajā pusē, taču otra parauglaukuma kategorija jeb “sausie parauglaukumi”, izvietājušies attēla kreisajā daļā. Pie tam, novērojamas, ka sausākās daļas parauglaukumi izkārtojas savstarpēji blīvākā grupā, norādot uz to, ka šajā izcirtuma pusē, parauglaukumos sastopama relatīvi vienmērīgāka veģetācijas sugu daudzveidība vai pārstāvētība, kā “mitrās” puses parauglaukumos, kas ir savstarpēji vairāk izkliedēti. Sākotnējā uzskaitē parauglaukumi bijuši savstarpēji līdzīgāki, nekā tas novērojams atkārtotajā. Balstoties uz sugu izkliedi ordinācijas telpā, pirmā ass (DCA1) šķietami saistīta ar augsnes auglīguma gradientu, kas samazinās, pieaugot pirmās ass vērtībām (jeb atgriezeniskas saistības). Taču, otrā ass (DCA2), šķietami saistīta ar augsnes mitruma apstākļiem, proti, pieaugot otrās ass vērtībām, pieaug arī augsnes mitruma apstākļi parauglaukumos.

Rezultātu analīze, kā arī papildus uzskaitē pētījuma noslēguma etapā būs par pamatu manuskriptam un uzskaitē, kas tiks veikta Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtās laboratorijas teritorijā.

5.3. Meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums

Mērķis: sagatavot infrastruktūru meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojumam.

Atbilstoši iepriekšējā etapā saskaņotajam plānam, veikta analīze par augsnes emisiju mērījumiem transektēs, kā arī ievākti un analizēti nobiru un sīko sakņu paraugi, noslēdzot empīrisku datu apkopojumu. Atbilstoši šajā etapā, šī darba uzdevuma ietvaros, paredzēts un nodrošināts tikai metodiskais atbalsts iesaistītajam MPS personālam Eddy-Covariance infrastruktūras un teritorijas plānošanā. Ceturtajā pētījuma etapā – saplānotas papildus cirtes, audzes atjaunošana, sagatavots izejmateriāls stādījumiem tiem eksperimenta sektoriem, kur tas nepieciešams.

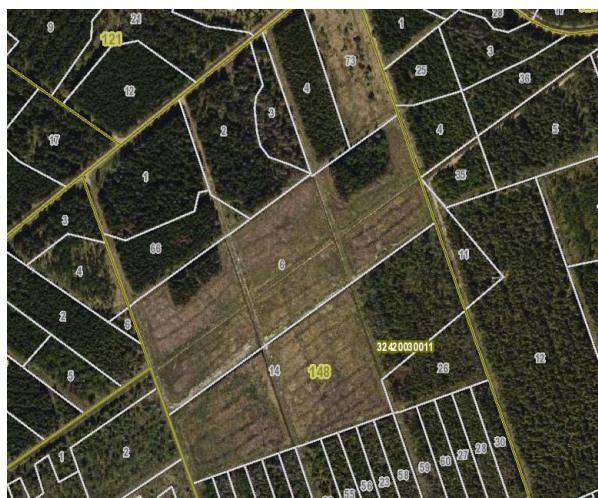


5.3.1. attēls. Eddy-Covariance sensoru tornis un teritorija ap to, kur plānota eksperimentu ierīkošana.

5.4. Klonu atlase mežaudžu ražības kāpināšanai nākotnē kontekstā ar liela mēroga traucējumiem un jutību pret vides faktoru ietekmi

Mērķis: sagatavots stādījuma dizains klonu jutības vērtēšanai un nodrošināt stādījumu ierīkošanu ilglaicīgiem pētījumiem.

Etapā ietvaros sagatavots stādījuma dizains, nodrošināta materiāla izvēlē, priekšdarbu plāns, metodiskais atbalsts. Augsne sagatavota pacilās, stādīšanas attālums gan starp rindām, gan starp stādiem 2,5 metri. Izmantots meža selekcijas programmas materiāls. Egļu stādījumā (148.kvartāls) izmantoti brīvapputes ģimenes (kailsakņu stādi) un labāko klonu spraudņu stādi, kas izvietoti bloku parcelēs (5 rindas x 5 stādi). Bērzu stādījums veidots lielāka, neregulāra izmēra bloku parcelēs, izmantojot 12 *in vitro* pavairotus klonus.



5.4.1. attēls. Apstādītās platības Klimata gudrās mežsaimniecības atvērtās laboratorijas teritorijā.

Veikti visi plānotie priekšdarbi ilgtermiņa novērojumu uzsākšanai, kā arī paredzētajiem fenoloģijas mērījumiem šī pētījuma noslēguma etapā.

1. Pielikums. Etapa darba uzdevumi un to izpildes statuss

0.1. tabula.

Etapa darba uzdevumi un to izpilde līdz starpziņojuma sagatavošanai

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Izdarītais
1. Zināšanu uzkrāšana par Latvijā reti sastopamu vietējo un introducēto koku sugu atjaunošanu un audzēšanu		
1.1. Veikt ierīkoto liepas, kļavas, dižskābarža, ozola jaunaudžu kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.	Darbu nolūks: Veikt ierīkoto liepas, kļavas, dižskābarža un ozola jaunaudžu kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu. Lauka darbu laikā Liepas, kļavas jaunaudžu objekti – 8 objekti – uzmērīšana, sagatavota informācija kopšanai. Kamerālo darbu laikā Datu apkopojums kā papildinājums iepriekšējā etapā sagatavotajiem aprēķiniem par liepas un kļavas tekošā pieauguma dinamiku.	Veikta visu 8 objektu uzmērīšana un sagatavošana kopšanai. Sagatavota analīze un nodrošināta publikācija.
1.2. Veikt ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu.	Darbu nolūks. Veikt ierīkoto dižskābarža, sarkanā ozola, hibrīdās lapegles stādījumu un kopšanas objektu uzturēšanu, uzmērīšanu. Lauka darbu laikā Veikt jauno stādījumu apsekošanu, kur nepieciešams, marķējumu atjaunošana, kopšanas kontrole (23 objekti, MPS Auces, Kalsnavas, Jelgavas, Šķēdes MN). Veikti bojājumus raksturojoši mērījumi tajos gadījumos, ja šādi bojājumi tika konstatēti, lai raksturotu iespējamās adaptācijas problēmas. Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Sagatavots vispārīgs apkopojums.	Veikti visi plānotie darbi – objektu uzturēšana, kā arī papildus 2 objektu ierīkošana.
1.3. Sagatavot platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējumu.	Darbu nolūks. Sagatavot platlapju piemistrojuma audzēšanas iespēju novērtējumu. Lauka darbu laikā Platlapju piemistrojums – 10 kļavu ilgtermiņa pētījumu objektu uzmērīšana. Kamerālo darbu laikā Šajā etapā detalizēta ievākto datu analīze nav plānota. Sagatavots vispārīgs datu apkopojums un veikti sākotnējie aprēķini.	Veikta pārmērīšana visos plānotajos 10 kļavu ilgtermiņa pētījumu objektos.
2. Vētru un uguns bojājumu ietekme un tās izmaiņas nākotnes klimatā		
2.1. Aprēķināti vēja noturību raksturojošie koeficienti modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā un rekomendāciju izstrādei vēja bojājumu mazināšanai.	Darbu nolūks: Aprēķināt vēja noturību raksturojošos koeficientus modeļa pielāgošanai vēja bojājumu vērtēšanai Latvijā, rekomendāciju izstrādei vēja bojājumu mazināšanai. Lauka darbu laikā Veiktas vēja noturības pārbaudes 20 kociem. Koku apsekošana dabā, parauglaukumu ierīkošana, lauka darbu izpilde. Kamerālo darbu laikā Datu pēcaprāde modeļa papildināšanai. Sagatavota apkopojuma publikācija.	Nodrošināta datu ievākšana (primārās lūšanas testi 65 kociem) un publikācijas sagatavošana. Turpināta datu ievākšana par iespējam detektēt primārās lūšanas ietekmi.

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Izdarītais
2.4. Izstrādāti modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem.	Darbu nolūks: Izstrādāti modeļi augsnes sasaluma novērtējumam mežaudzēs atkarībā no gaisa temperatūras un audzes parametriem. Lauka darbu laikā Sniega segas biezuma un temperatūras datu ievākšana, 5 objektos saskaņā ar precizēto metodiku vidēji reizi 10 dienās Kamerālo darbu laikā Nav plānoti	Veikta datu ievākšana 3. etapā ierīkotajās un šajā etapā papildinātajās transektēs.
2.7. Noskaidrota selekcijas un atjaunošanas ietekme uz vēja bojājumu varbūtību.	Darbu nolūks. Novērtēta augsnes sagatavošanas veida ilgtermiņa ietekmi uz vēja noturību. Lauka darbu laikā: Veikti uzmērījumi kokiem, kas atjaunoti ar dažādu materiālu atjaunos stādījumos (4 objekti) Kamerālo darbu laikā Datu pēcapstrāde.	Veikta parauglaukumu uzmērīšana, koku noturības testi, datu apstrāde (6 objekti).
2.8. Precizēti ugunsbīstamības izmaiņu un ugunsgrēku seku modeļi.	Darbu nolūks. Precizēt ugunsbīstamības izmaiņas un ugunsgrēku seku modeļus. Lauka darbu laikā Nav plānoti Kamerālo darbu laikā Datu analīze un adaptēta Kanādas ugunsbīstamības raksturošanas sistēma.	Veikta datu apkopošana un pirmapstrāde, analīzes paredzētas līdz etapa noslēgumam.
3. Biotisko faktoru ietekmes pārmaiņas nākotnes klimatā		
3.2. Klimata pārmaiņu ietekmes uz egļu astonzobu mizgrauzi novērtējums	Darbu nolūks. Sagatavot novērtējumu par klimata pārmaiņu ietekmi uz egļu astonzobu mizgrauža attīstības cikla sākumu un tālāko dinamiku. Lauka darbu laikā Noteikts egļu astonzobu mizgrauža izlidošanas sākums 5 dažādos Latvijas reģionos. Kamerālo darbu laikā Nav plānoti. Datu analīze tiks veikta pētījuma noslēdzošajā etapā, apkopojot izlidošanas monitoringa rezultātus un vērtējot kontekstā ar savairošanos un bojājumiem mežaudzēs.	Veikta visa paredzētā datu ievākšana
3.3. Veikts dendrofāgo kukaiņu un to saimniek-organismu dzīves cikla sinhronitātes izmaiņu novērtējums.	Darbu nolūks Novērtēt sanitāro izlases ciršu lietderību egļu audzēs saistībā ar cirtmetu un meža tipu. Lauka darbu laikā Apsekot 100 egļu audzes virs 40 gadu vecuma, kurās veikta sanitārā izlases cirte 2023. gadā. Kamerālo darbu laikā Valsts meža dienesta datu bāzes analīze par atkārtotiem sanitāriem atzinumiem viena līdz divu gadu laikā.	Dati ievākti no 182 audzēm, veikta to analīze

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Izdarītais
3.4 Veikta mistrojumu analīze audzes un meža masīva līmenī ar mērķi nākotnē nodrošināt noturīgu mežu izveidošanu.	Darbu nolūks. Sagatavot metodiku mistrojuma ietekmes uz dendrofāgu bojājumiem vērtēšanai Lauka darbu laikā Nav plānoti Kamerālo darbu laikā Iepriekšējā etapā ievākot datu detalizēta analīze	Veikta analīze un manuskripta sagatavošana, iesniegšana
3.5 Izstrādāta videi draudzīga meža aizsardzības stratēģija meža kaitēkļu (jaunaudžu, skuju un lapu, stumbru kaitēkļi) ierobežošanai un dabisko ienaidnieku – parazītoīdu un patogēnu (bakulovīrusi, baktērijas un endomopatogēnās sēnes) vairošanās veicināšanai, mazinot dendrofāgu saimniecisko ietekmi.	Darbu nolūks: Sagatavot sākotnējo vērtējumu par priežu galotņu kaitēkļu detektēšanu ar attālo izpēti kā daļu no aizsardzības stratēģijas Lauka darbu laikā Attālās izpētes datu ieguve vienā objektā Kamerālo darbu laikā Sākotnējais novērtējums par stratēģiju kaitēkļa ierobežošanai.	Veikta plānotā sākotnējā lauka datu ievākšana un analīze
3.6. Izstrādāta indikators sistēma veģetācijas kā indikatora izmantošanai klimata pārmaiņu indicēšanai.	Darbu nolūks: Papildināt sagatavoto indikatoru sistēmu Lauka darbu laikā Nav plānoti Kamerālo darbu laikā Indikatoru sistēmas papildināšana, izmantojot veģetācijas (t.sk. monitoringa) datu analīzi	Darbi plānoti līdz etapa noslēgumam
4. Koku augšanas gaitas izmaiņas nākotnes klimatā		
4.1. Sagatavot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem.	Darbu nolūks. Sagatavot klimata komponentes augstuma pieauguma modeļiem. Lauka darbu laikā: Šajā etapā nav plānoti Kamerālo darbu laikā Veikta ievākot datu analīze, sagatavoti koeficienti modeļiem (egle).	Apkopots viss analīzei nepieciešamais materiāls, nodrošināta analīze
4.2. Novērtēta meteoroloģisko apstākļu ekstrēmu ietekme uz koku pieaugumu.	Darbu nolūks. Novērtēt klimata ekstrēmu ietekmi uz koku pieaugumu. Lauka darbu laikā Pieauguma urbūmi (2 kloni) Kamerālo darbu laikā Datu kvalitātes pārbaude, veicot šķērsdatēšanu. Pieauguma ekstrēmu identificēšana, griezumī un to apstrāde koksnes bojājumu šo ekstrēmu ietekmes detektēšanai	Apkopots viss analīzei nepieciešamais materiāls, nodrošināta analīze

0.1. tabulas nobeigums.

Darbs	Pamatojums, darbības un metodika (pētījums, darbs)	Izdarītais
4.3. Sagatavots augšanu limitējošo faktoru izmaiņu novērtējums, ietverot klimata komponenti augšanas gaitas modeļos.	Darbu nolūks. Novērtēt klimata ekstrēmu ietekmi uz koku pieaugumu. Lauka darbu laikā Šajā etapā nav plānoti. Kamerālo darbu laikā Klimata koeficientu ietekmes uz modeļu prognozēm vērtējums: egle	Apkopots viss analīzei nepieciešamais materiāls, nodrošināta analīze
5. Modeļteritorija kompleksiem ilgtermiņa novērojumiem par mežkopības ietekmi uz meža un ar to saistītajām ekosistēmām ar auglīgām kūdras augsnēm		
5.1. Sagatavot meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes uz augsnes mitruma režīma izmaiņām detalizētu novērtējumu.	Darbu nolūks. Sagatavot meliorācijas sistēmu renovācijas ietekmes novērtējumu uz augsnes mitruma režīma izmaiņām. Lauka darbu laikā Objektu apsekošana, gruntsūdens, temperatūras mērījumi, datu ievākšana iepriekš ierīkotajās transektēs. Kamerālo darbu laikā: Datu analīze plānota noslēdzošajā pētījuma etapā.	Turpināta datu ievākšana pētījuma 1. etapā ierīkotajās 3 transektēs un papildus šajā etapā ierīkotas 2 transektes.
5.2. Sagatavot liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmes uz mežu ar meliorētām augsnēm ekosistēmu raksturojumu.	Darbu nolūks. Sagatavot raksturojumu liela mēroga saimnieciskās darbības ietekmei uz mežu ar meliorētām augsnēm. Lauka darbu laikā Šajā etapā nav plānoti Kamerālo darbu laikā Turpināta zemsedzes veģetācijas uzskaites laukumu datu analīze	Sagatavota veģetācijas analīze, kas izmantojama kā bāze monitoringa turpināšanai (noslēguma etapā) un tā sākšanai MPS Kalsnavas MN
5.3. Sagatavots meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojums.	Darbu nolūks. Sagatavot meža masīva mēroga SEG gāzu apmaiņas raksturojumu. Lauka darbu laikā Nav plānota Kamerālo darbu laikā Sagatavota infrastruktūra, metodiskais atbalsts	Nodrošināts metodiskais atbalsts
5.4. Veikta klonu atlase mežaudžu ražības kāpināšanai nākotnē kontekstā ar liela mēroga traucējumiem un jutību pret vides faktoru ietekmi	Darbu nolūks: sagatavots stādījuma dizains SEG analīzes teritorijai Lauka darbu laikā Kamerālo darbu laikā: Sagatavots stādījuma dizains, materiāla izvēlē, priekšdarbu plāns, metodiskais atbalsts	Sagatavots stādījumu dizains, materiāls, nodrošināta stādījumu ierīkošana.