



Eiropas Komisijas LIFE Vides programmas līdzfinansētā projekta
**“Ūdens struktūrdirektīvas un Biotopu direktīvas harmonizācija un integrēta
apsaimniekošanas pasākumu īstenošana saldūdeņu kvalitātes uzlabošanai Salacas
daļbaseinā”**

(LIFE IS SALACA)

Granta vienošanās 101114155 — LIFE22-ENV-LV-LIFE IS SALACA

**Nodevums D2.3 “Ziņojums (FRV, kvalitātes novērtēšanas algoritmi, telpiskā
analīze) par upmalu mežiem”**

Deliverable D2.3. "Report (FRV, algorithms for quality assessment, spatial analysis) for riparian forests"



Aktivitāte T.2.2 “Sagatavošanās darbi upmalu mežu apsaimniekošanai”

Atskaites autors: SILAVA (Endijs Bāders, Valters Samariks, Mārcis Saklaurs)

09.04.2025.

SATURA RĀDĪTĀJS

1. Iedzīvotāju aptauja par upēm un upmalu mežiem	3
2. Zaļās infrastruktūras sasaiste ar ekosistēmu pakalpojumiem	10
3. Veģetācijas dati upjmalu mežu plānotajos demonstrāciju objektos	14
4. Zemsedzes veģetācijas dati upjmalu mežu plānotajos demonstrāciju objektos	20
5. Audžu struktūras rādītāju noteikšana izmantojot attālās izpētes (LIDAR) datus.....	25
6. Ekosistēmas pakalpojumu modelēšana	28
Izmantotā literatūra.....	31
1. Pielikums Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze F) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati	33
2. Pielikums Modeļu izveides, kas sasaista mežaudžes parametrus ar ekosistēmas vērtību, koda piemērs	47

1. Iedzīvotāju aptauja par upēm un upmalu mežiem

1.1. Ievads

Iedzīvotāju aptauja par upēm un upmalu mežiem tika veikta Limbažu novadā Ziemeļvidzemes biosfēras rezervāta teritorijā. Respondenti tika aptaujāti četrās dažādās apdzīvotās vietās, divos ciematos: Viļķene un Liepupe, kurās ir attiecīgi dzīvo aptuveni 450 un 250 iedzīvotāju, un divās pilsētās – Salacgrīva un Limbaži ar aptuveno iedzīvotāju skaitu 2500 un 7000. Aptaujā kopumā bija 33 jautājumi. Respondenti visās izvēlētajās apdzīvotajās vietās (Viļķene, Liepupe, Salacgrīva un Limbaži) tika uzrunāti publiskās vietās, piemēram, skolās, autobusu pieturās un vietējos veikalos. Pirms anketas jautājumu uzdošanas, respondentiem tika sniegts īss ievads par upju un upmalu mežu ekoloģisko un saimniecisko nozīmi. Respondenti tika informēti, ka sniegtā informācija tiks izmantota tikai konkrētiem pētījuma mērķiem, bez personiski identificējamās informācijas. Kopumā tika pareizi aizpildītas un tālākai datu statistiskai analīzei izmantotas 734 papīra anketas.

Aptaujas anketā iekļauti jautājumi, lai noskaidrotu iedzīvotāju attieksmi pret apgādes, regulējošiem un kultūras ekosistēmu pakalpojumu (EP) nozīmību upēm un upmalu mežiem. Aptaujā iekļauti no apgādes EP – ogošanas, sēņošanas, makšķerēšanas un medību nozīme kontekstā ar upju un upmalu mežu apmeklējumiem. No kultūras EP – dažādu sporta veidu, atpūtas un relaksācijas nozīme kontekstā ar upju un upmalu mežu apmeklēšanu. Savukārt, no regulējošiem EP noskaidrots, kuras no upju un upmalu mežu ekosistēmu funkciju problēmām respondentiem liekas visbūtiskākās un kurās novērotas negatīvas tendences.

1.2. Sabiedrības aptauja par pieejamiem ekosistēmu pakalpojumiem.

Lai novērtētu ekosistēmu pakalpojumus, tiem ir izteiktas vērtības. Ekosistēmu pakalpojumu raksturo plašs vērtību loks. Savukārt, katru vērtību var novērtēt, piemērojot attiecīgos indikatorus un metodes. Plānots iekļaut kvantitatīvus un kvalitatīvus novērtējuma indikatorus ar kvantitatīvi izsakāmām (monētāri) raksturojošām mērvienībām, kas atbilst noteiktajām izvēles metodēm (Stated preferences methods) (Barkmann et al., 2008). Savukārt vērtību noteikšanai pielietota ekosistēmu pakalpojumu noteikšanas metode, kur respondentu atbildēs iekļaujoša ir informācija par vēlmi maksāt (willingness-to-pay, WTP) (Cheng et al., 2021) vai vēlmi piekrist maksāt kompensāciju (willingness-to-accept compensation, WTA) (Mutandwa et al., 2019) par dabas vērtību saglabāšanu. Kvalitatīvu vērtību noteikšanai pielietotas nemonētārās izpēti (non-monetary methods) (Christie et al., 2012). Lai noskaidrotu sabiedrības viedokli par pieejamiem ekosistēmu pakalpojumiem tiks veiktas aptaujas.

Respondentu atbildes tiks iegūtas, aizpildot anketas individuāli, interviju laikā vai internetā. Aptauja tiks veikta divās daļās, proti, sadarbībā ar vietējā reģiona skolām un internetā.

Izstrādāta speciāla metodika aptauju organizēšanai sadarbībā ar skolām. Ziemeļaustrumvidzemē izvēlētas četras skolas atkarībā no to ģeogrāfiskā izvietojuma un citiem nosacījumiem: Salacgrīvas vidusskola (tuvu jūrai); Limbažu 3. vidusskola (pilsēta); Kārļa Baumaņa Viļķenes pamatskola un Liepupes vidusskola (lauku reģioni; dažāds attālums līdz jūrai un ūdenstecēm). Lai pētītu informācijas ietekmi uz respondentu viedokli, visās skolās, izņemot Salacgrīvas vidusskolu, aptaujas veicējiem (skolēniem) tiks nolasīta lekcija par ekosistēmu daudzveidību, uzsverot meža un saldūdens ekosistēmas, īpaši, ūdenteces un upes, anketas. Aptaujas veikšana tiks organizēta divos veidos: 1) skolniekiem aizpildot pašiem anketas; 2) skolnieki kā datu ievācēji respondentu aptaujai. Papildus tam, skolēni, kuri iesaistās datu ieguvē, aptaujā ne vairāk kā vienu ģimenes locekli, radniekus un pagasta iedzīvotājus. Kā arī pirms aptaujas veikšanas ir uzdevums,

iepazīstināt ar pamatinformāciju. Aptaujas mērķis ir noskaidrot sabiedrības viedokli par upēm un mežiem, uzsverot upmalu mežu daudzveidību. Zināms, ka upmalu meži atrodas upju krastu joslā ne tālāk par 100 metriem no krasta ar tiem raksturīgo veģetāciju (piemēram, koki, krūmi, sēnes, ķērpji, sūnas, papardes, laukstaudi) un dzīvniekiem, putniem, rāpuļiem, abiniekiem, kā arī bezmugurkaulniekiem. Upmalu mežiem ir raksturīga mozaīkveida ainava ar mežos ieslēgtām pļavām. Nereti upmalu mežos ir atrodamas gravas, smilšu atsegumi un avoti. Zināms, ka vairāk kā pusi no Latvijas teritorijas klāj meži, un tos caurvij 777 upes, kuras garākas par 10 km. Latvijā ir ap 12 500 upju, strautu un citu ūdensteču ar kopējo garumu 37 500 km. Daudzās vietās ūdensteces ir saskares joslas ar meža ekosistēmām.

Pētniecības projekta ietvaros aptauju organizē arī Latvijas biozinātņu un tehnoloģiju universitātē Meža un vides zinātņu fakultātē, sadarbībā ar Salacgrīvas vidusskolu, Limbažu 3. vidusskolu, Kārļa Baumaņa Viļķenes pamatskolu un Liepupes vidusskolu. Papildus tam, divas aptaujas organizētas interneta vidē. Pirmajā aptaujā iesaistīti respondenti, kuru kontaktinformācija bija aptaujas organizētāju rīcībā (kolēģi, radi, draugi, kaimiņi). Izsūtot aptaujas anketu, norādīja lūgumu izplatīt aptaujas anketu tālāk citām personām. Otrā aptauja organizēta, izmantojot aptauju platformu www.visidati.lv.

Aptaujas anketa. Aptaujas veikšanai sadarbībai ar skolām izstrādāta aptaujas anketa. Jautājumi formulēti skolēniem un pieaugušiem respondentiem viegli uztveramā un saprotamā.

Iekļautie anketas jautājumu un atbilžu formulēšanā iesaistīti arī Kārļa Baumaņa Viļķenes pamatskolas pārstāvji. Aptauja izveidota ar četrām sadaļām:

1. Ziņas par respondentu

- vecums;
- dzimums;
- izglītība;
- pieaugušo un bērnu skaits ģimenē;
- ienākumu līmenis;
- īpašuma statuss (zeme; mežs);
- dzīves vieta (pilsēta – lauku reģions; attālums līdz jūrai un citiem ūdeņiem).

2. Respondentu aktivitātes, novērojumi un zināšanas:

- o dažādu aktivitāšu (peldēšana, sportošana, rekreācija, pastaigas, laivošana, makšķerēšana, sēņošana) biežums pie upēm un citiem ūdeņiem un mežos;
- o novērojumi upēs un upmalās;
- o zināšanas par upju un mežu ekosistēmu, to savstarpējo mijiedarbību.

3. Respondentu viedoklis par:

- o nozīmīgākajām problēmām Latvijā;
- o upju un upmalu mežu stāvokli;
- o atšķirībām starp atpūtu upmalu un citos mežos;
- o upju un upmalu mežu apsaimniekošanu;
- o dažādām problēmām saistībā ar upēm un to krastmalu mežiem un to risinājumiem;
- o ierosinājumiem un ieteikumiem upju un to krastmalu apsaimniekošanas uzlabošanai

4. Upju un to krastmalu apsaimniekošanas ekonomiskie aspekti:

- o vēlme atbalstīt aktivitātes;
- o vēlme maksāt par situācijas uzlabošanu.

Sadarbībā ar skolām aptaujas anketa tiks piemērota aptaujai interneta vidē un tam, ka respondenti būs vecumā no 18 gadiem. Aptaujām interneta vidē izklīti dažādi nosacījumi, proti, nodrošināt to, ka tiek atbildēti visi jautājumi, kas noteikti nepieciešami datu tālākai analīzei; ierobežots atbilžu skaits jautājumos, ja tas nepieciešams; ierobežota iespēja labot atbildes uz iepriekšējiem jautājumiem un izlaist jautājumus uz kuriem konkrētajam respondentam nav nepieciešams atbildēt. Vairums no jautājumiem anketā ir nemainīgi vai nedaudz mainīta to redakcija. Papildus tam, pievienots papildus jautājums par upmalu mežu apsaimniekošanas scenārijiem un izvēlēta scenārija vērtējums, bet citam jautājumam piedāvāti atbilžu varianti, kas izstrādāti, pamatojoties uz iegūto informāciju sadarbībā ar skolām organizētajā aptaujā.

Empīrisku datu ieguve. Kopumā plānots iegūt 1000 anketas. Anketas, kuras aizpildītas nepilnīgi un satur neadekvātu informāciju, un atbildes vai pretrunīgu informāciju, tiks izslēgtas no tālākas datu apstrādes.

Datu apkopošana un apstrāde. Aptaujā iegūtā informācija vispirms apkopota katrai no mērķgrupām. Katrai aptaujai aprēķināti arī vidējie rādītāji un procentuālais sadalījums. Informācijas apkopošanā un aprēķinos ievēroti vairāki nosacījumi.

Jautājumos, kur ir doti atbilžu varianti tiks aprēķināts katras atbildes īpatsvars (%) . Visi aprēķini veikti, pamatojoties uz respondentu kopējo skaitu aptaujā, nevis uz jautājumu atbildējušo respondentu skaitu.

Uzsākot komentāru un teksta informācijas apstrādi tiks veikta sniegto atbilžu kvalitatīva analīze, atlasot nekorekti sniegtas atbildes, t.i., neatbild uz jautājuma būtību vai satur maldīgu informāciju. Gadījumā, ja respondents sniedz saturiski nozīmīgu informāciju neatbildot uz jautājumu, tā sniegtā atbilde pievienota jautājumam uz kuru tā attiecas. Plānots apkopot respondentu sniegtās atbildes, lietojot respondenta interpretētus terminus. Komentāri ir grupēti pēc to satura un iekavās norādīts konkrētu vai tam līdzīgo komentāru skaits.

Skaitliskām vērtībām aprēķināti vidējie rādītāji katrā grupā. Vairākām skaitliskām vērtībām tiks izveidots iedalījums grupās:

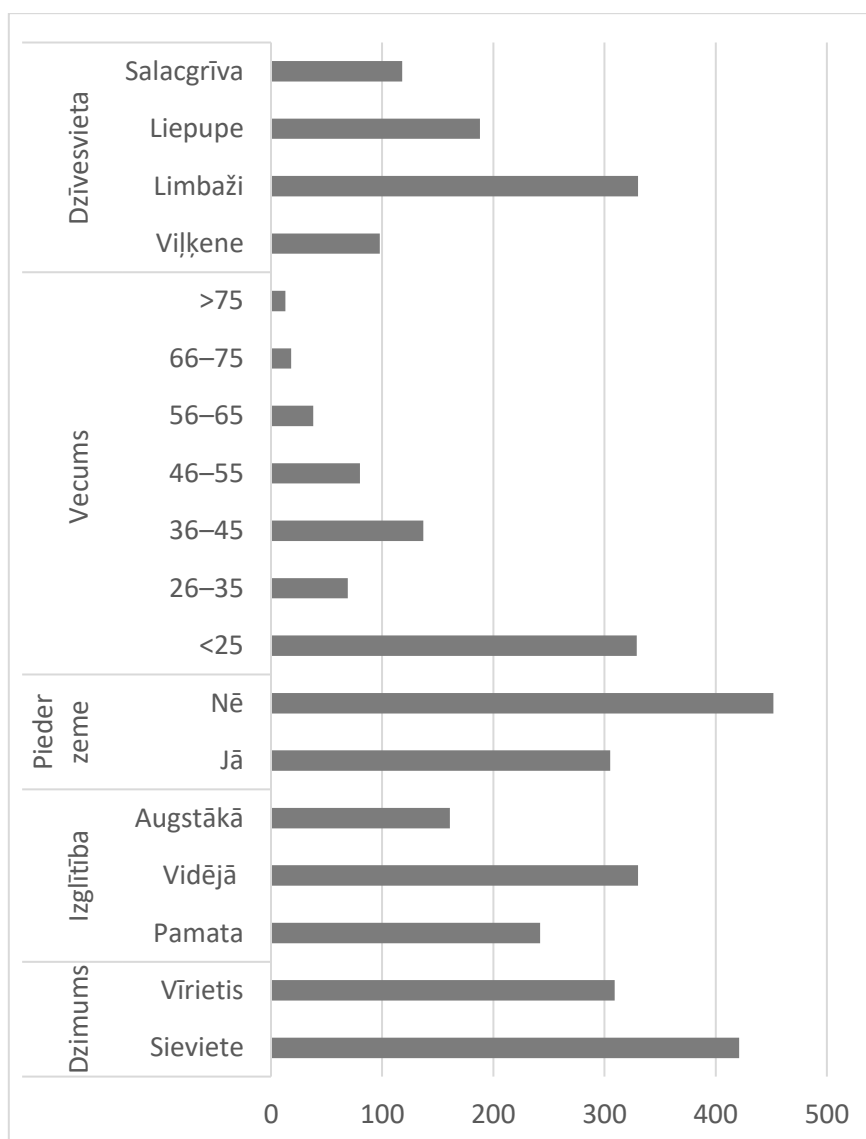
- vecuma grupas: 1 - < 20 gadiem; 2 – 20 – 29; 3 – 30 – 39; 4 – 40 – 49; 5 – 50 – 59; 6 – 60 – 69; 7 – 70 un vairāk gadi.
- aktivitāšu biežuma/regularitātes grupas: 0 – aktivitāte netiek veikta; 1 - 1 x gadā; 2 - vairākas x gadā (2-5); 3 – vairākas reizes mēnesī (6-15); 4 – vairākas reizes nedēļā (>16);
- attāluma grupas aktivitātēm: 1 – (< 5 km); 2 – 5, 1-10km; 3 – 10,1 – 20 km; 4 – 20,1 – 50 km; 5 - > 50 km.;
- vēlamā maksa par situācijas uzlabošanu: 1 - < 5 eiro; 2 – 5 – 9,9; 3 – 10 – 19,9; 4 – 20 – 49,9; 5 – 50 un vairāk eiro.

Aptaujas izstrādes metodikas izveidošanas būtība ir noteikt veidu kā iegūt datus pētījumam atbilstošā kvalitātē un apjomā. Šobrīd pastāvošais datu trūkums vai arī to apšaubāmā kvalitāte valsts vai reģiona mērogā var ierobežot objektīvi novērtēt gar upju krastiem esošo mežaudžu sniegtos pakalpojumus. Dažādu apstākļu dēļ, īpaši, tas ir nelielās valstīs, kur pētniecību un monitoringus veic ierobežotā apjomā vai pat neveic. Minēto iemeslu dēļ, nepieciešams izveidot metodiku, kas balstās uz tādiem indikatoriem, kuru raksturojošos datus ir iespējams ievākt salīdzinoši nelielā laikā, ieguve ir salīdzinoši vienkārša, kā arī tiem ir augsta ticamība. Respondenta ienākumu noskaidrošanai aptaujā tiek piedāvāts atbildēt uz viņu ienākumu līmeni. Sastādot aptauju anketas, kurās nosaka ienākumu līmeni, tā ir vispārpieņemta prakse statistisku pētījumu veikšanā. Tādējādi samazinot varbūtību sniegt neprecīzas un maldīgas atbildes. Ja respondents pats aizpilda

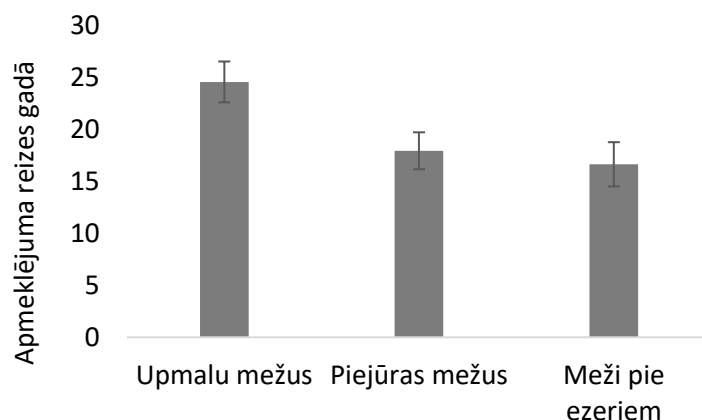
anketu, tad iespējams veikt korekcijas jau atbildētajos jautājumos, pamatojoties uz vēlākos jautājumos iegūto informāciju vai norādēm. Aptaujas anketas izstrādātas latviešu valodā un tajās nav prasīta informācija par respondenta tautību.

1.3. Rezultāti

Lielākā daļa respondentu bija no Limbažiem (45%), kas ir pētījuma lielākā apdzīvotā vieta (Attēls 1.3.1.). Vislielākais respondentu skaits bija vecuma grupa < 25 gadi (48 %), un 36–45 gadi (20 %). Īpašumtiesības piekrastes zonās bija 40% respondentu. Visvairāk respondenti bija ar vidējo izglītību (45 %) un pamatzglītība (33 %). Lielāko respondentu daļu veidoja sievietes (57 %). Respondenti upmalu mežus apmeklēja biežāk kā mežus pie jūras un ezeriem (Attēls 1.3.2.).

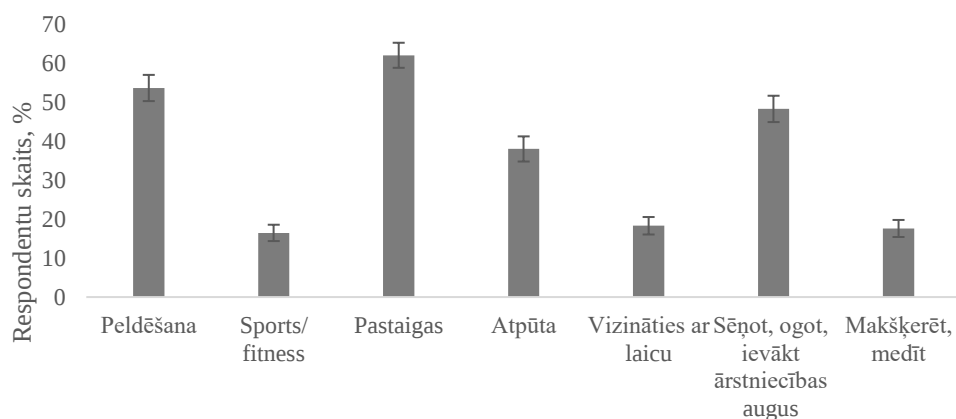


Attēls 1.3.1. Respondentu sociāli demogrāfiskais profils



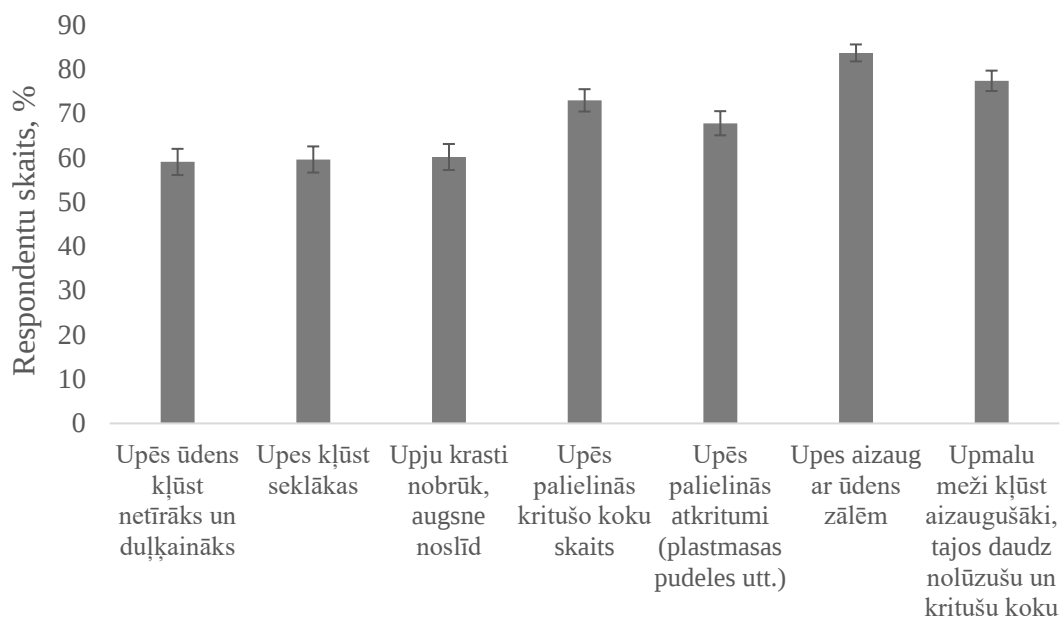
Attēls 1.3.2. Respondentu apmeklējumu skaits gadā mežiem, kas atrodas pie upēm, jūras un ezeriem. Izkliedes rādītāji norāda standarta kļūdu.

Biežāk respondenti devās uz upmalu mežu kulturālos EP dēļ (pastaigas, peldētos, laivošana, sportošana), un mazliet mazāk populāri ir apgādes EP (ogošanu, sēņošana, makšķerēšana un medības) (Attēls 1.3.3.). Vistālāko distanci uz upmalu mežiem respondenti veica, lai makšķerētu (~ 17 km), savukārt lai atpūstos (pikniks, sauļošanās) peldētos, ogotu un sēņotu vidējā distance bija 9 km, bet pastaigātos vidēji 8 km.



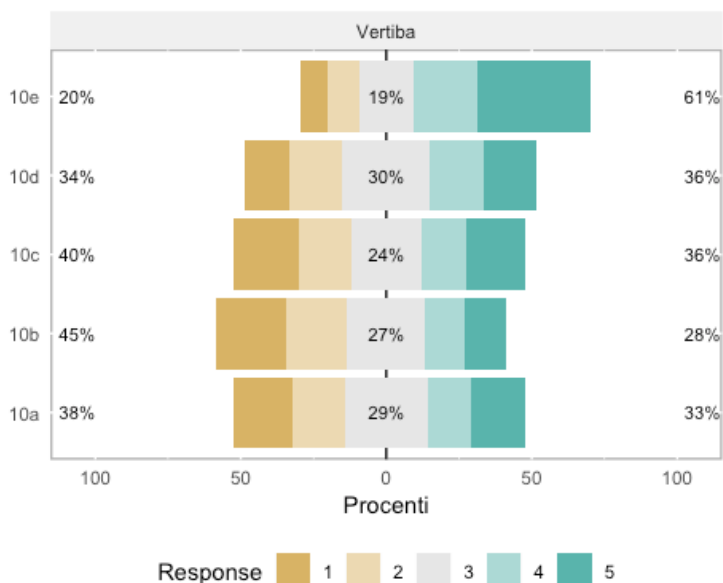
Attēls 1.3.3. Respondentu skaits (%), kas apmeklē upmalas un upmalu mežus konkrētām aktivitātēm. Izkliedes rādītāji norāda standarta kļūdu.

Pētījuma dalībniekiem tika jautāts vai ir novēroti kādi upju un upmalu mežu kvalitāti potenciāli mazinoši vai negatīvi ietekmējoši procesi. No respondentiem 85 % norādīja, ka ir novērojuši, ka upes aizaug ar ūdensaugiem, 78 % norādīja, ka upmalu mežos palielinās atmirušās koksnes apjoms un 74 %, ka palielinās upju gultnes pielūžņojums ar kokiem (Attēls 1.3.4.). Salīdzinoši mazāk uzskatīja, ka upes paliek netīrākās un duļķainākas, seklākas un palielinās upju krastu erozija.



Attēls 1.3.4. Respondentu skaits (%) atbildes par upju un upmalu mežu izmaiņu procesiem pēdējos gados. Izklides rādītāji norāda standarta kļūdu

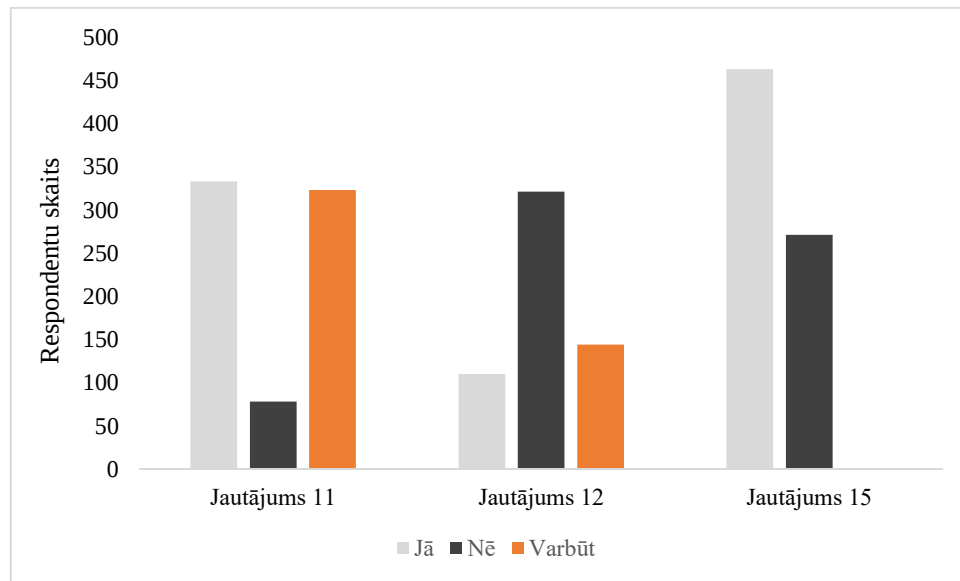
No piedāvātajām piecām upju un upmalu mežu potenciālām problēmām, respondenti kā visbūtiskākā šķiet problēma 10e (tiek traucēta zivju pārvietošanās uz nārsta vietām) (Attēls 1.3.5.). Savukārt par vismazāko problēmu cilvēki uzskata 10b (samazinās ūdens tūrisma un makšķerēšanas iespējas). No sniegtajām atbildēm var secināt, ka respondentus kopumā vairāk uztrauc tieši zivju resursi, nevis makšķerēšanas iespējas kā tādas.



Attēls 1.3.5. Respondenti atbild uz 10 jautājumu: Kuram no apgalvojumiem piekrītat (1 – nav būtiska problēma; 5 – ļoti būtiska problēma). 10a – samazinās upju krastu vizuālā pievilcība; 10b – samazinās ūdens tūrisma un makšķerēšanas iespējas; 10c – samazinās meža ekonomiskā

vērtība, jo tie netiek apsaimniekoti; 10d – upēs nonāk izskalojumi (augšne, māls) un izzūd straujtecis, krāces; 10e – tiek traucēta zivju pārvietošanās uz nārsta vietām.

Lielākā daļa no respondentiem nebija gatavi maksāt, lai uzlabotu upju un upmalu mežu stāvokli, bet tajā pašā laikā 63 % bija gatavi brīvprātīgi strādāt (piedalīties talkās vai citos pasākumos), lai uzlabotu upju un upmalu meža stāvokli (Attēls 1.3.6.).



Attēls 1.3.6. Respondentu atbildes uz jautājumu 11 (Vai Jūs būtu ar mieru atbalstīt dažādas aktivitātes, lai uzlabotu upmalu mežu un upju stāvokli?), jautājumu 12 (Vai Jūs būtu gatavi maksāt par upju un upmalu mežu situācijas uzlabošanu?), jautājumu 15 (Vai Jūs piekristu upju un to krastos esošo mežu stāvokļa uzlabošanai brīvprātīgi strādāt, piemēram, piedalīties dažādās talkās vai citos pasākumos?)

Kopsavilkums

Šā pētījuma rezultāti var noderēt organizācijām un valsts iestādēm izstrādājot upju un upmalu mežu teritoriju apsaimniekošanas stratēģijas un plānus. Aptaujas rezultāti var noderēt izstrādājot stratēģiju kā komunikēt un iesaistīt vietējo sabiedrību plānoto aktivitāšu īstenošanā un veidošanā. Mūsu rezultāti liecina, ka vietējā sabiedrība aktīvi apmeklē, lai saņemtu kultūras un apgādes EP. Attiecīgi, lielākā daļa respondentu arī atbalsta aktivitātes, lai uzlabotu upju un upmalu mežu situācijas uzlabošanu, bet galvenokārt atbalsts ir iesaistīties ar brīvprātīgo darbu, ne finanšu līdzekļiem. Būtiskākās ekoloģiskās problēmas respondentu ieskatā ir upju aizaugšana ar ūdens zālēm, kā arī atmirušās koksnes apjoma palielināšanās gan pašās upēs, gan upmalu mežos.

2. Zaļās infrastruktūras sasaiste ar ekosistēmu pakalpojumiem

2.1. Ievads

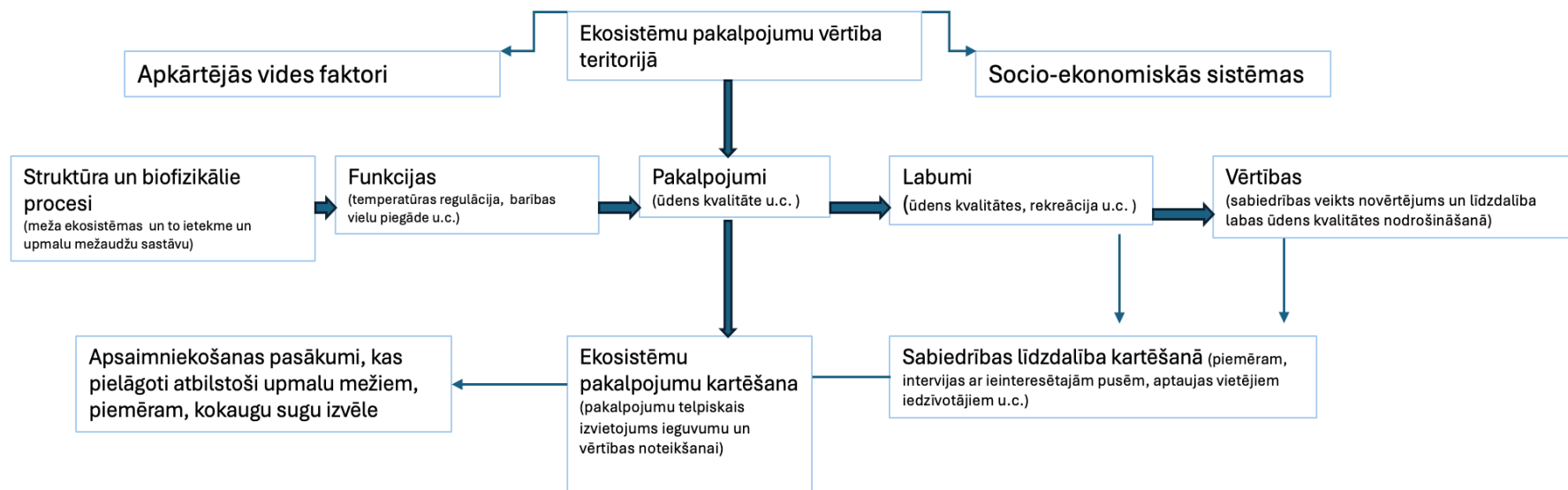
Zaļās infrastruktūras (ZI) definīcija skaidrota kā stratēģiski plānotu pilnīgi vai daļēji dabisku teritoriju tīklu kombinācija ar citiem vides objektiem, kas ir izveidots un tiek pārvaldīts, lai sniegtu plašu ekosistēmu pakalpojumu klāstu” (Eiropas Komisija, 2013). Jāuzsver, ka ZI skaidro dabas kapitāla vērtības cilvēka labbūtībai. Zīmīgi, ka tā daļa no Eiropas Savienības (ES) rīcībpolitikas prioritātēm. ZI nodrošina ekoloģiskos, ekonomiskos un sociālos labumus cilvēkiem (Eiropas Komisija, 2013).

ZI termins aptver divus virzienus no kuriem viena pieeja ir vērsta uz pilsētas parku un citu zaļo zonu savienošanu funkcionālos tīklos, lai sniegtu pakalpojumus un labumus cilvēkiem. Savukārt otra pieeja nodrošina bioloģiskās daudzveidības saglabāšanas pasākumu kopu, lai izvairītos no biotopu fragmentācijas un degradācijas procesu attīstību ekosistēmās (Allen, 2014; Benedict & McMahon, 2006; Laforzezza et al., 2009). Līdz ar to noskaidrots, ka ZI ir virzīta uz divu funkciju nodrošinājumu, proti, 1) bioloģiskās daudzveidības kvalitatīvo un kvantitatīvo vērtību saglabāšana ekosistēmās un 2) cilvēka labbūtības saglabāšana.

Ekosistēmu pakalpojumus iedala pēc starptautiskās ekosistēmu pakalpojumu klasifikācijas (CICES) (Haines-Young & Potschin, 2018). CICES klasifikācija ietver kategorijas, kas palīdz iedalīt un izprast sabiedrībai sniegtos un pieejamos ekosistēmu pakalpojumus.

Kopējs CICES klasifikācija ir balstīta uz vienotas terminoloģijas izveidi, lai aprakstītu ekosistēmu pakalpojumus, tādējādi veicinot starpdisciplināru pieejas integrāciju, kā arī vienotu metodiku starptautiskai sadarbībai. Tās pievienotā vērtība ir izbrādātā klasifikācija, kas aptver visus ekosistēmu pakalpojumus veidus un to ieguvumus cilvēku labklājības nodrošinājumam. Zināms, ka CICES klasifikācija ir hierarhiska sistēma ar vairākām detalizācijas pakāpēm – katrā līmenī ekosistēmu pakalpojumi detalizētāk sadalīti, nodrošinot elastību un pielāgojamību. Šī klasifikācija balstās uz trīs galvenajām kategorijām: 1) apgādes pakalpojumi: materiālie ieguvumi no ekosistēmām, piemēram, pārtika, ūdens un izejvielas, 2) regulējošie un atbalsta pakalpojumi: ekosistēmu procesi, kas regulē vides apstākļus, piemēram, klimata regulācija, gaisa attīrīšana un ūdens aprites cikls, 3) kultūras pakalpojumi: nemateriālie ieguvumi, piemēram, rekreācija, garīgas un reliģiskas vērtības, iedvesma u.c.

Analizējot ZI funkcionalitāti telpiskajā mērogā atsevišķi izdalīti centri (hubs) kā strukturālas sastāvdaļas, kas palīdz uzturēt tīklu tādējādi, nodrošinot ekoloģiskos un sociālos procesus (Benedict & McMahon, 2002; Ortega-Álvarez & MacGregor-Fors, 2009). Pētījumos norādīts, ka ZI centri nodrošina EP pieejamību un kalpo kā strukturāli nozīmīgas dzīvotnes, kas nodrošina augstas kvalitatīvās un kvantitatīvās vērtības (piemēram, sugu skaits, dzīvotņu piemērotība un to daudzveidība) (Ortega-Álvarez, MacGregor-Fors, 2009). Analizētiem telpiskajiem elementiem var būt variācijas formās un izmēros, kas atkarīgas no izvēlēta veida un tajos sastopamajiem EP (Benedict & McMahon, 2002). ZI centri var būt daudzfunkcionālas sauszemes un ūdens ekosistēmas, kā arī to pārejas (respektīvi, ekotoni), kas sadalīti dažādos telpiskos mērogos, piemēram, atsevišķas mikrodzīvotnes, ūdensteces vai ūdenstilpes, meža masīvi (izdalot bioloģisko vērtīgas dzīvotnes un/vai biotopus), ekotonus u.c. (Davies et al., 2006, Forest Research, 2010, European Komisija, 2013). Zīmīgi, ka šādas pieejas analīze palīdz noskaidrot sabiedrībā pieprasīto EP pieejamību telpiski un ļauj lēmumu pieņēmējiem redzēt kopējo sabiedrības pieprasījumu. Papildus tam, šādas pieejamām izmantošana ir ieteicama pirms pelēkās infrastruktūras (PI) attīstības pasākumu veikšanas vai citām plānotām izmaiņām zemes izmantošanas veidos, jo jebkuras izmaiņas var ietekmēt daudzfunkcionālu ainavu ilglaicīgu uzturēšanu (Davies et al., 2006).



Attēls 2.1. Upmalu mežu apsaimniekošanas priekšlikumu shēma, balstoties uz ekosistēmu funkciju socio-ekosistēmu sistēmas pārvaldības perspektīvā (adaptēts no Haines-Young, Potschin, 2013).

Viens no EP novērtēšanas veidiem aktivitātē ir saistīts ar apgādes, vidi regulējošiem, atbalsta un kultūras pieejamiem pakalpojumiem un to novērtēšanu, kas tālāk saistāms ar monetārās vērtības noskaidrošanu un ZI centru kartēšanu. Skaidrojums potenciālie ZI centri raksturo dabiskas vai daļēji dabiskas teritorijas, kas nodrošina EP konkrētajā izpētes teritorijā (Salacas upes baseinā). Tālāk, šie centri ar daudzveidīgiem EP var tikt iekļauti reģiona telpiskajā plānošanā ar mērķi izstrādāt ZI tīklus. Papildus tam, lai novērtētu EP nodrošinājumu balstoties uz sabiedrības viedokli, nepieciešams veikt padziļinātu izpēti, kas apskata zemes seguma veidu kā operacionālās vienības saistībā ar EP nodrošinājumu. Papildus tam, šīs vērtības nepieciešams izteikt arī monetārā veidā. Tālāk, lai noskaidrotu augstāk minēto, nepieciešams veikt sociālu aptauju, iekļaujot pieejamo EP pieejamību un novērtējumu saldūdens un meža ekosistēmās. Atsevišķi jāizdala arī apdzīvotu vietu gradients, kas parāda būtiskas atšķirības kopīgā vērtējumā, proti, lauku un pilsētvides gradients. Jāatzīst, ka arī tādi labumi kā vietas piederība, atpūta, iedvesma vai garīgas un reliģiskas vērtības uzskatītas par arvien svarīgākām cilvēka labbūtībai (Garrido et al., 2017). Tomēr šādas vērtības telpiskajā plānošanā un monetārās vērtības aprēķināšanā bieži nav visaptveroši aplūkotas.

Aktivitātē metodika izmantota, lai identificētu un telpiski attēlot potenciālās zaļās infrastruktūras centrus, kas sniedz vairākus EP veidus Salacas upes baseinā un tām pieguļošajās teritorijās, balstoties uz sabiedrības vērtējumu.

2.2. Pētījuma teritorija

Pētījuma teritorija atrodas Ziemeļvidzemē. Reģionam raksturīga mozaīkveida ainava ar meža ekosistēmām un lauksaimniecības zemēm. Dominē arī lieli meža masīvi ar kokaudzē dominējošiem bērziem *Betula* spp. un parasto priedi (*Pinus sylvestris*), atsevišķi gar purvu malām reljefa pazeminājumos bieži sastopams melnalksnis (*Alnus glutinosa*). Apdzīvotas vietas un iekoptas lauksaimniecības zemes ir teritorijās ar labākiem drenāžas nosacījumiem, piemēram, Salacas ielejas pamatkrastā gar mazo upju ielejām vai arī lēzena reljefa pacēluma salās (Nikodemus, 2018).

Ziemeļvidzemes ainavzeme ietver Metsepoles līdzenumu, Ziemeļvidzemes zemienes Burtnieku līdzenumu, Sedas līdzenumu, Trikātas pacēlumu, Idumejas augstienes Limbažu viļņoto līdzenumu, Augstrozes paugurvalni un Sakalas augstienes Ērgmanes pauguraini (Nikodemus, 2018).

Salacas upes garums ir 96 km, upes baseina kopējā platība ir 3239 km², savukārt gada notece – 1,06 km³. Upe iztek no Burtnieku ezera ZR gala un ietek Rīgas līcī pie Salacgrīvas. Salacas upes gultne ir izveidojusies relatīvi dziļa līdz ar to arī mazākām upītēm, kas ietek Salacā ir izveidojušās izteiktas ielejas.

Korģe ir 14 km gara upe, kas ir viena no lielākām Salacas upes kreisā krasta pietekām.

Vitrupe garums ir 49 km, un tā iztek no Riebezera.

Svētupe atrodas Vidzemes rietumos, kas iztek no Dūņezera. Upei ir daudz krasta robežas ar purviem un mežiem, un tās kopējais garums ir 58 km. Rīgas līcī ieplūst arī nozīmīgas lašupes – Vitrupe un Svētupe.

Salacas ielejas reljefs ir lēzeni un vidēji viļņots morēnas līdzenums, kur iekļaujas izteiksmīgi terasētā Salacas ieleja (Nikodemus, 2018).

Ziemeļvidzemes ainavzemes klimats ir atkarīgs no Rīgas jūras līča ietekmes. Vasaras vidējā temperatūra ir +17,4 °C, bet ziemā - -4,5 °C (februārī). Gada vidējais nokrišņu daudzums ainavzemē ir 775 mm (Nikodemus, 2018).

2.3. Datu apstrādes metodes

2.3.1. Zaļās infrastruktūras centru kartēšana

Ainavas telpiskā raksta indikatoru novērtējums. Ainavu telpiskā raksta indikatori parāda telpisko struktūru ainavas vienībā. Analīzes mērķis ir kvantitatīvi novērtēt struktūras dinamiku, kas ir būtiski ekoloģisko procesu, biodaudzveidības kvalitatīvo un kvantitatīvo vērtību noskaidrošanai, kā arī zemes izmantošanas izmaiņu analīzei. Proti, indikatori sniedz informāciju zemes apsaimniekošanas plānošanai, dabas aizsardzības plānošanai un pilsētu attīstība attēlojot attīstības gaitu, kā ainavu struktūra ietekmē ekosistēmu funkcijas un biodaudzveidības vērtības. Savukārt telpiskā raksta indikatoru analīzes iekļaušana ir svarīga, lai izteiktu kvantitatīvus raksturlielumus, kas aprēķināti, lai raksturotu un salīdzinātu ainavu telpisko struktūrelementu ģeogrāfiskos un ģeometriskos parametrus ekoloģiskā kontekstā. Izmantotie telpiskā raksta indikatori:

- plankumu skaits (telpiski nodalītu elementu skaits katrā gradācijas klasē);
- plankumu blīvums (telpiski nodalītu elementu skaits platības vienībā);
- malu blīvums (elementu kontūru kopgarums platības vienībā);
- formas indekss (ainavas struktūrelementu ģeometriskās formas sarežģītība);
- kodolzonu platība (ainavas struktūrelementu iekšienes kopplatība);
- Eiklīda tuvākā kaimiņa attālums (vidējais attālums starp ainavas struktūrelementiem vienas gradācijas klases ietvaros). Telpiskā raksta indikatori tiek aprēķināti visiem ainavu struktūrelementiem kopā un atsevišķi pa gradācijas klasēm.

2.3.2. Karsto un auksto punktu analīze.

Kopumā tiks noteiktas EP apgādes koncentrācijas un iztrūkuma vietas (Hot-spots & Cold-spots), izmantojot Getis-Ord GI* analīzi (Getis & Ord, 1992) ģeogrāfiskajā informācijas sistēmu (GIS) programmā ArcGIS Pro. Getis-Ord GI* karsto punktu analīze ir telpiskās statistikas metode, ko izmanto, lai identificētu ģeogrāfiskajā telpā statistiski nozīmīgas koncentrācijas jeb "karstos" un "aukstos" punktus. Šī analīze palīdz noteikt vai dati (pētāmie lielumi) veido grupas un vai to kopas ir ievērojami lielākas vai mazākas par vidējo vērtību.

1. solis – Datu sadalījuma analīze telpā: Getis-Ord GI indekss mēra, cik cieši saistīti ir dati konkrētā lokācijā ar apkārtnējiem punktiem. Analīze fokusējas uz datu vērtībām, kas ieskauj katru punktu.

2. solis – Karsto un auksto punktu identificēšana:

- "Karstie punkti" (hot spots): Vietas, kur ir augsta vērtību koncentrācija un kurām ir statistiska nozīme (pētāmie lielumi).

- "Aukstie punkti" (cold spots): Vietas, kur ir zema vērtību koncentrācija (pētāmie lielumi).

3. solis – Rezultātu vizualizācija: Rezultāti bieži tiek attēloti kartēs, izmantojot krāsu gradācijas, kur sarkanās nokrāsas tipiski apzīmē "karstos" punktus, bet zilās nokrāsas - "aukstos" punktus.

Analīzes rezultāti ietver:

1) Gi un Gi* (standartizētās vērtības), kas norāda, vai noteiktā apkaimē novērotās vērtības atšķiras no nejauši izplatītām vērtībām.

2) Z-vērtības un p-vērtības, lai noteiktu statistisko nozīmīgumu.

Telpiskā analīze tiks veikta ar ticamības līmeņiem 95% un 99% ($\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$).

3. Veģetācijas dati upjmalu mežu plānotajos demonstrāciju objektos

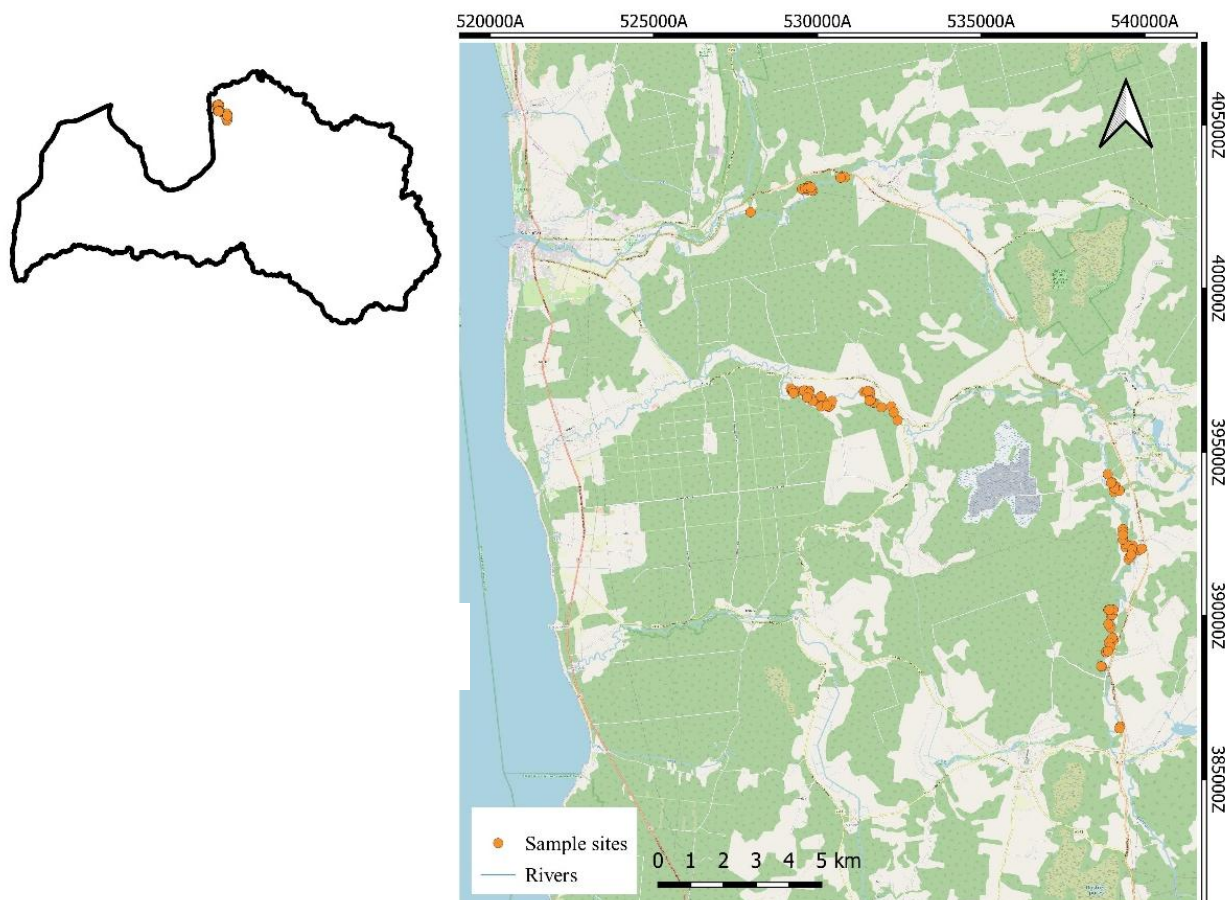
3.1. Zemsedzes veģetācijas sugu daudzveidība Salacas baseina upju piekrastes mežos

Upju piekrastes mežos, zemsedzes veģetācijai ir izšķiroša nozīme erozijas aizkavēšanā un sedimentācijas mazināšanā upēs. Pirms atjaunošanas pasākumu īstenošanas ir nepieciešams novērtēt upju un piekrastes mežu sākotnējos apstākļus, kas veicinās izpratni par turpmāko ekosistēmu dinamiku pēc atjaunošanas pasākumiem. Salacas baseinā veikta veģetācijas apsekošana, lai raksturotu un dokumentētu pašreizējo zemsedzes daudzveidību izvēlētajās piekrastes mežu teritorijās.

3.2. Metodika

3.2.1. Datu ievākšana

Kopumā veģetācijas novērtējums veikts 85 parauglaukumos, kas ierīkoti 24 dažādos kadastrās, Korģes un Svētupes krastos (Attēls 3.2.1.). Katrā nogabalā ierīkots viens pastāvīgs parauglaukums, kura izmērs ir 20×20m (400m²). Katram parauglaukumam fiksētas GPS koordinātes. Parauglaukumu aprakstam izmantots kadastra nr., nogabals un attālums (1 vai 2) (piemēram: 66720050275-5-1).



Attēls 3.2.1. Ierīkoto parauglaukumu lokācijas Salacas upes baseina teritorijā.

Katrā parauglaukumā veikta veģetācijas uzskaitē, izmantojot Brauna–Blankē metodi (Braun-Blanquet, 1964). Uzskatītas visas vaskulāro augu un sūnaugu sugas, kā arī novērtēts katras sugas un veģetācijas stāva kopējais projektīvais segums (%). Veģetācijas stāvi izdalīti sekojoši:

- ✓ koku stāvs E3 (koki, kuri augstāki par 7 m);
- ✓ krūmu stāvs E2, kurā ietilpst krūmi un paaugas koki (0.5 – 7 m augsti koki un krūmi);
- ✓ lakstaugu stāvs E1 (iekļauti lakstaugi un sīkrūmi, kā arī jaunie koki un krūmi, kuri nepārsniedz 0.5 m augstumu);
- ✓ sūnu stāvs E0 (briofītu sugas).

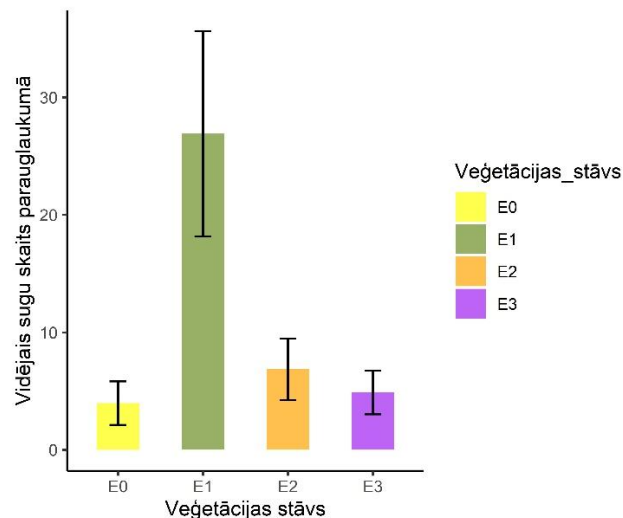
3.2.2. Datu analīze

Lai novērtētu veģetācijas sugu daudzveidību pētījuma teritorijā, noteikts kopējais sugu skaits, kā arī konstatēto sugu skaits katrā no veģetācijas līmeņiem. Papildus aprēķinātas vidējās sugu skaita vērtības katrā no veģetācijas līmeņiem un kopumā (iekļaujot visus līmeņus). Noteiktas visbiežāk sastopamās sugas un to konstatēšanas biežums parauglaukumos. Lai novērtētu lakstaugu un sūnu sugu izkliedi parauglaukumos saistībā ar vides apstākļu gradientiem, pielietota Detrendētā korespondanalīze (DCA) un iegūti sugu un parauglaukumu izkliedes ordinācijas attēli.

Visas analīzes veiktas ar R 4.4.2 (R Core Team (2024)).

3.3. Veģetācijas sugu skaits un segums

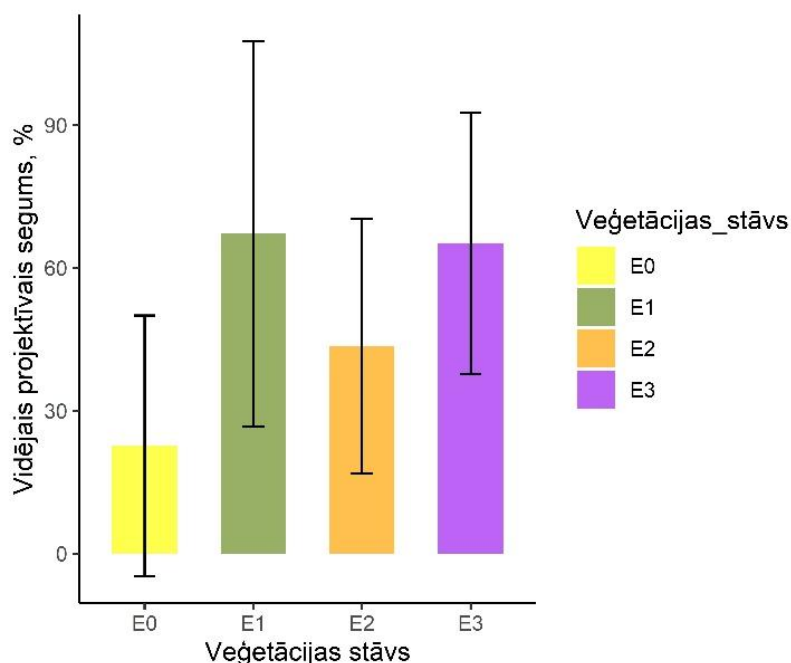
Kopumā parauglaukumos noteiktas 238 unikālas veģetācijas sugas. Izteikti lielāka sugu daudzveidība reģistrēta lakstaugu stāvā (E1), kurā fiksētas 200 dažādas veģetācijas sugas (Kopējais sugu skaits pa visiem veģetācijas līmeņiem pārsniedz unikālo sugu skaitu, jo atkarībā no konkrētas sugas indivīda izmēriem, tas var tikt kategorizēts vairāk kā vienā veģetācijas stāvā). Sūnu stāvā (E0) konstatēta 31 suga, tāpat arī krūmu stāvā (E2). Koku stāvā (E3) konstatēts vismazākais skaits sugu jeb 18 kokaugu un krūmu sugas, kuru indivīdi pārsnieguši 7m augstumu. Aplūkojot parauglaukumos konstatēto vidējo sugu skaitu pa veģetācijas līmeņiem (Attēls 3.3.1.), novērojamas līdzīgas tendences. Lielāko daļu no parauglaukumos sastopamās veģetācijas sugu daudzveidības sastādīja lakstaugu stāvs, kurā vidēji konstatētas (vidējā vērtība ± standartnovirze) 26.9 ± 8.7 sugas. Parauglaukumos, krūmu, koku un sūnu stāvos, konstatēts vidēji mazāks sugu skaits jeb attiecīgi 6.9 ± 2.6 , 4.9 ± 1.9 un 4.0 ± 1.9 sugas.



Attēls. 3.3.1. Vidējais sugu skaits parauglaukumā ± standartnovirze, atkarībā no piederības veģetācijas stāvam. E0 – sūnu stāvs, E1 – lakstaugu stāvs ($\leq 0.5\text{m}$), E2 – krūmu stāvs ($0.5\text{-}7\text{m}$), E3 - koku stāvs ($\geq 7\text{m}$).

Novērtējot vidējo veģetācijas procentuālo segumu parauglaukumos, novērojama vienmērīgāka veģetācijas stāvu pārstāvība (Attēls 3.3.2.). Parauglaukumos lakstaugu stāva sugas aizņēma vidēji 67.2 ± 40.5 % no parauglaukuma platības. Līdzīgi arī koku stāva gadījumā, kur

vidējais segums sasniedza 65.1 ± 27.4 % no parauglaukuma platības, turpretī, krūmu stāva sugu segums bija salīdzinoši mazāks jeb vidēji 43.5 ± 26.8 %. Sūnu stāva segums aizņēma vidēji mazāko daļu no parauglaukuma platības jeb vidēji 22.6 ± 27.4 %. Standartnovirzes vērtība, pārsniedzot vidējo vērtību, liecina, ka parauglaukumos novērota ļoti augsta (nekonsekventa) sūnu stāva seguma variācija.



Attēls. 3.3.2. Vidējais sugu projektīvais segums parauglaukumā $\pm$ standartnovirze, atkarībā no piederības veģetācijas stāvam. E0 – sūnu stāvs, E1 – lakstaugu stāvs (≤ 0.5 m), E2 – krūmu stāvs ($0.5-7$ m), E3 - koku stāvs (≥ 7 m).

Visbiežāk konstatētās sugas. Analizējot visbiežāk sastopamās sugas katrā no veģetācijas līmeņiem (Tabula 3.3.1.), novērojams, ka sūnu stāvā divas no sugām konstatētas biežāk kā pārējās. Visbiežāk konstatētas platlapu knābīte *Eurhynchium angustirete* (76.7 % parauglaukumu) un viļņainā skrajlapē *Plagiomnium undulatum* (65.1 % parauglaukumu). Papildus, relatīvi bieži konstatētas arī sausienes skrajlapē *Plagiomnium affine*, parastā kociņsūna *Climacium dendroides* un smailā skrajlapē *Plagiomnium cuspidatum*, attiecīgi 38.4, 29.1 un 24.4 % parauglaukumu.

Tabula 3.3.1. Visbiežāk sastopamās veģetācijas sugas (parauglaukumu skaits, kurā suga konstatēta attiecībā pret kopējo parauglaukumu skaitu) katrā no izdalītajiem veģetācijas līmeņiem. E0 – sūnu stāvs, E1 – lakstaugu stāvs (≤ 0.5 m), E2 – krūmu stāvs ($0.5-7$ m), E3 - koku stāvs (≥ 7 m). Sugu nosaukumi atspoguļoti kā akronīmi, kurus veido astoņu burtu kombinācija no to zinātniskā nosaukuma (četri burti no pirmā vārda un četri – no otrā vārda).

E0		E1		E2		E3	
<i>Suga</i>	<i>Sastopamība, %</i>	<i>Suga</i>	<i>Sastopamība, %</i>	<i>Suga</i>	<i>Sastopamība, %</i>	<i>Suga</i>	<i>Sastopamība, %</i>
EurhAngu	76.7	PariQuad	79.1	PaduAviu	86.0	BetuPend	67.4
PlagUndu	65.1	AcerPlata	74.4	CoryAvel	77.9	Alnulnca	64.0
PlagAffi	38.4	OxalAce	73.3	SorbAucu	69.8	PiceAbie	62.8
ClimDend	29.1	PaduAviu	73.3	AcerPlat	61.6	UlmGlab	54.7
PlagCusp	24.4	QuerRo	68.6	UlmGlab	55.8	AcerPlat	46.5
HyloSple	22.1	AthyF	67.4	Alnulnca	52.3	TiliCord	41.9
AtriUndu	19.8	SorbAuc	60.5	PiceAbie	46.5	PaduAviu	29.1
PleuSchr	17.4	DryoCart	53.5	TiliCord	45.3	CoryAvel	24.4
RhytTriq	15.1	GeumRival	53.5	QuerRobu	30.2	SorbAucu	23.3
DicrScop	9.3	Alnulnca	52.3	FraxExce	27.9	QuerRobu	17.4

Lakstaugu stāvā visbiežāk sastopamo sugu pārstāvītība parauglaukumos bija vienmērīgāka. Visbiežāk fiksētas – četrslāpju čūskoga *Paris quadrifolia* (79% parauglaukumu), parastā kļava *Acer platanoides* (augstumā līdz 50 cm; 74.4 % parauglaukumu), parastā zaķskābene *Oxalis acetosella* (43% parauglaukumu) un parastā ieva *Padus avium* (augstumā līdz 50 cm; 73.3 % parauglaukumu) (Tabula 3.3.1.). Augstā parastās kļavas sastopamība lakstaugu stāvā visticamāk liecina par aktīvu sugas dabisko atjaunošanos.

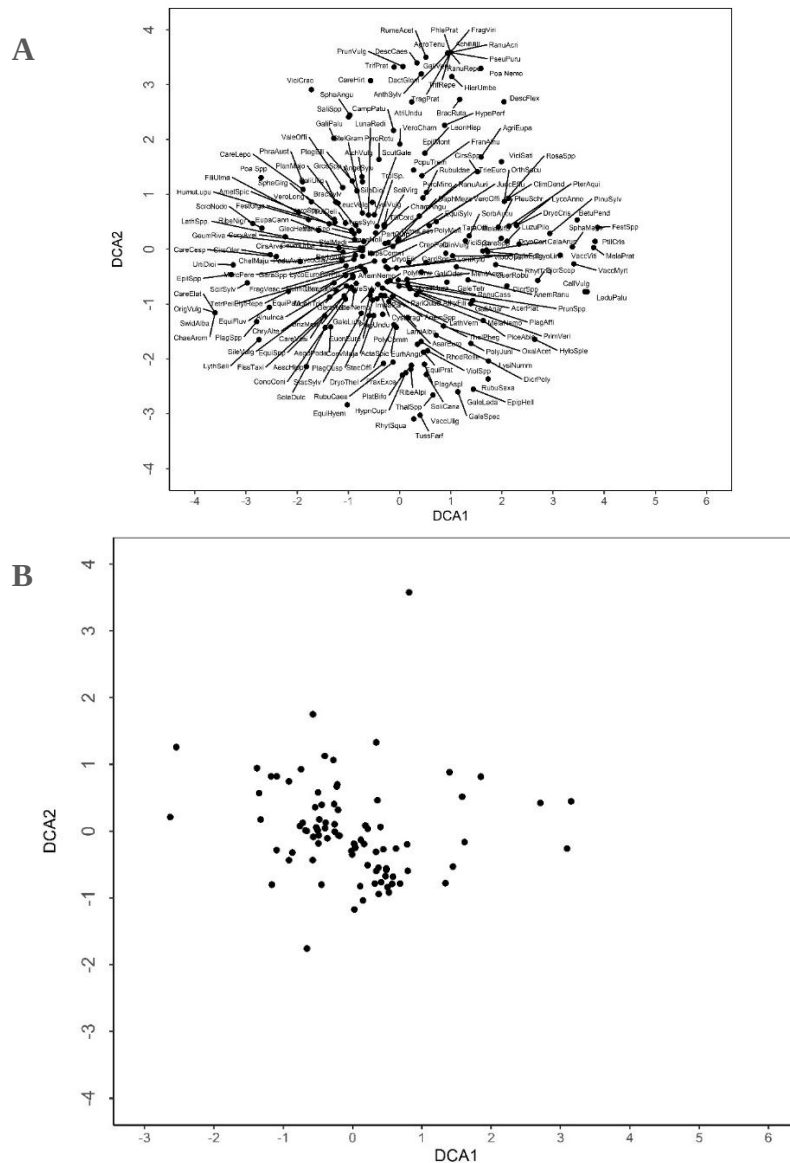
Krūmu stāvā visbiežāk konstatētās sugas lielā mērā sakrīt ar lakstaugu stāvā fiksētajām koku un krūmu sugām (neskaitot vaskulāro augu sugas, kas nespēj sasniegt krūmu stāvu), kas norāda, ka parauglaukumos visticamāk raksturīgs samērā biezs pamežs un paauga (Tabula 3.3.1.; Attēls 3.3.2). Parauglaukumu krūmu stāvā populārākās sugas bija parastā ieva (68% parauglaukumu), parastā lazda *Corylus avellana* (77.9% parauglaukumu), parastais pīlādzis *Sorbus aucuparia* (69.8 % parauglaukumu) un parastā kļava (61.6 % parauglaukumu). Parauglaukumu koku stāvā visbiežāk konstatēts āra bērzs *Betula pendula* (67.4%), baltalksnis *Alnus Incana* (64.0%), parastā egļu *Picea abies* (62.8%) un parastā goba *Ulmus glabra* (54.7%)

Lai nodrošinātu rezultātu pārskatāmību, kā arī augstā sugu skaita dēļ, detrendētās korespondanālās ordinācijas attēli veidoti sugām un parauglaukumiem atsevišķi (Attēls 3.3.3.). Pirmās un otrās ass gradientu garumi bija līdzīgi ($DCA1 = 5.7831$ un $DCA2 = 5.3325$). Pirmās jeb X ass eigenvērtība bija 0.6543, bet otrās jeb Y ass – 0.4940. Parauglaukumu ordinācijas attēlā (Attēls 3.3.3., A) novērojams, ka lielākā daļa parauglaukumu izkārtušies vienā grupā (kurā tie veido divas mazākas grupas), kas nozīmē, ka lielākajā daļā parauglaukumu raksturīgs relatīvi heterogēns sugu sastāvs un vides apstākļi. Novērojamas arī izlecošas vērtības, kas šajā gadījumā raksturo parauglaukumus, kuros fiksēts no citiem parauglaukumiem atšķirīgs sugu sastāvs lakstaugu un sūnu stāvā. Piemēram, izlecošais parauglaukums ordinācijas attēla augšējā daļā (Attēls 3.3.3. A), izteikti atšķiras no pārējiem, par ko liecina ar to saistītās sugas - parastais pelašķis *Achilleum millefolium*, parastā smilga *Agrostis tenuis*, ložņu āboliņš *Trifolium repens*, čemuru mauraga *Hieracium umbellatum* un parastā kamolozāle *Dactylis glomerata* (Attēls 3.3.3., B), kuras vairāk raksturīgas sausu zālāju ekosistēmām.

Vērtību variācija gar pirmo komponenti visticamāk saistīta ar augsnes auglīguma gradientu, proti, pieaugot pirmās ass vērtībām, augsnes auglīgums samazinās. Šīs sakarības šķētināmas, balstoties uz sugu ordinācijas attēla labajā pusē koncentrētajām lakstaugu un sūnu sugām - melleņu *Vaccinium myrtillus*, brūklene *Vaccinium vitis-idae*, purva vaivariņš *Ledum palustre*, sila virsis *Calluna vulgaris*, parastā priede *Pinus sylvestris* un spīdīgā stāvaine *Hylocomnium splendens* (Attēls 3.3.3., B), kas liecina par nabadzīgākiem augsnes apstākļiem. Savukārt, attēla kreisajā pusē izvietotajās auglīgākiem augšanas apstākļiem raksturīgas sugas, kā, piemēram, lielā nātre *Urtica Dioica*, pļavas bitene *Geum rivale*, vītoli vējmietiņš *Lythrum salicaria* un lēdzerkste *Cirsium oleraceum*. Otrās ass gradients grūti interpretējams, izlecošo vērtību dēļ.

Kopsavilkums

18

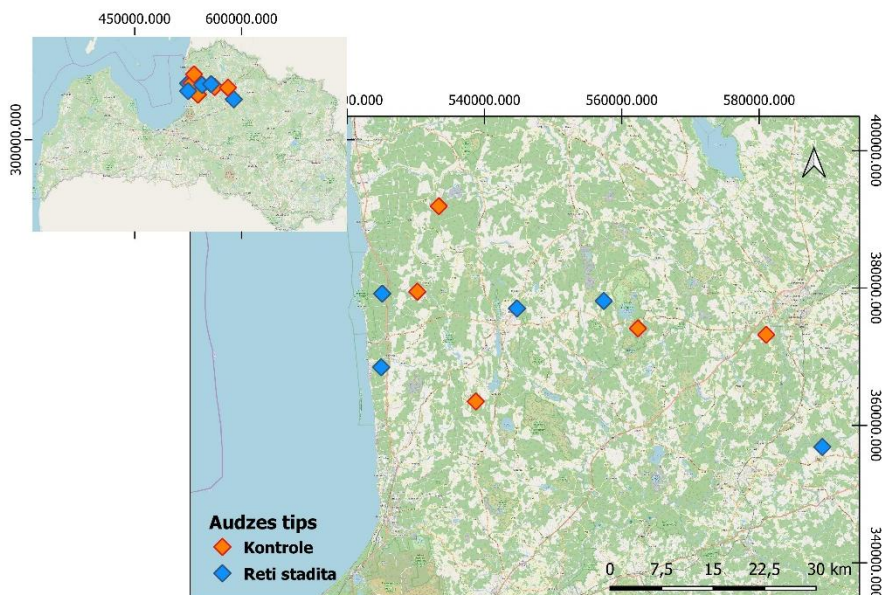


nolūkos, piekrastes mežu ekosistēmu dinamikas raksturošanai pēc mežsaimnieciskās atjaunošanas pasākumu veikšanas.

4. Zemsedzes veģetācijas dati upjmalu mežu plānotajos demonstrāciju objektos

4.1. Zemsedzes veģetācijas sugu daudzveidība dažāda biežuma bērzu audzēs

Lai gūtu ieskatu un papildus informāciju prognozēm par plānoto mežsaimniecisko pasākumu ietekmi uz zemsedzē augošo veģetāciju Salacas upes baseina upju piekrastes mežu pētījuma teritorijā, apsektas dažādas biežības āra bērza *Betula pendula* mežaudzes. Kopumā veģetācijas novērtējums veikts piecās zemas biežības (audzes šķērslaukums < 25m/ha) audzēs, taču sešas, vidējas biežības bērzu audzes, izvēlētas kā kontroles (Attēls 4.1.1.). Kā kritēriji audžu atlasei izvēlēti: bērzu proporcija audzē ir vismaz 70%; audzes; savstarpēji līdzīgi sausieņu mežu tipi.



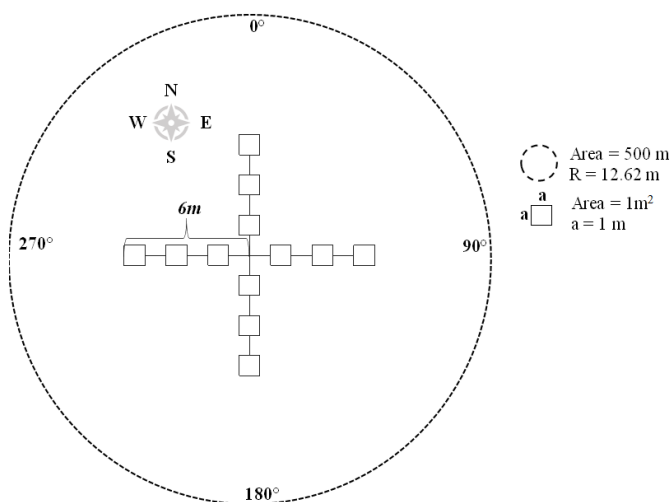
Attēls 4.1.1. Zemsedzes veģetācijas raksturošanai un kokaudzes uzmērīšanai ierīkoto parauglaukumu shēma.

4.2. Metodika

4.2.1. Datu ievākšana

Lai novērtētu zemsedzes veģetācijas sugu daudzveidību reti stādītos bērzu mežu nogabalos, katrā pētāmajā nogabalā, atkarībā no tā platības un izvairoties no netipiskām vietām (piemēram, grāvjiem, ceļiem, meža takām un nogabala malām), ierīkoti četri parauglaukumi. Zemsedzes veģetācijas sugu sastāvs un projektīvais segums (%) tika raksturots, izmantojot transektu metodi, katrā parauglaukumā izveidojot vienu transekti. Transekte izveidota tā, ka no parauglaukuma centra uz katru debespusi ik pēc 1 m izvietoti trīs 1×1 m parauglaukumi (Attēls 4.2.2.). Veģetācijas transektes centrs sakrīt ar kokaudzes parametru uzmērīšanas parauglaukuma centru.

Veģetācijas raksturošanai parauglaukumos izdalīti trīs stāvi – koku un krūmu; lakstaugu; sūnu un ķērpju. Katrā 1x1m parauglaukumā noteikts veģetācijas sugu sastāvs un katras sugas procentuālais segums. Koku un krūmu stāvā iekļauti tie koki, kuru caurmērs ≤ 6 cm un augstums ≤ 2m. Fiksēts nobiru, atsegtas augsnes, kritalu un koku sakņu kaklu aizņemtais procentuālais segums parauglaukumā, kas kopā ar sūnu un ķērpju stāvu veido 100% segumu.



Attēls 4.2.2. Zemsedzes veģetācijas raksturošanai un kokaudzes uzmērīšanai ierīkoto parauglaukumu shēma.

Kokaudzes uzmērīšanas veikta aplūveida parauglaukumā, kura $R=12.62\text{m}$ (katra parauglaukuma platība 500m^2) (Attēls 4.2.2.). Izmantojot dastmēru, uzmērīts katrā parauglaukumā fiksētā koka caurmērs (cm), taču mērījumi veikti vienīgi tiem parauglaukumā augošajiem kokiem, kuru caurmērs $> 6.1\text{cm}$ Ø. Fiksēta katrā kokauga suga.

4.2.2. Datu analīze

Katram parauglaukumam aprēķināts kopējais šķērslaukums, bērzu šķērslaukums, kopējais koku skaits un bērzu skaits, izsakot šos skaitļus uz ha (parauglaukuma vērtība reizināta ar 20). Veģetācijas datus katram parauglaukumam aprēķināts katras sugas vidējais segums no mazajiem $1 \times 1\text{ m}$ parauglaukumiem. Pēc tam rēķināts sugu skaits parauglaukumos un to vidējie rādītāji. Tā kā vietās atšķiras parauglaukumu skaits, tad rēķinot kopējos vidējos rādītājus, no sākuma aprēķināts vidējais skaits objektos un tad kopējais vidējais no objektu vidējiem. Rezultātā, kopējā sugu skaita vidējie rādītāji nav atsevišķu stāvu vidējo summa.

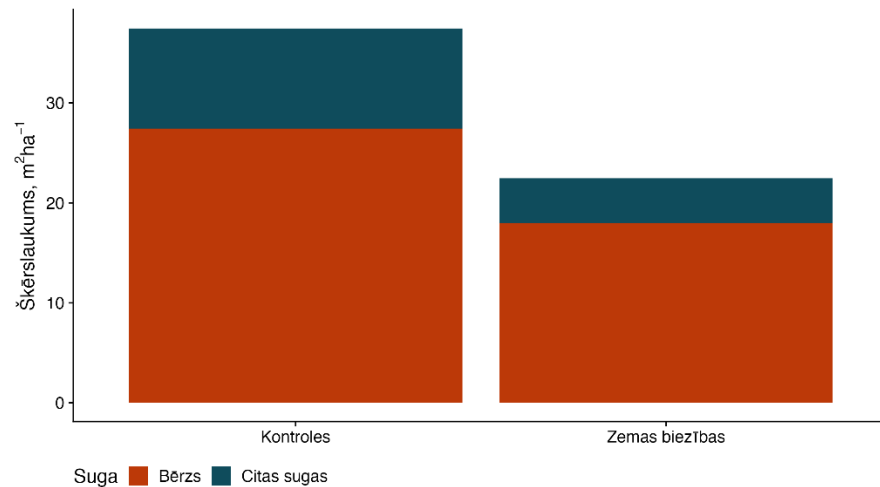
Lai salīdzināta šķērslaukumus un biežumu starp kontroles un retajās audzēs, izmantoja lineāros jaukta efekta modeļus, kuros objekts likts kā nejaušais faktors (lai ņemtu vērā, ka katrā objektā ir vairāki parauglaukumi). Sugu skaita salīdzināšanai izmantoti Puasona vispārējie lineārie jaukta efekta modeļi (GLMM). Modeļi veidoti ar R paketēm *lme4* (Bates et al. (2015)) un *lmerTest* (Kuznetsova, Brockhoff, and Christensen (2017)).

Visas analīzes veiktas ar R 4.4.2 (R Core Team (2024)).

4.3. Aktivitātes rezultāti

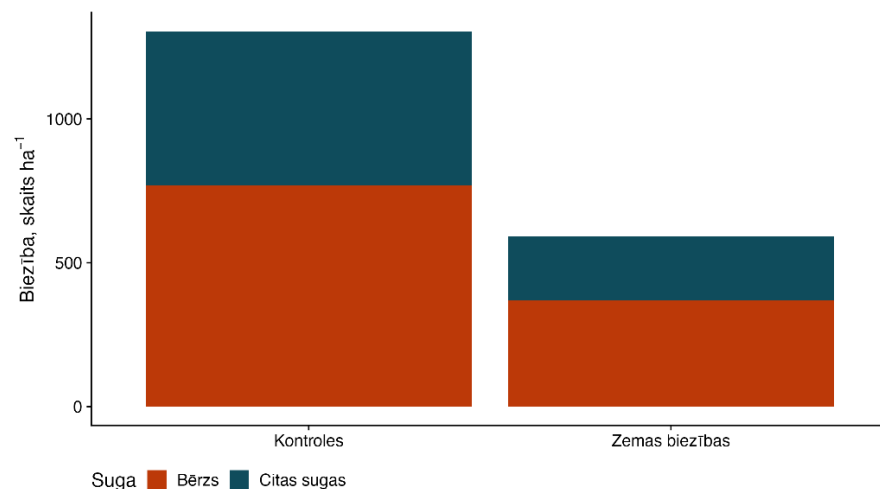
4.3.1. Kokaudzes rādītāji

Reti stādīto bērzu audzēs novērojams statistiski būtiski ($p < 0.001$) zemāks vidējais kopējais audzes šķērslaukums nekā kontroles audzēs jeb attiecīgi 2.47 ± 3.39 un $37.73 \pm 6.37\text{ m}^2/\text{ha}$ (Attēls. 4.3.3.). Atsevišķi aplūkojot tieši bērzu šķērslaukuma vidējās vērtības, manāmas līdzīgas tendences, kur reti stādītajās audzēs bērzu šķērslaukums ir statistiski būtiski ($p < 0.001$) zemāks ($17.72 \pm 2.78\text{ m}^2/\text{ha}$) kā kontroles audzēs ($27.72 \pm 5.14\text{ m}^2/\text{ha}$).



Attēls 4.3.3. Vidējais kopējais audzes un bērzu šķērslaukums atkarībā no audzes kategorijas.

Izteiktāk būtiskas atšķirības ($p = 1.829e-05$) novērojamas audzes biezumā, kur kontroles audzēm novērojams vairāk kā divas reizes lielāks audzes biezums jeb 1305 ± 193.43 koki/ha, salīdzinot ar reti stādītajām audzēm, kur konstatēti vidēji 591.00 ± 172.71 koki (Attēls 4.3.4.). Līdzīgi arī analizējot bērzu skaitu – kontroles audzēs bērzu vidējais biezums sasniedza 761.25 ± 209.69 kokus, bet reti stādītajās audzēs 369.00 ± 105.33 kokus. Atšķirības vidējā bērzu skaitā arī bija statistiski būtiskas ($p < 0.001$).



Attēls Nr. 4.3.4. Vidējais kopējais audzes un bērzu biezums atkarībā no audzes kategorijas.

4.3.2. Zemsedzes veģetācija

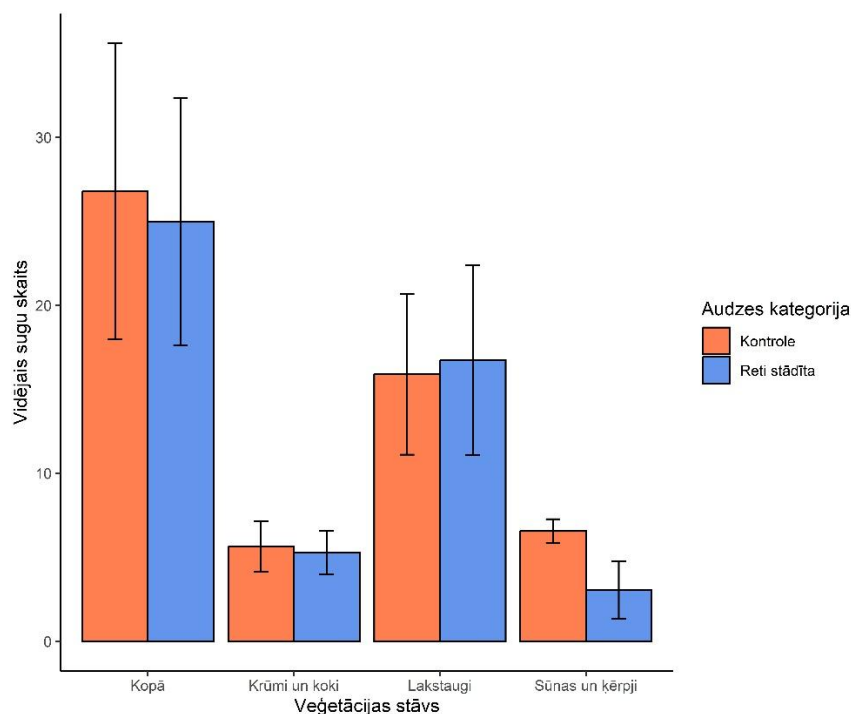
Kopumā konstatētas 132 zemsedzes veģetācijas sugas, no kurām 85 iedalāmas lakstaugu stāvā, 26 koku un krūmu stāvā, taču 21 – sūnu un ķērpju stāvā. Pētīto nogabalu parauglaukumos visbiežāk konstatētās lakstaugu stāva veģetācijas sugas bija pūkainā zemzālīte *Luzula pilosa* (91.7% parauglaukumu), meža zaķskābene *Oxalis acetosella* (86.1 %), divlapu žagatiņa *Maianthemum bifolium* (80.6 %), vijolišu ģints *Viola sp.* sugas (69.4 %) un Eiropas septiņstarīte *Triantalis europaea* (63.9 %) (Tabula 4.3.1.).

Tabula 4.3.1. Visbiežāk sastopamās veģetācijas sugas katrā no izdalītajiem veģetācijas stāviem.
 Skaits - parauglaukumu skaits, kurā suga konstatēta; Proporcija - parauglaukumu skaits, kurā suga konstatēta, attiecībā pret kopējo parauglaukumu skaitu.

Suga	Skaits	Proporcija
<i>Koki un krūmi</i>		
RubuSaxa	21	58.3
CoryAvel	18	50.0
QuerRobu	18	50.0
AcerPlat	17	47.2
PiceAbie	17	47.2
SorbAucu	17	47.2
<i>Lakstaugi</i>		
LuzuPilo	33	91.7
OxalAcet	31	86.1
MaiaBifo	29	80.6
Viola sp	25	69.4
TrieEuro	23	63.9
<i>Sūnas un ķērpji</i>		
EurhAngu	21	58.3
PlagAffi	20	55.6
PleuSchr	15	41.7
RhytTriq	11	30.6
DicrPoly	10	27.8

Visbiežāk koku un krūmu stāvā konstatētās veģetācijas sugas bija klinšu kaulene *Rubus saxatilis* (58.3 % parauglaukumu), parastā lazda *Corylus avellana* (50.0 %), parastais ozols *Quercus robur* (arī 50 %), parastā egle *Picea abies*, parastā kļava *Acer platanoides* un parastais pīlādzis *Sorbus aucuparia*, kuras katra tika konstatētas 47.2 % parauglaukumu. Sūnu un ķērpju stāvā visbiežāk konstatētās sugas bija platlapu knābīte *Eurhium angustirete* (58.3 % parauglaukumu), sausienes skrajlape *Plagiomnium affine* (55.6 %), Šrēbera rūšaine *Pleurozium schreberi* (41.7 %), lielā spuraine *Rhytidiadelphus triquetrus* (30.6 %) un viļņainā divzobe *Dicranum polysetum*, kas konstatēta 27.8 % parauglaukumu (Tabula 4.3.1.).

Kontroles un reti stādītajās bērzu audzēs kopumā konstatēts līdzīgs ($p = 0.7.172$) vidējais kopējais sugu skaits, proti vidēji 26.8 ± 8.8 suga kontroles audžu parauglaukumos un 25.0 ± 7.4 suga zemas biežības bērzu audzēs (Attēls 4.3.5.). Līdzīgas tendences manāmas arī atsevišķi aplūkojot veģetācijas stāvus, kur starp vidēji konstatēto lakstaugu un koku un krūmu stāva sugu skaitu nav manāmas statistiski būtiskas atšķirības (p vērtības attiecīgi 0.892 un 0.678). Vidēji visvairāk sugas konstatētas lakstaugu stāvā jeb 15.9 ± 4.8 un 16.8 ± 5.6 sugas kontroles un reti stādītajās audzēs. Izņēmums ir sūnu un ķērpju skaits – kontroles audžu parauglaukumos novērots statistiski būtiski ($p < 0.001$) augstāks vidējais sūnu un ķērpju stāva sugu skaits jeb 6.6 ± 0.7 sugas, salīdzinājumā ar reti stādītajām bērzu audzēm, kurās konstatētas vidēji 3.1 ± 1.7 sugas.



Attēls 4.3.5. Vidējais sugu skaits $\pm$ standartnovirze katrā no veģetācijas stāviem atkarībā no parauglaukumu piederības audzes grupai.

Kopsavilkums

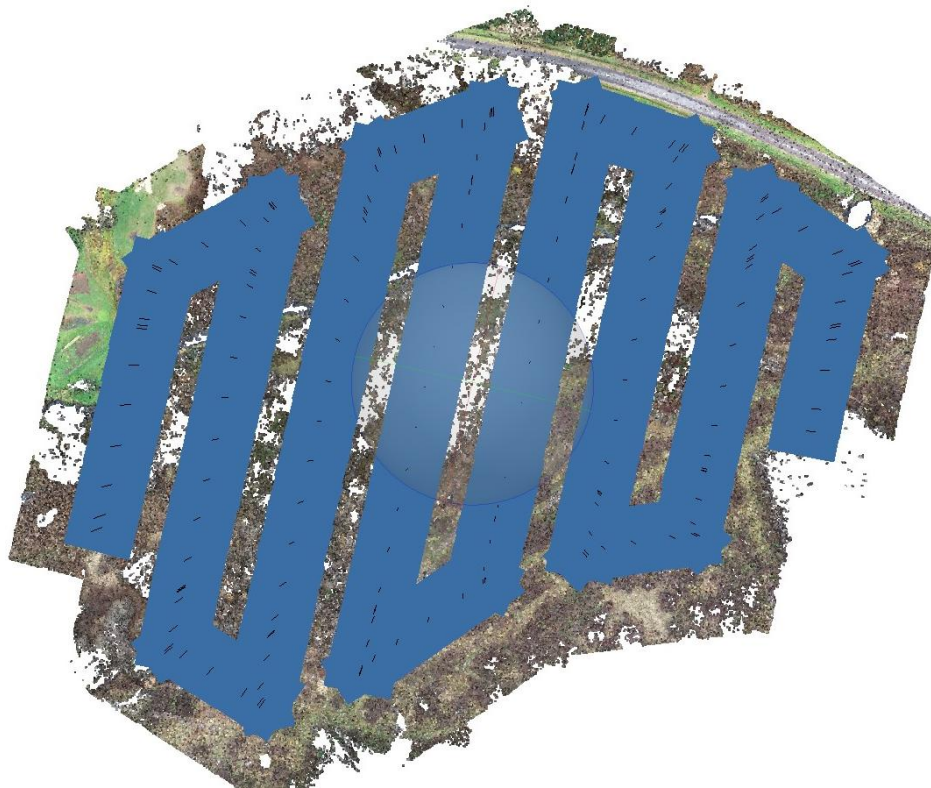
Starp izvēlētajām audzēm pastāvēja būtiskas audzes biezuma un šķērslaukuma atšķirības, taču dažādība veģetācijas sugu skaitā būtiski atšķīrās vienīgi sūnu un ķērpju stāva gadījumā, kur augstāks sūnu sugu skaits konstatēts kontroles audzēs. No konkrētā piemēra secināms, ka zemsedzes veģetācijas sugu skaits zemāka biezuma bērzu audzēs ($G \leq 25 \text{ m}^2/\text{ha}$, $N \approx 591$ koks) var saglabāties līdzīgs biežākiem stādījumiem, taču sūnu sugu skaits var samazināties, pieaugot apgaismojuma, vēja un to ietekmēto audzes mikroklimatisko apstākļu izmaiņu rezultātā.

5. Audžu struktūras rādītāju noteikšana izmantojot attālās izpētes (LIDAR) datus.

Papildus pētījuma vajadzībām 2024. gada rudenī ar bezpilota lidaparātu iegūti lāzerskenēšanas (LIDAR) un multispektrālie dati, lai raksturotu mežaudžu struktūru ieplānotajos upjmalu mežu demonstrāciju objektos pirms mežsaimniecisko darbību veikšanas. Atkārtota attālās izpētes datu iegūšana plānota pēc mežsaimniecisko darbu veikšanas demo teritorijās.

5.1. Datu ieguve un tehniskā specifikācija

LIDAR un multispektrālo datu ieguve veikta 2024. gada rudenī, izmantojot, DJI Matrice 300 RTK dronu, aprīkotu ar Zenmuse L1 lāzerskeneri un RGB kameru. DJI Zenmuse L1 apvieno datus no RGB sensora un IMU, tādējādi nodrošinot patiesu krāsu punktu mākonī no RGB sensora un augstas precizitātes 3D punktu mākoņa iegūšanu reālā laikā, ar relatīvo precizitāti aptuveni 5 cm. Punktu blīvums: 140 punkti uz kvadrātmtru. Punktu mākoņa standarta novirze ir 10 cm horizontāli un 0.05 vertikālajām koordinātām 50 m lidojuma augstumā). Attālās izpētes datu iegūšanas 2024. gada rudenī veikta vairākos piegājienos, kopumā 18 lidojumus (Tabula 5.1.1.). Katrā audzē pirms, katra lidojuma tika izvietoti melnbalti fotogrammetriskie mērķi, LIDAR atstarošanas mērķi, ģeodēziskā tīkla punkti. Lidojumi tika veikti ar mērījumu veidu, kas iestatīts uz “normālu” un vertikālo gimbāla slīpumu -90° , tika izmantota lidojuma kalibrēšanas; lidojuma ātrums-5 m/s; pārklāšanās 50%; atbalss režīms — trīskāršs; lidara parauga frekvence — 160 kHz; skenēšanas režīms tika iestatīts atkārtotāšanas režīmā; veikta rgb krāsošana. Izmantojot lidojumu plānošanas programmatūra DJI Ground Station Pro noteikts optimālo ceļu (piemērs dots 5.1.1. attēlā) un automātiski veikti lidojumi attālās izpētes datu iegūšanai. Attēlu uzņemšanas brīdī tika reģistrētas kameru pozīcijas, izmantojot GNSS RTK.



5.1.1. attēls. Lidojuma trajektorija attālās izpētes datu iegūšanai

5.2. Datu pirmapstrāde un aprēķini

Punktu mākonis, izmantojot DJI Zenmuse P1 iegūtos augstas izšķirtspējas aerofotogrāfiskos attēlus, tika ģeoreferencēts, balstoties uz strukturētās fotogrammetrijas (SfM) mērķu koordinātām. Datu apstrāde tika veikta, izmantojot Agisoft Metashape programmatūras versiju 1.8.4. Agisoft programmā sākotnēji importēti attēli un veikta bojāto un dublikātu attēlu atmešana. Nākamajā solī veikta attēlu savienošana (*Align Photos*), kuras pamatā ir algoritms, kas nosaka attēlu savstarpējo orientāciju, izmantojot kopīgos attēlu punktus un sākotnējās GNSS RTK kameras koordinātas. Blīvā punktu mākoņa (*Dense Cloud*) ģenerēšanas posmā algoritms rekonstruēja 3D punktu mākonī, tika izvēlēti izvēloti augstas precizitātes parametri, lai maksimāli samazinātu pozicionēšanas kļūdas un nodrošinātu detalizētu telpisko rekonstrukciju. Punktu mākoņa filtrēšana, noņemot trokšņus un neprecizitātes, un klasifikācija, izmantojot augstuma un atstarošanas intensitātes klasifikācijas algoritmus, veikta, lai atdalītu veģetāciju, zemes virsmu un citus elementus. Noslēdzošajā posmā izveidots digitālā zemes reljefa modelis (DEM) ar izšķirtspēju 20×20 cm, izmantojot augstas precizitātes interpolācijas metodes un trokšņu samazināšanas filtrus digitālā virsmas modelis (DSM) ar izšķirtspēju 20×20 cm un ortofoto mozaīka un iegūtie dati tika transformēti uz vienotu koordinātu sistēmu (LKS 92) un ģeoreferencēti. Veģetācijas augstuma modelis (CHM) iegūts, izmantojot DSM un DEM starpību. LIDAR punktu mākoņa izveide un apstrāde veikta, izmantojot QGIS 3.2, GRASS GIS 7.2 un Agisoft Metashape programmatūras.

5.3. Audzes struktūras analīze

Audzes struktūras analīze būs balstīta uz individuālu koku identificēšanu un raksturošanu LIDAR datos, par pamatu ņemot Ivanovs un Lazdiņš, 2018 izstrādāto algoritmu. Koku augstuma modeļu aprēķināšanai tiks izmantots *r.neighbors* algoritms, kas balstīts uz lokālo maksimumu noteikšanu rastra attēlos. Lai noteiktu lokālos maksimumus, kas attēlo individuālus kokus, pielieto slīdošā loga (*Moving window*) principu. LiDAR datiem slīdošā loga izmērs 7×7 pikseļi. Slīdošais logs nosaka maksimālo vērtību CHM rastrā un aizstāja centrālā pikseļa vērtību ar šo maksimālo vērtību. Minimālais attālums starp individuāliem kokiem LiDAR datos iestatīts 60 cm attālumā. Ja kokam bija vairāk nekā viena galotne, katru galotni var tikt uzskatīta par atsevišķu koku. CHM rastra attēlu turpina apstrādāt, lai atlasītu tikai tos apgabalus, kas attēlo kokus, nevis apgabalus, kas attēlo pārējo ainavu. Meža definīcija Latvijā nosaka, ka mežs ir ekosistēma, kurā koku augstums var sasniegt vismaz 5 m, tāpēc šūnas ar CHM vērtībām zem 5 m tiek atmetas. Nākamajā solī, apvienojot rastra attēlu ar vietējām maksimālām centra šūnu vietām ar rastra attēlu, kas attēlo meža apgabalus, nosaka lokālās maksimālās centra šūnas, kas attēlo koku galotnes un pievieno tam informāciju par augstumu no CHM. Pēc šī soļa rastra attēls tiek pārveidots uz vektora datu formātu, kas tālāk tiek pārveidots par centroīdiem. Tagad katrs punkts apzīmē atsevišķu koku un tam ir augstuma vērtība (Ivanovs un Lazdins, 2018).

Tabula 5.1.1. Attēlu uzņemšanas laiki 2024. gada rudenī.

Audzes ID	Datums	Lidojuma augstums (m v.j.l.)	Attēlu skaits
Salaca_A	30. oktobris	125.8	183
Salaca_B	30. oktobris	127.5	247
Salaca_C	16. novembris	127.5	417
Salaca_D	30. oktobris	127.7	180

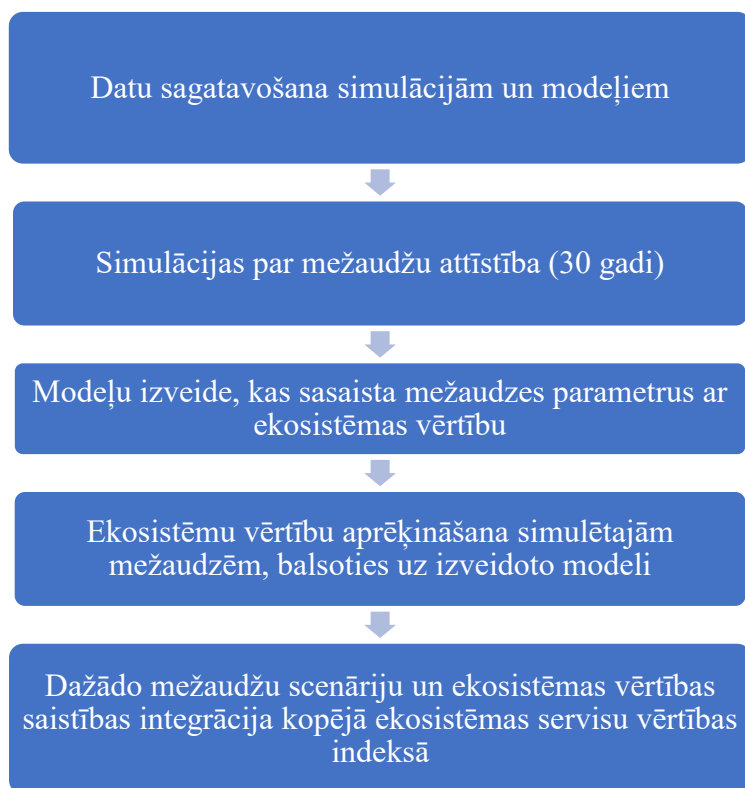
Salaca_E	30. oktobris	137.4	369
Salaca_F	30. oktobris	139.3	234
Salaca_G	30. oktobris	139.8	377
Salaca_H	6. novembris	144.0	728
Salaca_I	16. novembris	155.0	1665
Salaca_J	6. novembris	149.1	153
Salaca_K	16. novembris	151.1	63
Salaca_L	6. novembris	143.7	73
Salaca_M	6. novembris	144.1	54
Salaca_N	6. novembris	138.5	65
Salaca_O	6. novembris	135.1	105
Salaca_P	6. novembris	136.3	110
Salaca_R	16. novembris	127.4	56
Salaca_Q	16. novembris	127.3	117

Kopsavilkums

Attālās izpētes datu ievākšana veikta paredzētajā apjomā, izmantojot LiDAR tehnoloģiju kokaudzes struktūras novērtējumam. Iegūtie dati sniedz detalizētu informāciju par meža telpisko struktūru, koku augstumu un blīvumu. Šie dati būs pielietojami monitoringa nolūkos, kā arī piekrastes mežu ekosistēmu dinamikas analīzei pēc mežsaimnieciskās atjaunošanas pasākumu veikšanas

6. Ekosistēmas pakalpojumu modelēšana

6.1. Secīgs darbību apraksts



6.1. Attēls. Darbības shēma:

- 1) Datu sagatavošana 30 gadu periodu mežaudžu attīstības simulācijām un modeļu izveidei:
 - a. Mežaudzes apsaimniekošanas scenāriju un to ietekmēto parametru definēšana
 - i. Scenāriji: nav apsaimniekošana, ražošanas apsaimniekošana, ekoloģiskās funkcionalitātes uzlabošanas apsaimniekošana
 - ii. Parametri, ko ietekmē apsaimniekošana: sugu sastāvs, koku blīvums, vecumu sadalījums.
 - b. Iespējamo izejas stāvokļa audžu definēšana balstoties uz lauka novērojumiem, augšanas gaitas modeļiem, iepriekšējiem novērojumiem. Katrai audzei zināms:
 - i. Koku sugu sastāvs
 - ii. Diametru sadalījums (katrai sugai)
 - iii. Vecumu sadalījums (katrai sugai)
 - iv. Augstumu sadalījums (katrai sugai).
 - c. Klimata izmaiņu scenāriju definēšana balstoties uz iepriekšējo pētījumu rezultātiem. Iespējamāko scenāriju izvēle un nākamo 30 gadu ikdienas klimatisko parametru vērtību aprēķināšana/sagatavošana turpmākajai simulācijai:
 - i. Diennakts minimālā temperatūra
 - ii. Diennakts maksimālā temperatūra
 - iii. Diennakts kopējais nokrišņu daudzums

- iv. Diennakts vidējais saules radiācijas apjoms
- v. Diennakts vidējais ūdens tvaika spiediena deficīts
- d. Vēja klimata scenāriju definēšana balstoties uz iepriekšējo pētījumu rezultātiem. Iespējamo scenāriju izvēle un nākamo 30 gadu parametru vērtību aprēķināšana/sagatavošana turpmākajai simulācijai:
 - i. Stipra vēja iestāšanās biežuma iespējamība
 - ii. Galvenais stipra vēja notika virziens
 - iii. Gada dienas, kad stiprs vējš iestājas
 - e. Citu traucējumu definēšana balstoties uz iepriekšējo pētījumu rezultātiem
 - i. 30 gadu periodam definēt katrai no koku sugām, kas atrodas mežaudzē, iespējamību, ka būs traucējumu iespējamība, piemēram, mizgraužu bojājumi, zīdītāju izraisīti bojājumi.
- 2) Simulācijas par mežaudžu attīstību 30 gadu periodā
 - a. Definēt simulāciju variantus, ņemot vērā:
 - i. Iespējamie klimata scenāriji
 - ii. Iespējamie mežaudžu apsaimniekošanas varianti
 - iii. Iespējamie sākotnējie mežaudžu parametri (sastāvs, vecums)
 - b. Definēt mežaudžu parametrus, kurus nepieciešams apkopot pēc simulācijām
 - c. Izmantojot programmu iLand (<https://iland-model.org/startpage>) veikt simulācijas 30 gadu periodam visiem definētajiem simulāciju variantiem, katru no tiem atkārtojot vismaz 5 reizes
 - d. Izveidot vienotu datu masīvu, kurā apkopoti simulētie mežaudžu parametri pēc 30 gadu perioda atkarībā no simulācijas varianta izejas parametriem.
- 3) Modeļu izveide, kas sasaista mežaudzes parametrus ar ekosistēmas vērtību
 - a. Balstoties uz literatūras datiem, iepriekšējiem pētījumiem un projektā iegūtajiem rezultātiem, izveidot modeli, kas sasaista mežaudzes parametrus ar ekosistēmas servisu vērtību (Saklaurs et al., 2022)
 - b. Modeļu izveidei izmantot programmu R, pielietojot BOR (Bayesian ordinal regression), BZOB (Bayesian zero-one beta regression) un citus modeļus, lai noteikta katra parametra ietekmes apjomu un būtiskumu uz ekosistēmu servisu vērtību (Koda piemērs dots 2. pielikumā)
 - c. Matemātisku formulu, kas balstās uz modeļa rezultātiem, izveidošana, pēc kurām var veikt ekosistēmu servisu vērtību aprēķināšanu citām, modeļa izveidē neiekļautām mežaudzēm.
- 4) Ekosistēmu servisu vērtību aprēķināšana simulētajām mežaudzēm, balstoties uz izveidoto modeli
 - a. Balstoties uz matemātiskajām formulām, kas izveidotas ekosistēmas servisu vērtību aprēķināšanai, aprēķināt vērtību katrai no simulētajām situācijām
 - b. Izveidot vienotu datu masīvu, kas sasaista ekosistēmu servisu vērtību ar simulācijā izmantotajiem scenārijiem, lai parādītu kāda būs ekosistēmu servisu vērtība mežaudzē, izvēloties konkrētu mežaudzes apsaimniekošanas scenāriju, iespējamo klimata izmaiņu scenāriju, sākotnējo mežaudzes stāvokli.
- 5) Dažādo mežaudžu scenāriju un ekosistēmas vērtības saistības integrācija kopējā ekosistēmas servisu vērtības indeksā

a. Iegūtā datu masīva par ekosistēmu servisu vērtību un scenāriju saistību nodošana tālākai integrācijā vienotā modelī ar citiem parametriem, lai aprēķināto kopējo ekosistēmas servisu vērtības indeksu.

Izmantotā literatūra

- Allen, W. L. (2014). A green infrastructure framework for vacant and underutilized urban land. *Journal of Conservation Planning*, 10, 43–51
- Barkmann, J., Glenk, K., Keil, A., Leemhuis, C., Dietrich, N., Gerold, G., & Marggraf, R. (2008). Confronting unfamiliarity with ecosystem functions: the case for an ecosystem service approach to environmental valuation with stated preference methods. *Ecological economics*, 65(1), 48-62.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Island Press Washington
- Cheng, P., Tang, H., Zhu, S., Jiang, P., Wang, J., Kong, X., & Liu, K. (2021). Distance to river basin affects residents' willingness to pay for ecosystem services: Evidence from the Xijiang river basin in China. *Ecological Indicators*, 126, 107691.
- Christie, M., Fazey, I., Cooper, R., Hyde, T., & Kenter, J. O. (2012). An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. *Ecological economics*, 83, 67-78.
- Davies, C., MacFarlane, R., McGloin, C., & Roe, M. (2006). *Green infrastructure planning guide*. Pieejams: <http://www.scribd.com/doc/33007993/Green-Infrastructure-Planning-Guide/>
- Eiropas Komisija (2013). *Zaļā infrastruktūra*. Pieejams: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en?prefLang=lv&etrans=lv
- Ellenberg, H. (1992). Naturschutz als konstruktiver Beitrag zur zukünftigen Landnutzung in Mitteleuropa. *NNA Ber*, 5, 4-8.
- Fitter, A. H., & Peat, H. J. (1994). The ecological flora database. *Journal of ecology*, 415-425.
- Forest Research (2010). *Benefits of green infrastructure report by forest research*. Pieejams: <http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/greeninfrastructure.pdf/>
- Garrido, P., Elbakidze, M., Angelstam, P., Plieninger, T., Pulido, F., & Moreno, G. (2017). Stakeholder perspectives of wood-pasture ecosystem services: A case study from Iberian dehesas. *Land use policy*, 60, 324-333.
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24(3), 189-206.
- Grime, J. P. (1979, November). Primary strategies in plants. In *Transactions of the Botanical Society of Edinburgh* (Vol. 43, No. 2, pp. 151-160). Taylor & Francis Group.
- Haines-Yong R, Potschin M (2013) CICES V4.3 – revised report prepared following consultation on CICES version 4, august–December 2012. EEA framework contract no EEA/IEA/09/003. https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seearev/GCCComments/CICES_Report.pdf
- Klotz S, Kuhn I, Durka W (2002) BIOFLOR–Eine Datenbank mit biologisch-okologischen
- Laforteza, R., Carru, G., Sanesi, G., & Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry and Urban Greening*, 8, 97–108.
- Liepa, L., & Straupe, I. (2012). The assessment of vegetation diversity in black alder woodland key habitats in Zemgale.
- Magurran, A. E., & Magurran, A. E. (1988). Diversity indices and species abundance models. *Ecological diversity and its measurement*, 7-45.
- Melecis, V. (2011). *Ekoloģija*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 352.
- Merkmalen zur Flora von Deutschland. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 38:1–334

Mutandwa, E., Grala, R. K., & Petrolia, D. R. (2019). Estimates of willingness to accept compensation to manage pine stands for ecosystem services. *Forest Policy and Economics*, 102, 75-85.

Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., & Zelčs, V. (2018). Latvija. Zeme, daba, tauta, valsts [Latvia. Land, Nature, People, Country]. Latvijas Universitātes Akadēmiskais apgāds, Rīga.

Ortega-Álvarez, R., & MacGregor-Fors, I. (2009). Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning*, 90, 189–195.

Pakalne, M., & Znotiņa, V. (1992). Veģetācijas klasifikācija: Brauna-Blankē metode. Rīga, LU, 33.

Potschin, M., & Haines-Young, R. (2013). Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services. *Landscape Ecology*, 28, 1053-1065.

Raunkiaer, C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer.

Stokland, J. N. (2001). The coarse woody debris profile: an archive of recent forest history and an important biodiversity indicator. *Ecological Bulletins*, 71-83.

Braun-Blanquet J. (1964) Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien: Springer Verlag, 865 S.

Dabas aizsardzības pārvalde, 2024. Aizsargājamās sugas. <https://www.daba.gov.lv/lv/cites-sugas#augi-planta-orhidejas-orchidaceae>

Ministru kabineta noteikumi Nr.396. Noteikumi par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu. <https://likumi.lv/ta/id/12821-noteikumi-par-ipasi-aizsargajamo-sugu-un-ierobezoti-izmantojamo-ipasi-aizsargajamo-sugu-sarakstu#piel1>

Ministru kabineta noteikumi Nr.940. 1. Pielikums: Īpaši aizsargājamo zīdītāju, abinieku, rāpuļu, bezmugurkaulnieku, vaskulāro augu, sūnu, aļģu, ķērpju un sēņu sugas, kurām izveidojami mikroliegumi. <https://likumi.lv/ta/id/253746-noteikumi-par-mikroliegumu-izveidosanas-un-apsaimniekosanas-kartibu-to-aizsardzibu-ka-ari-mikroliegumu-un-to-buferzonu-noteiksanu>

R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

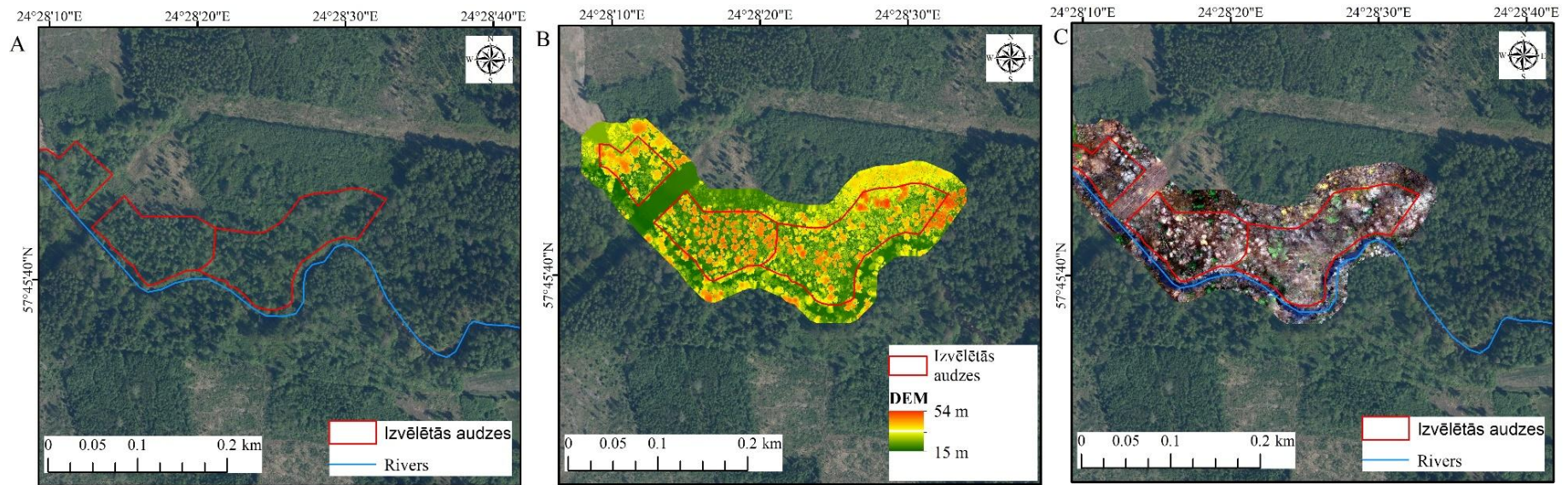
Bates, Douglas, Martin Mächler, Ben Bolker, and Steve Walker. 2015. “Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4.” *Journal of Statistical Software* 67 (1): 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.

Kuznetsova, Alexandra, Per B. Brockhoff, and Rune H. B. Christensen. 2017. “lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models.” *Journal of Statistical Software* 82 (13): 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>.

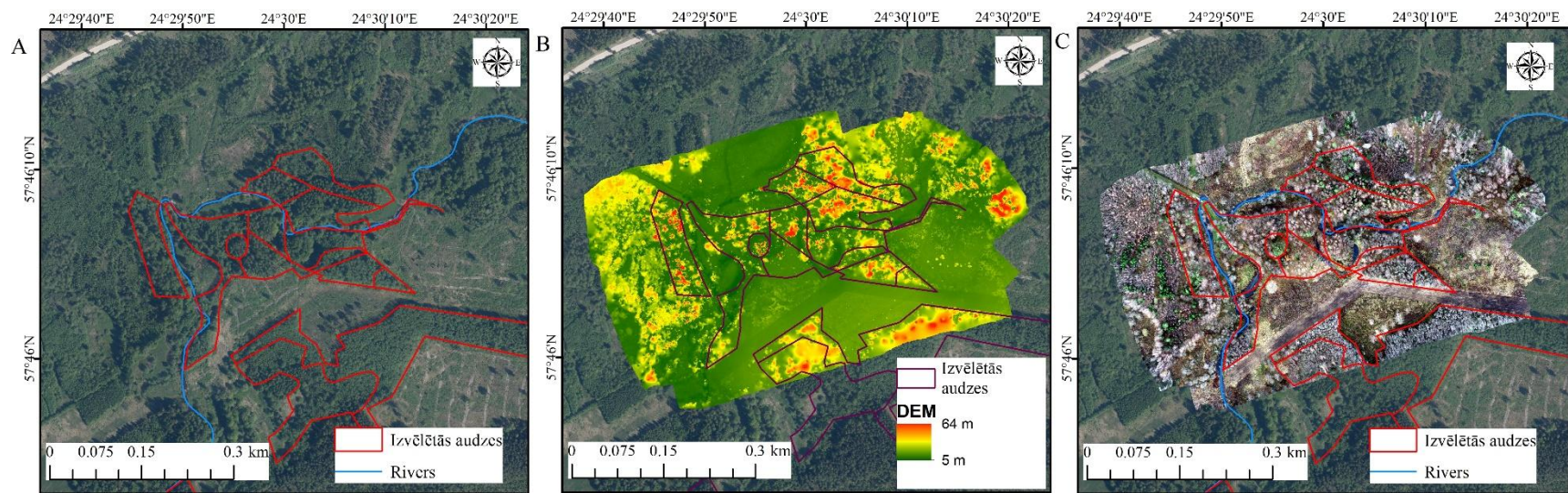
R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

Ivanovs, J., & Lazdins, A. (2018). Evaluation of tree height and number of trees using LiDAR data. *Engineering for rural development*, 1390–1394

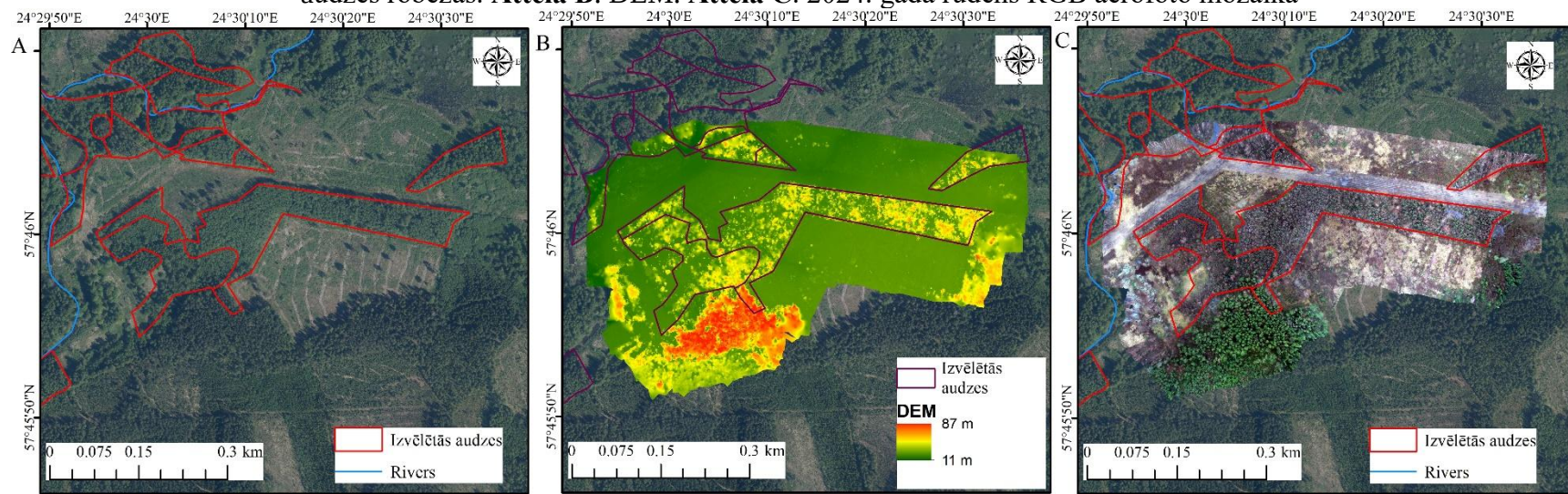
1. Pielikums Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze F) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati



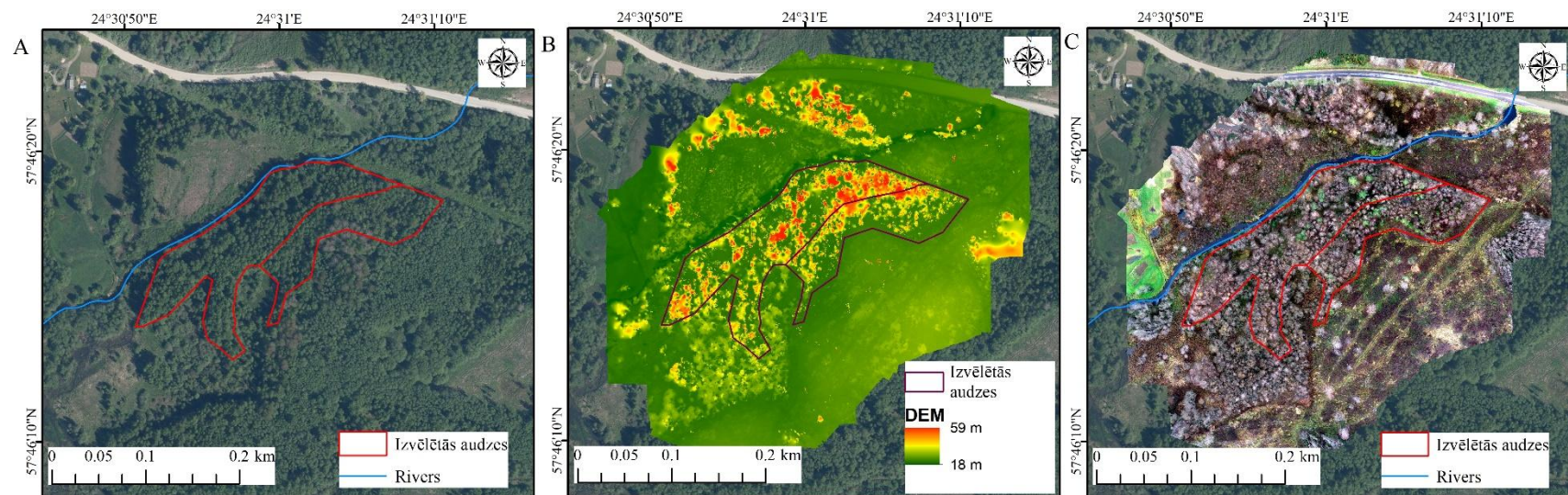
1. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze A) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



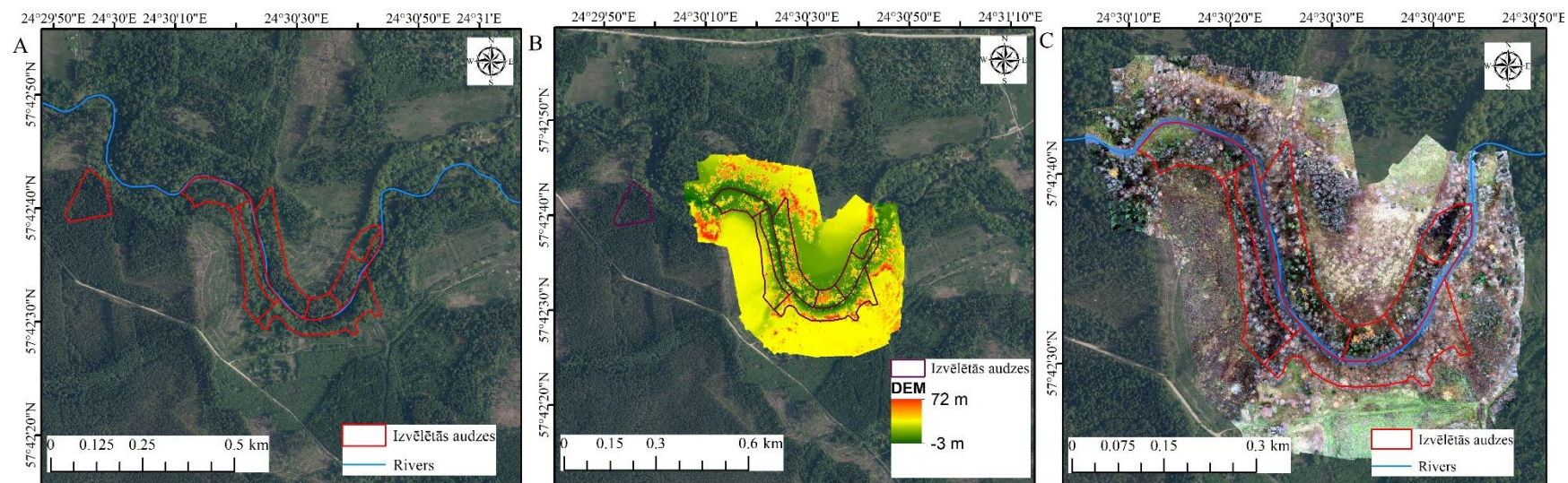
2. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudzes (Audze B) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



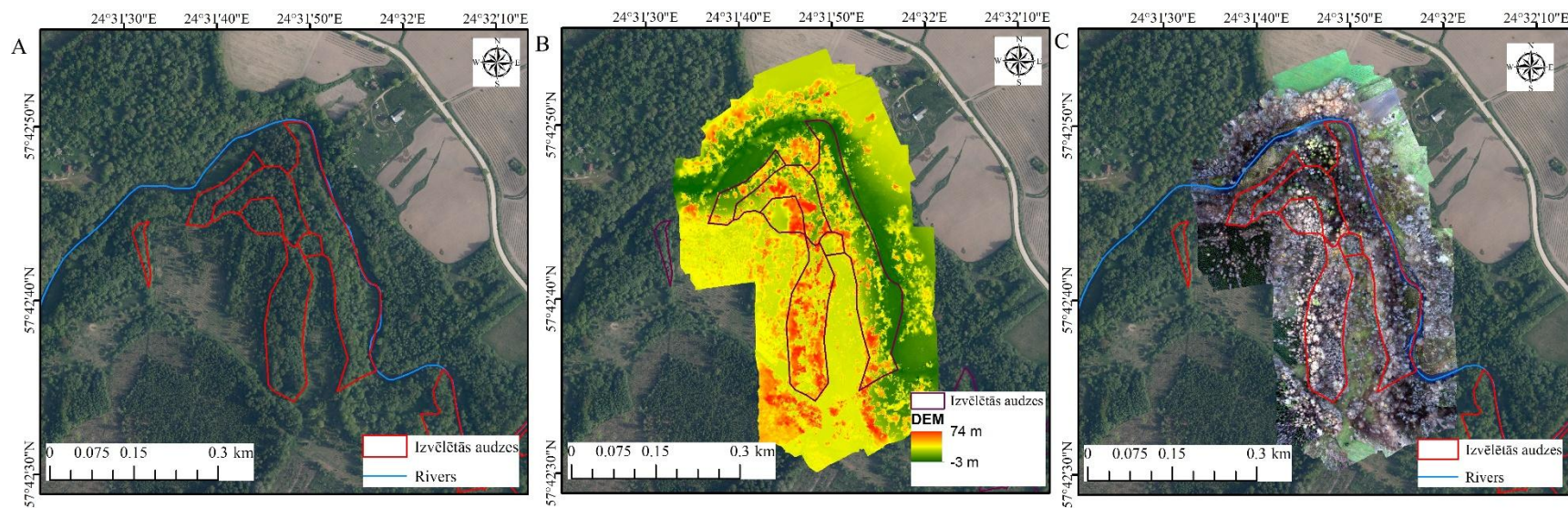
3. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze C) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



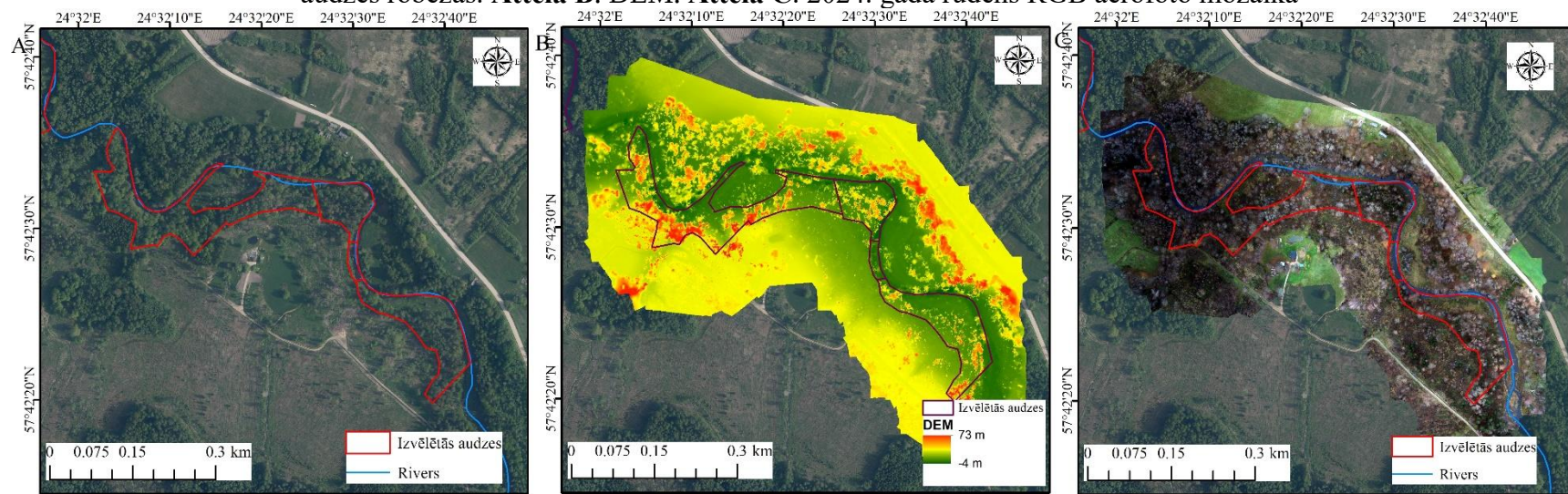
4. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze D) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



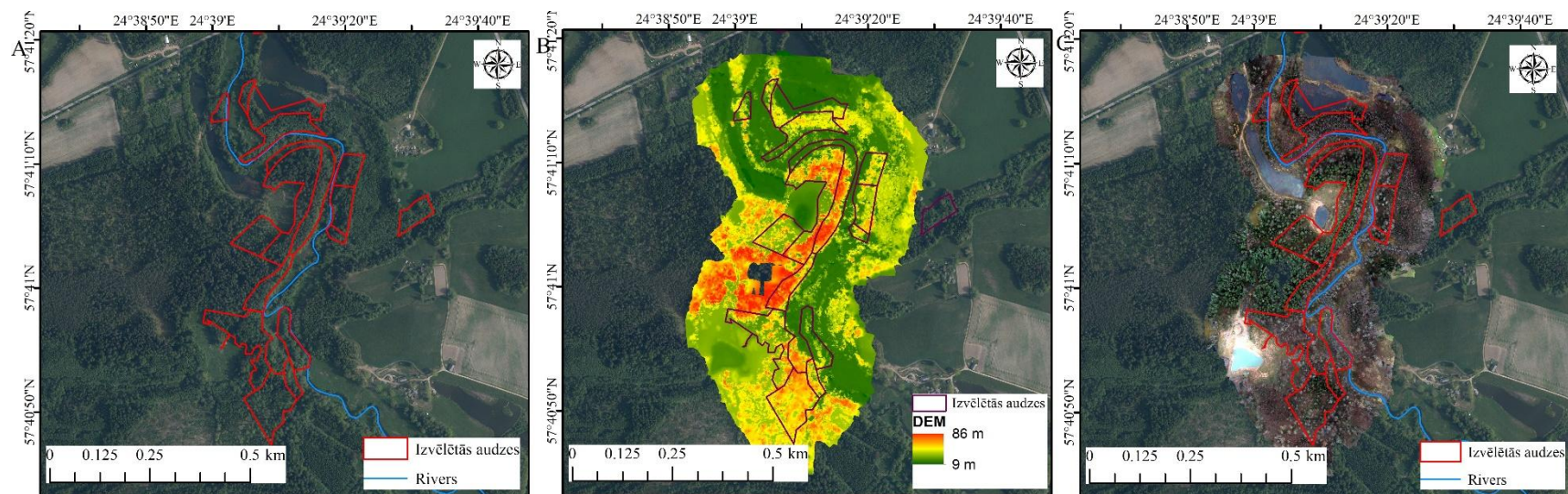
5.attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze E) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



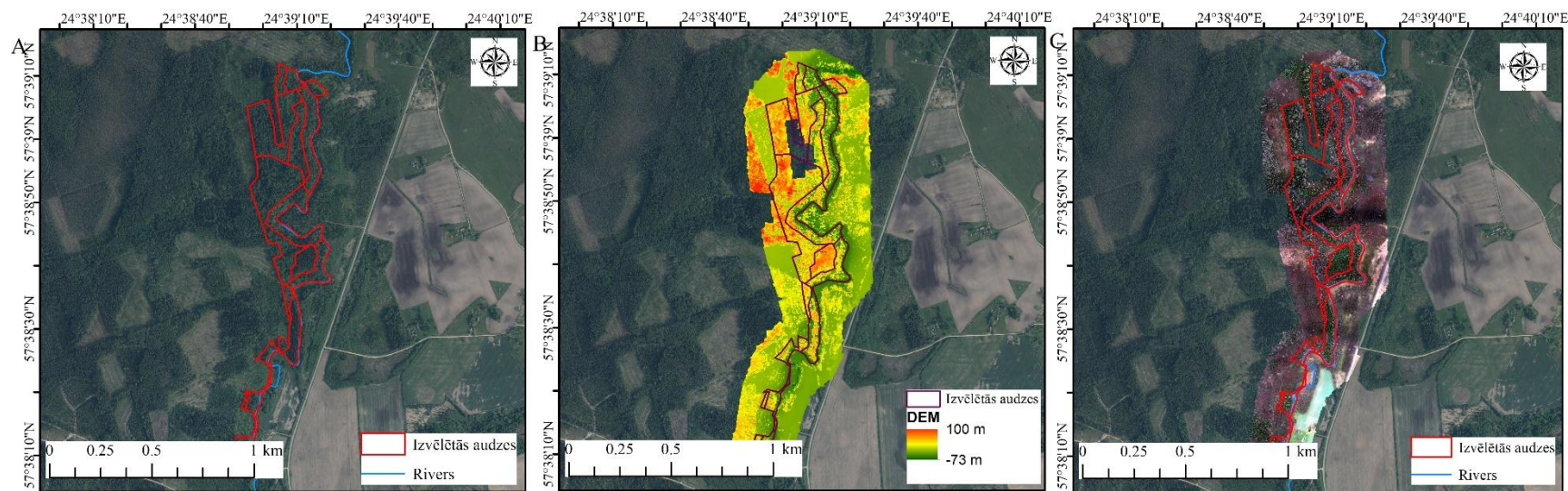
6. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudzes (Audze F) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



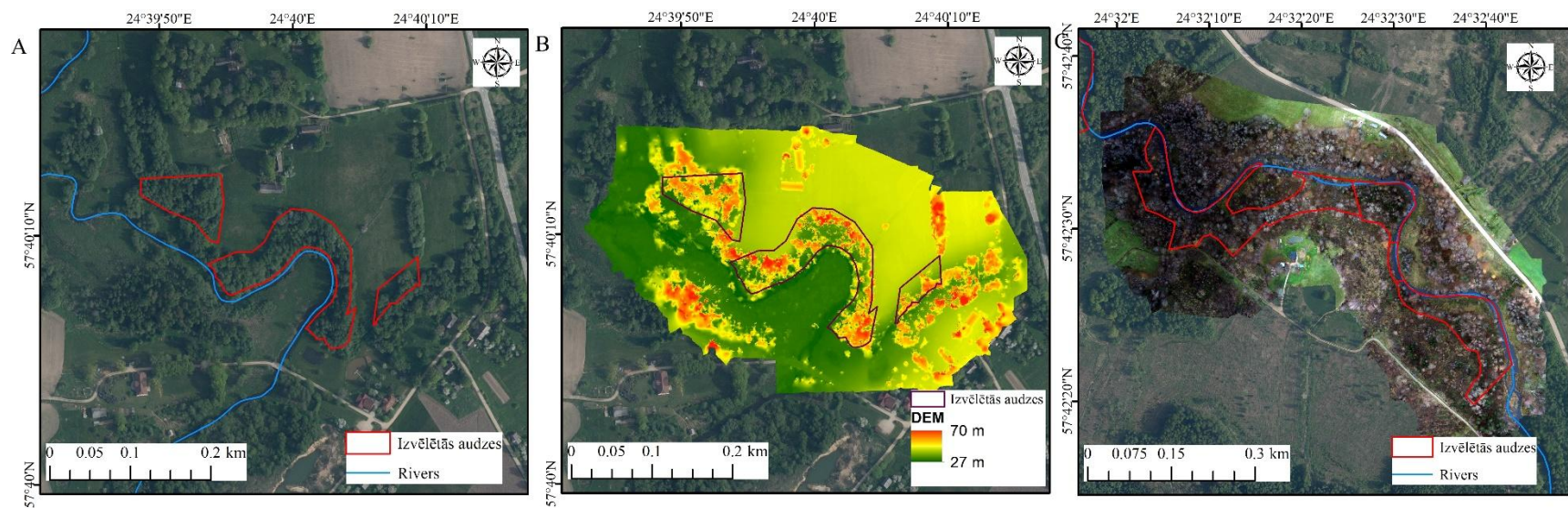
7. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze G) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



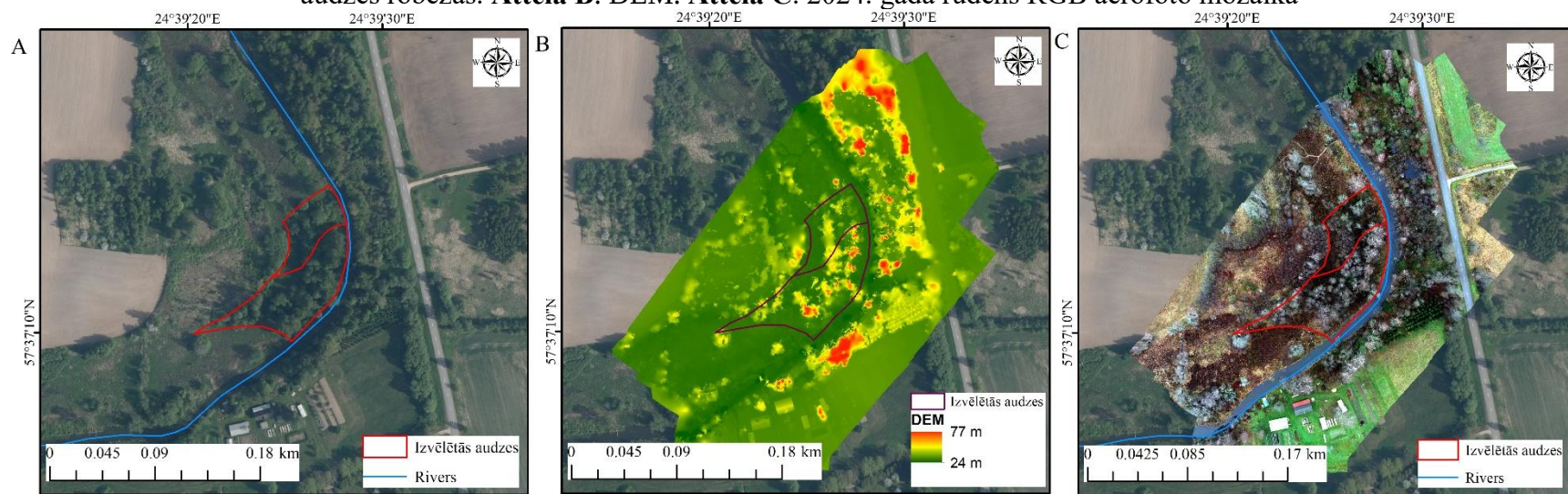
8. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze H) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



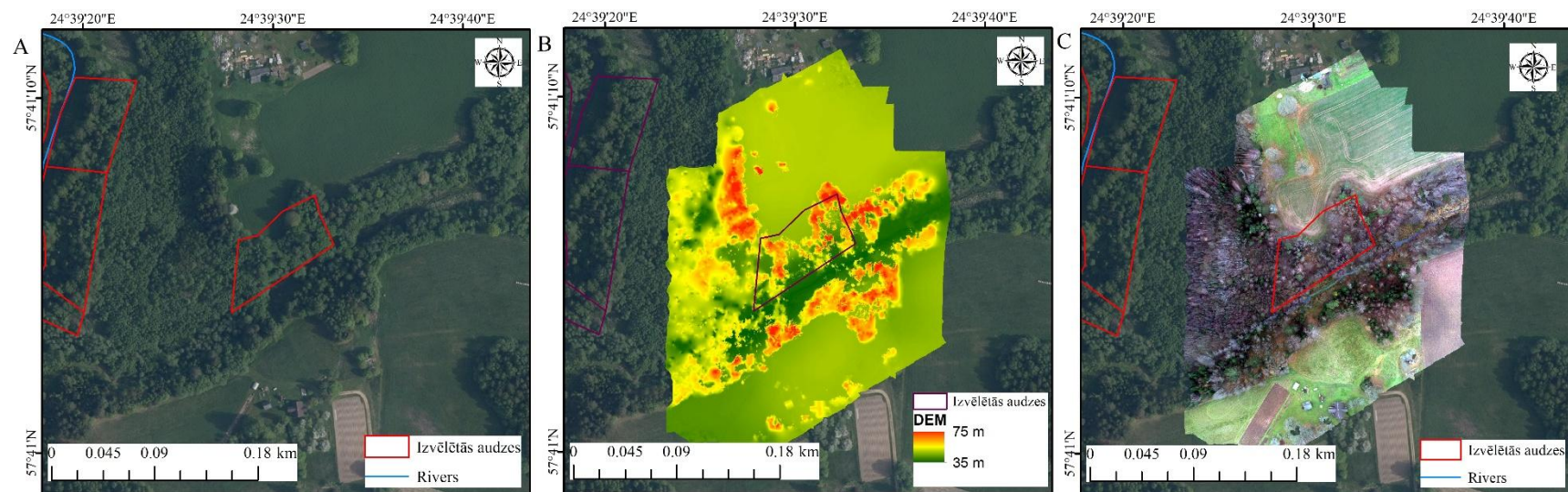
9. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze I) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



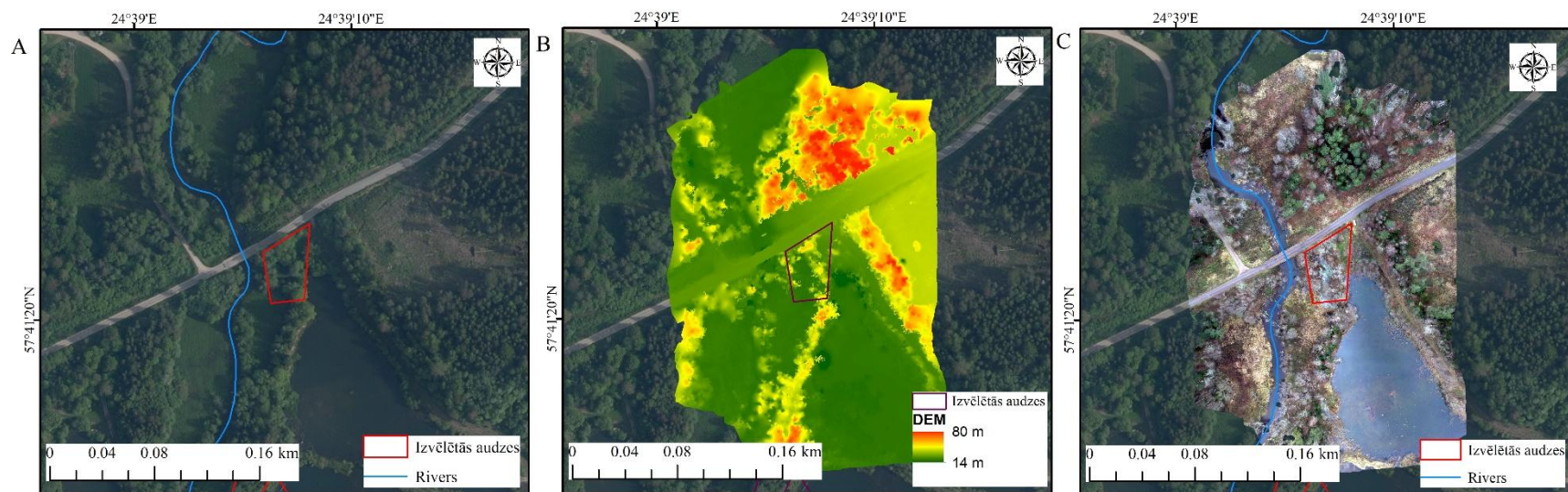
10. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudzes (Audze J) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



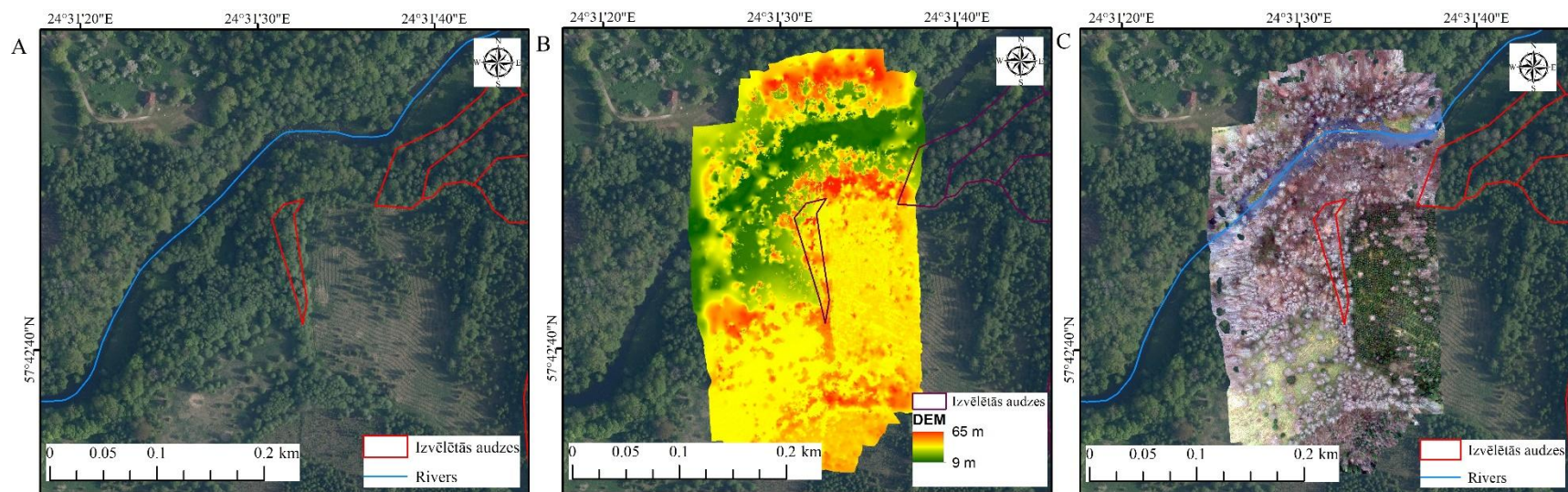
11. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze K) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



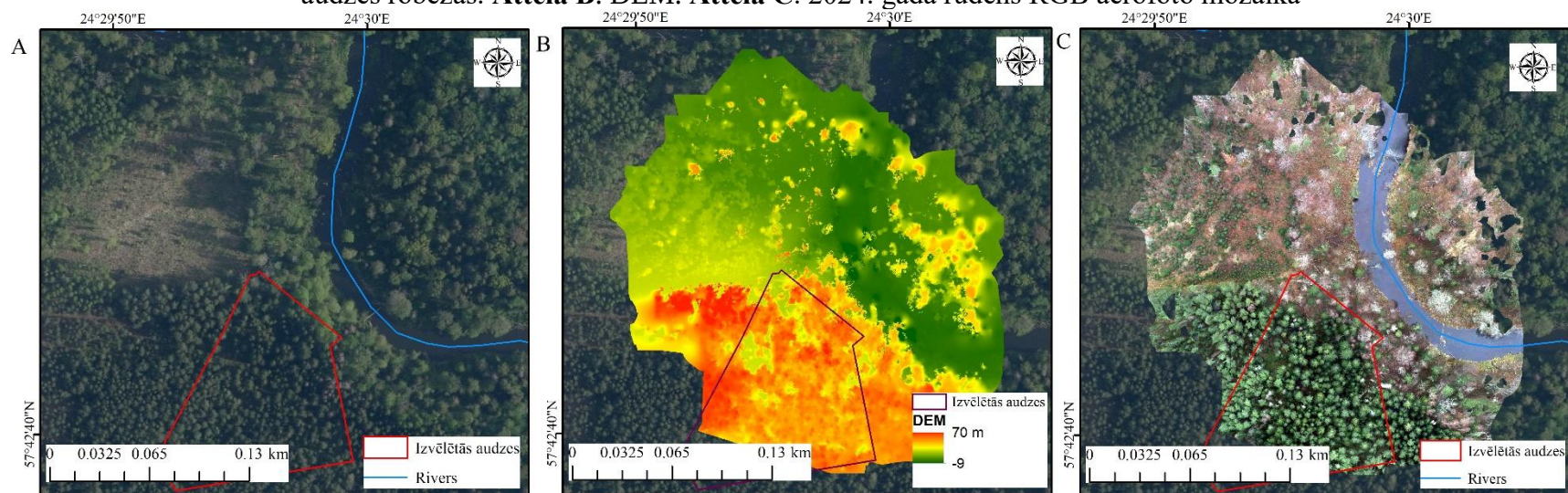
12. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze L) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



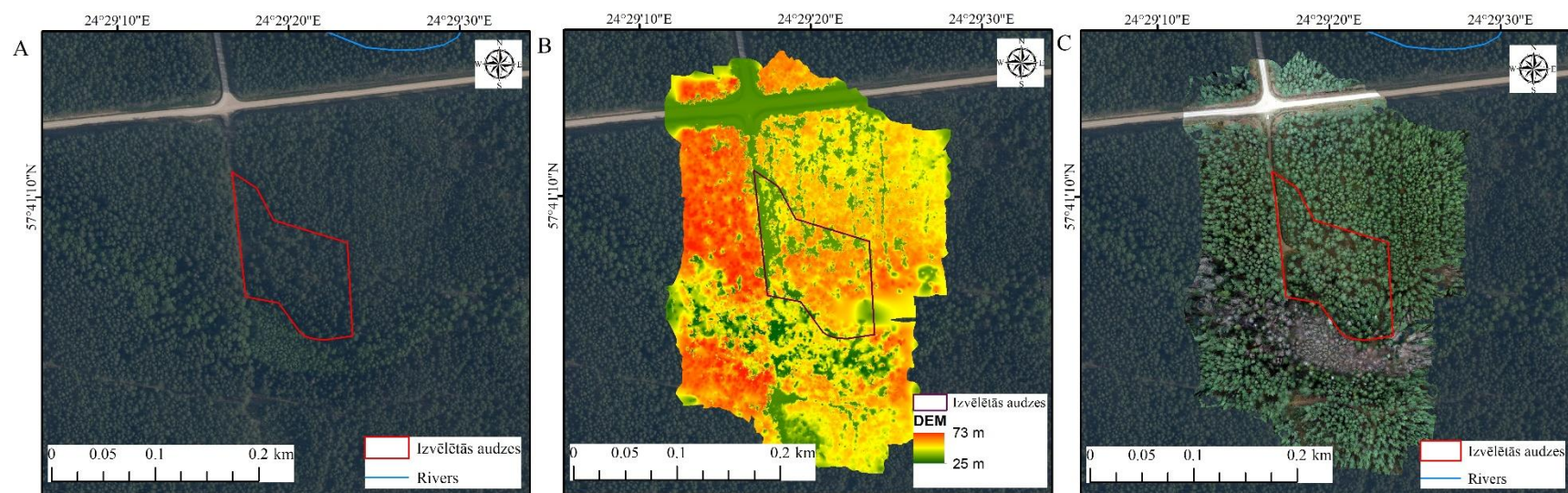
13. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze M) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



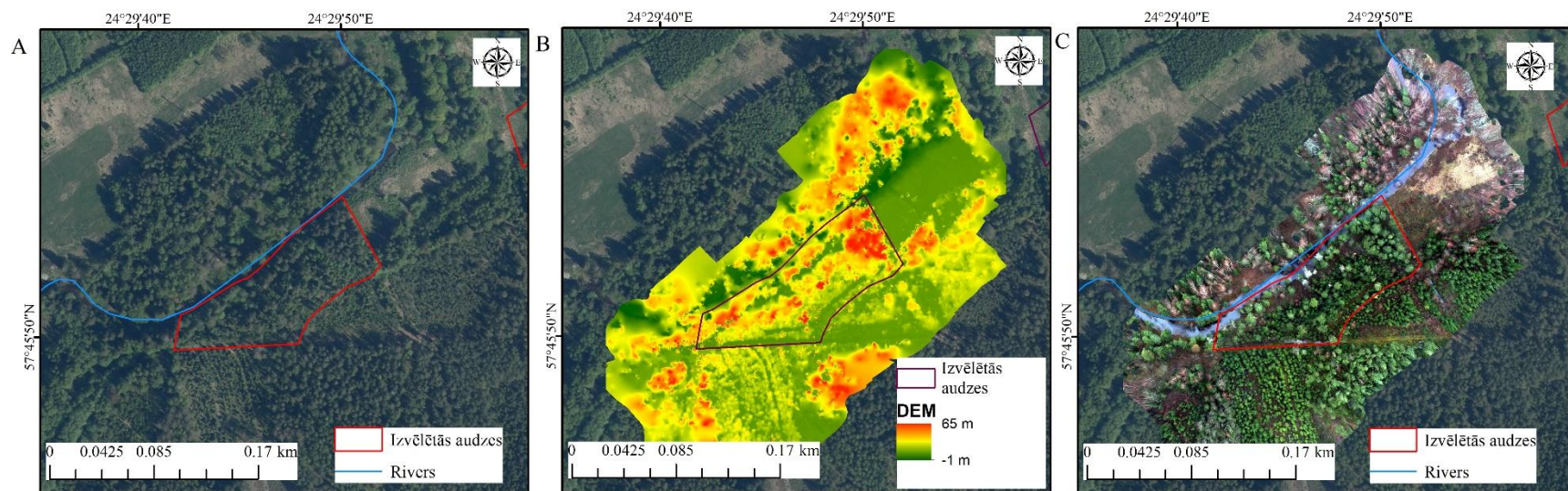
14. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudzes (Audze N) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



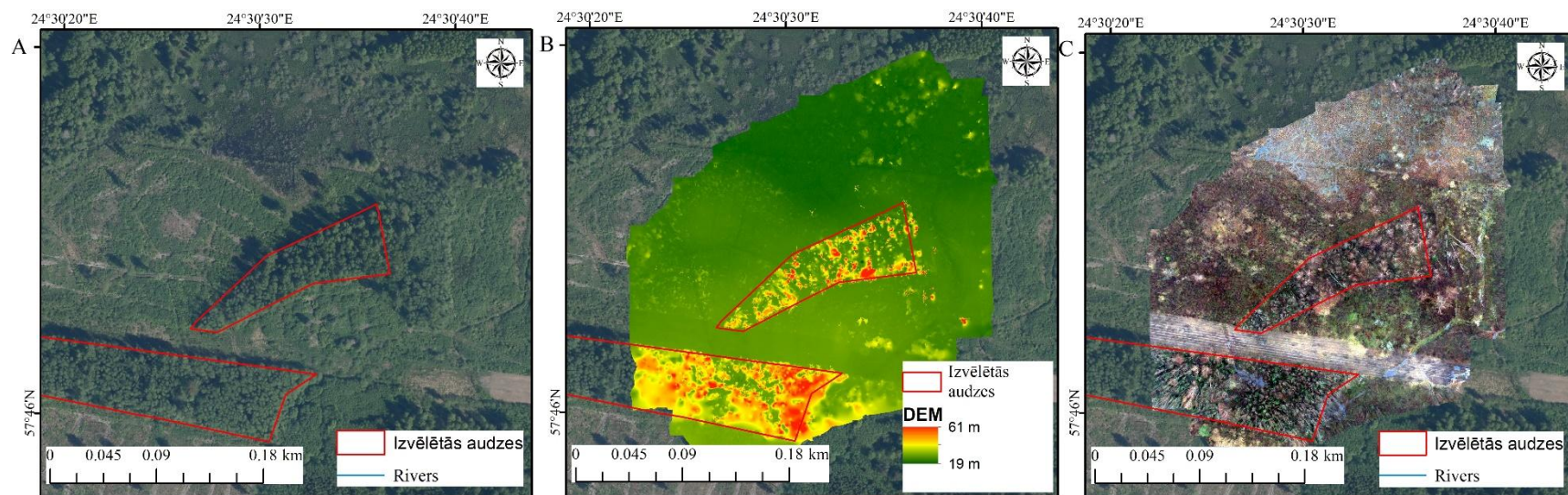
15. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze O) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



16.attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze P) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



17. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze Q) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka



18. attēls. Salacas baseina upjmalu mežaudžes (Audze R) struktūras analīzei sagatavotie attālās izpētes dati. **Attēlā A.** LGIA 7. cikla aerofoto un audzes robežas. **Attēlā B.** DEM. **Attēlā C.** 2024. gada rudens RGB aerofoto mozaīka

2. Pielikums Modeļu izveides, kas sasaista mežaudzes parametrus ar ekosistēmas vērtību, koda piemērs

```
# Prepare the R environment----
# R libraries needed for data processing
library(tidyverse) # for data transformation and visualization
library(dbplyr) # for data base data processing
library(DBI) # database connections
library(lme4) # for linear mixed effect models
library(lmerTest) # for linear mixed effect models statistical analysis
library(emmeans) # pairwise comparisons

# Steps for data preparation, preprocessing and visualization are repeated for each of the simulation variants----

# Data import from the iLand results database----
# Connection to the iLand results database

con <- DBI::dbConnect(RSQLite::SQLite(), dbname = "output/output.sqlite")

# Check tables

dbListTables(con)

# Import data tables from the database as R objects
beetle <- tbl(con, "barkbeetle") %>%
  collect()

landscape <- tbl(con, "landscape") %>%
  collect()

wind <- tbl(con, "wind") %>%
  collect()

# Disconnect from the database
dbDisconnect(con)

# Data check and visualization----
# Calculate basic statistics

# Summary tables
summary(beetle)
summary(landscape)
summary(wind)

# Statistical indicators for landscape parameters for each species
landscape %>%
  group_by(species) %>%
  summarise_at(vars(count_ha:cohort_count_ha),
    list(Videjais = mean,
      Standartnovirze = sd,
      P_Q = ~quantile(., 0.25),
      T_Q = ~quantile(., 0.75)))

# Total wind damage volume during the simulation period
wind %>%
  select(area_ha:killedVolume) %>%
  summarise_all(sum)

# Total bark beetle damage volume during the simulation period
beetle %>%
```

```

select(infestedArea_ha:killedVolume) %>%
summarise_all(sum)

# Visualization of landscape parameters depending on the species
landscape %>%
  pivot_longer(count_ha: cohort_count_ha, names_to = "parametrs", values_to = "vertiba") %>%
  ggplot(aes(species, vertiba)) +
  stat_summary(fun.data = mean_cl_normal) +
  facet_wrap(~parametrs, scales = "free_y") +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5))

# Data preparation for the joint data array----
beetle %>%
  select(infestedArea_ha:killedVolume) %>%
  summarise_all(sum) %>%
  pivot_longer(infestedArea_ha:killedVolume, names_to = "parametrs", values_to = "vertiba") %>%
  mutate(Sim_variants = "Variants 1",
         Sim_atkartojums = "Atkartojums 1") -> beetle_1_1

wind %>%
  select(area_ha:killedVolume) %>%
  summarise_all(sum) %>%
  pivot_longer(area_ha:killedVolume, names_to = "parametrs", values_to = "vertiba") %>%
  mutate(Sim_variants = "Variants 1",
         Sim_atkartojums = "Atkartojums 1") -> wind_1_1

landscape %>%
  filter(year == 30) %>%
  select(-year) %>%
  pivot_longer(count_ha: cohort_count_ha, names_to = "parametrs", values_to = "vertiba") %>%
  mutate(Sim_variants = "Variants 1",
         Sim_atkartojums = "Atkartojums 1") -> landscape_1_1

# Combine data from separate simulation variants----
beetle_kopa <- bind_rows(beetle_1_1, beetle_1_2, beetle_1_3, beetle_1_4, beetle_1_5,
                        beetle_2_1, beetle_2_2, beetle_2_3, beetle_2_4, beetle_2_5,
                        beetle_3_1, beetle_3_2, beetle_3_3, beetle_3_4, beetle_3_5)

wind_kopa <- bind_rows(wind_1_1, wind_1_2, wind_1_3, wind_1_4, wind_1_5,
                      wind_2_1, wind_2_2, wind_2_3, wind_2_4, wind_2_5,
                      wind_3_1, wind_3_2, wind_3_3, wind_3_4, wind_3_5)

landscape_kopa <- bind_rows(landscape_1_1, landscape_1_2, landscape_1_3, landscape_1_4, landscape_1_5,
                          landscape_2_1, landscape_2_2, landscape_2_3, landscape_2_4, landscape_2_5,
                          landscape_3_1, landscape_3_2, landscape_3_3, landscape_3_4, landscape_3_5)

# Visualization of simulation results----
ggplot(beetle_kopa, aes(Sim_variants, Vertiba)) +
  geom_boxplot() +
  facet_wrap(~ parametrs, scales = "free_y") +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5))

ggplot(wind_kopa, aes(Sim_variants, Vertiba)) +
  geom_boxplot() +
  facet_wrap(~ parametrs, scales = "free_y") +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5))

ggplot(landscape_kopa, aes(Sim_variants, Vertiba)) +
  geom_boxplot() +
  facet_wrap(~ parametrs, scales = "free_y") +

```

```

theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5))

# Model creation for comparison of simulation variants----
# Steps are repeated for each species/parameter combination

# Landscape parameter total_carbon_kg for the species Picea abies
modelis1 <- lm(total_carbon_kg ~ Variants, data = landscape_kopa[landscape_kopa$species == "piab"]) #
model definition
plot(modelis1) # model condition check
summary(modelis1) # model summary
emmeans(modelis1, pairwise ~ Variants) # pairwise comparison of levels

# Model creation for the species Pinus sylvestris
modelis2 <- lm(total_carbon_kg ~ Variants, data = landscape_kopa[landscape_kopa$species == "pisy"]) #
model definition
plot(modelis2) # model condition check
summary(modelis2) # model summary
emmeans(modelis2, pairwise ~ Variants) # pairwise comparison of levels

# Beetle parameter killedVolume
modelis3 <- lm(killedVolume ~ Variants, data = beetle_kopa) # model definition
plot(modelis3) # model condition check
summary(modelis3) # model summary
emmeans(modelis3, pairwise ~ Variants) # pairwise comparison of levels

# Wind parameter killedVolume
modelis4 <- lm(killedVolume ~ Variants, data = wind_kopa) # model definition
plot(modelis4) # model condition check
summary(modelis4) # model summary
emmeans(modelis4, pairwise ~ Variants) # pairwise comparison of levels

```