



PĀRSKATS

par Meža attīstības fonda atbalstīto pētījumu

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: **Informācijas nodrošinājums par
vēsturisko meža segumu, mežaudžu
struktūru un saimniecisko darbību**

LĪGUMA NR.: 24-00-S0MF11-000001

PĒTĪJUMA NORISES LAIKS: 01.06.2024. – 30.12.2024.

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”

PĒTĪJUMA VADĪTĀJS: Mārtiņš Lūkins,
LVMI “Silava” zinātniskais asistents

Salaspils, 2024

Saturs

Kopsavilkums	4
Summary	6
Ievads	8
Senie meži: no problemātikas un metodikas līdz kartēšanai	8
Senā meža koncepts	9
Senā meža koncepta sākotnējā izpratne.....	9
Senā meža koncepcijas būtība	9
Dabiskuma definēšana.....	11
Pasaules praksē meža dabiskuma definēšanai tiek izmantotas vairākas pieejas:	11
Senais mežs Latvijā.....	11
Terminoloģija un aktualitāte Latvijai	11
Senais mežs un iepriekš izveidotās aizsargājamās platības.....	12
Senā meža galvenās īpatnības Latvijā	12
Senā meža telpiskās iezīmes Latvijā: reģionālais skatījums	13
Seno mežu tipoloģija	14
Metodika.....	16
Seno mežu kartēšana	16
Senie meži kā kartējamā vienība	16
Hronoloģiskais ietvars	17
Seno mežu vērtēšanas kritēriji.....	18
Senie meži un indikatorsugas	19
Normatīvie un tiesiskie jautājumi	19
Meža un lauksaimniecības zemju virsmas raupjuma analīze.....	20
Darba izklāsts	20
Datu analīze	21
Statistikas rezultāti.....	21
Zemes virsmas raksturs meža teritorijās ar atšķirīgu izmantojuma vēsturi.....	22
Zemes virsmas mikroreljefa analīzes rezultāti.	23
Aerofoto pārklājums laika posmā no 1945. līdz 1991. gadam	26
Vēsturisko materiālu apstrāde un mežainuma kontūru iegūšana. Risinājumi un piemēri .	27
Kokogļu dedzināšanas pauguru detektēšanas metodika izmantojot LIDAR datus.....	31
Pauguru morfoloģija un veidošanas priekšnosacījumi	31
Kokogļu pauguru izmantošana meža augšņu SOC aprēķinos	34
Izmantotās detektēšanas metodes pārskats un parametri.....	35
Pāraugušu mežaudžu telpiskā struktūra	38
Datu apstrādes metodes	38
Rezultāti.....	41
Ūdensteču aizsargjoslu vēsturiskās attīstības izpēte	42
Darba izklāsts	42
Datu analīze	42
Aizsargu meži.....	43

Saudzes kvartāli virsmežniecību shēmās	45
Veco mežu integrācijas likumdošanā perspektīvas	47
Uzdevumi nākamajam pētījumu posmam.....	49
Izmantotā literatūra	50

Kopsavilkums

Projekta ietvaros turpināta vēsturisko mežu izpēte, šādu teritoriju kartogrāfiskā un metodiskā atlases ietvara noformulēšana. Nodefinēts trīs periodu meža seguma pieejamo datu avotu, to pārseguma, precizitātes rāmis. Sagatavota 1980-to gadu mežainuma atlases modelis no vēsturiskajām aerofoto ainām.

Papildināts pirmskara laika, 1980-to gadu ārpus mežsaimnieciskās darbības nolikto teritoriju izejas datu kopums, digitalizējot ūdenteču arhīva, saudzes kvartālu informāciju.

Pētījuma nosaukums

Informācijas nodrošinājums par vēsturisko meža segumu, mežaudžu struktūru un saimniecisko darbību.

Pētījuma pasūtītājs

ZM Meža attīstības fonda atbalstīts pētījums

Pētījuma Nr.

Nr. 24-00-S0MF11-000001

Pētījuma atbalsts summa (eiro)

40000

Pētījuma izpildes laiks

01.06.2024.–30.12.2024.

Pētījuma izpildītājs

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"

Problēmas risinājuma apraksts

Pētījuma rezultātā piedāvāts seno mežu konceptuālais satvars, to kartēšanas un tipoloģijas pamatelementi, izvirzīti turpmākās izpētes un integrācijas jautājumi meža apsaimniekošanas plānošanā. Pētījuma gaitā pārbaudītas virkne attālās izpētēs un vēsturisko materiālu datu kopas un to apstrādes paņēmieni un aprakstītas to izmantošanas iespējas un ierobežojumi seno mežu kartēšanā un atpazīšanā. Viens no pētījuma rezultātiem ir vēsturisko materiālu skenēšana un katoloģizācija.

Pētījuma mērķis

Pētījuma mērķis bija aprobēt seno meža koncepciju Latvijas apstākļiem un apzināt seno mežu problemātiku, kas saistīta ar to dažādību teritoriālā, vēsturiskā un tipoloģiskā, kā arī normatīvā skatījumā saistībā ar Latvijas un Eiropas Savienības likumdošanas iniciatīvām un prasībām. Pētījums organizēts vairākās savstarpēji saistītās daļās, ka ietver izvērstu aktuālās meža inventarizācijas, tālizpētes datu un vēsturisko materiālu karšu, kā arī citu pētījumu rezultātu un satura analīzi.

Pētījuma uzdevumi

1. Paplašināt datu aktualizāciju un analīzi no pagājušā gadsimta sākuma, pēckara laika un astotās desmitgades par vēsturisko meža segumu, mežaudžu struktūru un saimniecisko darbību identificētajās seno mežu, aizsargu mežu, aizsargjoslu mežu teritorijās.
2. Nodrošināt nepieciešamo informāciju integrācijai šī brīža meža apsaimniekošanā, lokālās un Eiropas Savienības likumdošanas ieteikumu pamatojumam:

- 2.1. senie meži un to kartēšana metodika, balstoties uz iepriekšējo gadu izpētes rezultātiem – pazīmes un tipoloģija, izplatība, vērtējums; priekšlikumi integrācijai meža apsaimniekošanā kontekstā ar ES likumdošanu;
- 2.2. ūdensteču aizsargjoslu vēsturiskās attīstības izpēte, izsekojot to izvietojumu, maiņu, sākot ar pirmskara aizsargu mežu izvietojumu, okupācijas laika ūdensteču aizsargjoslu arhīva digitalizāciju un izpēti, audžu struktūru attīstības sakarībām;
- 2.3. 1940.–1950. un 1980.–1990. gadu mežainuma seguma digitalizēšana un vēsturisko karšu servisu papildināšana un uzturēšana;
- 2.4. rezultātu, digitalizēto datu publicēšana brīvpieejas nodrošināšanai.

Pētījuma vadītājs

Mārtiņš Lūkins
amats: LVMI “Silava” zinātniskais asistents
e-pasts: martins.lukins@silava.lv
tel.nr.: 29127565

Pētījuma izpildītāji

Mārtiņš Lūkins
Juris Zariņš
Jānis Donis
Hugo Herberts Puriņš

Summary

The project continued the study of historical forests, the formulation of a cartographic and methodological framework for the selection of such territories. The framework for the sources of available data on forest cover for three periods, their coverage, and accuracy was defined. A model for the selection of forest cover from historical aerial photographs of the 1980s was prepared.

The set of initial data for the pre-WW2 , 1980s territories placed outside forestry activities was supplemented by digitizing information from the watershed archive and the forest blocks for protection of site type samples.

Title of the study

Provision of information on historical forest cover, forest stand structure and economic activity.

Commissioning party to the study

Study supported by the Forest Development Fund.

Time of completion of the study

01.06.2024.–30.12.2024.

Study executor

Latvian State Forest Research Institute “Silava”

Description of the solution to the problem

The research results provide a conceptual framework for ancient forests, basic elements of their mapping and typology, and raise issues for further research and integration in forest management planning. During the research, a number of remote sensing and historical material datasets and their processing techniques were examined, and their potential and limitations for use in mapping and identifying ancient forests were described. One of the results of the research is the scanning and cataloguing of historical materials.

Goal of the study

The aim of the study was to approve the concept of ancient forests for Latvian conditions and to identify the problems of ancient forests related to their diversity from a territorial, historical and typological, as well as regulatory perspective in relation to the legislative initiatives and requirements of Latvia and the European Union. The study is organized into several interrelated parts, which include an extensive analysis of the results and content of the current forest inventory, remote sensing data and historical material maps, as well as other research.

Tasks of the study

1. Expand the updating and analysis of data from the beginning of the last century, the post-war period and the 1980s on historical forest cover, forest stand structure and economic activity in the identified ancient forests, protective forests, protective zone forest territories.
2. Provide the necessary information for integration into current forest management, substantiation of local and European Union legislative recommendations:
 - 2.1. ancient forests and their mapping methodology, based on the results of previous years' research – characteristics and typology, distribution, assessment; proposals for integration into forest management in the context of EU legislation;
 - 2.2. study of the historical development of watercourse protective zones, tracing their location, change, starting with the location of pre-war protective forests, digitization and

study of the archive of watercourse protective zones during the occupation, the relationships between the development of stand structures;

2.3. 1940–1950 and 1980–1990 digitization of forest cover and updating and maintenance of historical map services;

2.4. publication of results, digitized data for open access.

Ievads

2024. gada MAF pētījums iezīmē pāreju no iepriekšējos gados aplūkotiem vēsturiski orientētiem jautājumiem uz meža nozīmes padziļinātu izvērtējumu vēsturiskā, sociāli politiskā un ainaviskā kontekstā. Iepriekšējo gadu pētījumu mozaikā izdalāmas vairākas būtiskas pētniecības jomas.

Viens no galvenajiem virzieniem bija dažādu kartogrāfisko un tekstuālo avotu apzināšana, to pieejamības pakāpes un teritoriālā pārklājuma izpēte. Otrs pētījuma loks aptvēra šo avotu detalizētu analīzi, to digitālo transformāciju telpiski apstrādājamu datu formātā un risinājumu izstrādi, kas nodrošinātu to plašāku pieejamību sabiedrībai. Tāpat tika pārbaudītas un aprobētas dažādas vēsturisko materiālu interpretācijas metodes, lai tās izmantotu aktuālu problēmjautājumu risināšanā.

Trešais pētījumu virziens pievērsās dabas daudzveidības telpiskajiem un vēsturiskajiem aspektiem, analizējot meža teritoriju attīstības dinamiku kopš 19. gadsimta vidus, kā arī pētot koku vainagu struktūras raksturlielumus bioloģiski vecās mežaudzēs.

Pētījuma noslēgumā secināts, ka nepieciešams padziļināti pievērsties meža un cilvēka ilgstošās mijiedarbības jautājumiem. Ņemot vērā mūsdienu kontekstu – esošās dabas aizsardzības pieejas ierobežojumus, intensīvās tautsaimniecības ietekmi uz bioloģisko un ainavisko daudzveidību, kā arī klimata pārmaiņu aktualitāti –, ir būtiski pārskatīt līdzšinējos priekšstatus un meklēt jaunus risinājumus. Šajā kontekstā izvirzās koncepcija par “seno mežu”, kas var kalpot kā metodoloģisks ietvars turpmākajiem pētījumiem. Seno mežu pētījumu kompleksu iesākām ar pamatjautājumiem: koncepcijas satvaru, pielietojuma nozīmi un jomas. Aprakstījām iespējamās seno mežu tipu un to vērtējuma pazīmes. Izvērtējām būtisko avotu telpiskā un hronoloģiskā salikuma modeļus un pārbaudījām tehniskus risinājumus seno mežu kartēšanas procesam. Papildus metodiskam darbam, pārbaudījām zemes virsmas modeļu izmantošanas tehniskās iespējas seno meža teritoriju identifikācijā un aprakstā. Aplūkojām arī atsevišķas saimnieciskās prakses un to liecību atpazīšanas programmu algoritmus, piedāvājot šim mērķim pielāgotus programmriskus objektu atpazīšanai ar augstu ticamības pakāpi arī citviet.

Senie meži: no problemātikas un metodikas līdz kartēšanai

Pasaules bioloģiskā, ekoloģiskā un kultūrvēsturiskā mantojuma saglabāšanā nenovērtējama loma ir seno mežu ekosistēmām. Senie meži palīdz mīkstināt klimata pārmaiņas un uzturēt stabilas dabas sistēmas un procesus (Luyssaert et al. 2008, Thompson et al. 2009), kas ir būtisks uzdevums ikvienas valsts dabas aizsardzības politikā un kalpo kā materiālā un nemateriālā kultūrvēsture krātuve.

Seno mežu jautājums īpaši saasinājies globālo pārmaiņu kontekstā. Šos mežus apdraud ne tikai izciršana un zemes izmantošanas izmaiņas, bet arī globālās zemes virsmas temperatūras pieaugums, kas izraisa pastiprinātu sausumu, padarot šos mežus jutīgus pret invazīvām sugām un slimībām. Lai gan Eiropā (tai skaitā arī Latvijā) kopējā mežu platība pieaug, seno mežu platības katru gadu sarūk un šo teritoriju aizsardzība ir nepietiekama, jo meža politikā nav iestrādāts instruments, kas atdalītu senos mežus no saimnieciski izveidotām meža platībām, tādējādi pieļaujot to izciršanu (Bergès et al. 2019). Arī mežu fragmentācija un dažādi lauksaimniecības mantojuma efekti (piemēram, palielināts augsnes pH vai fosfora līmenis) atstāj neatgriezenisku ietekmi uz seno mežu virszemes un pazemes struktūrām. Līdz ar to pieaug nepieciešamība pēc vienotas, precīzas un senos mežus aizsargājošas dabas aizsardzības politikas, kas būtu spējīga efektīvi reaģēt uz izmaiņām gan klimata, gan zemes izmantošanas

jomā. Lai šādu politiku īstenotu, vispirms ir nepieciešams definēt seno mežu konceptu un ar to saistīto terminoloģiju, kas dažādās valstīs un dažādos laikos ir izveidojies atšķirīgs.

Senā meža koncepts

Senā meža koncepta sākotnējā izpratne

Ar senajiem mežiem (*ancient forests, ancient woodlands, old-growth forests*) to sākotnējā izpratnē apzīmē meža platības, kurās, augsne un meža ekoloģiskās struktūras elementi ir saglabājušies nepārtraukti kopš noteikta vēsturiskā robeždatuma, ko parasti nosaka pēc senākās meža kartes vai plāna (Peterken 1996, Honnay et al. 1998, Hermý & Verheyen 2007, Bergès & Dupouey 2021). Šāda definīcija, kas pamatojas uz meža senumu (*ancientness*), ir saistīta ar ilgtermiņa procesiem augsnēs, kas nosaka visas ekosistēmas bioloģisko daudzveidību un funkcionēšanu, un kas tiek traucēti uzartās un atmežotās zemēs, pat ja tās tiek pēc tam apmežotas. Kā papildu nosacījums senam mežam ir meža dabiskums (*naturalness*) – dabisko procesu un to veidoto ekoloģisko struktūru esamība, kā arī noteiktu, no seniem mežiem atkarīgu sugu jeb seno mežu indikatorsugu klātbūtne, kas nespēj izdzīvot intensīvi apsaimniekotā vidē (Peterken 1974, 2018). Tomēr šo parametru nozīme un uzsvars dažādās valstīs ir atšķirīgs.

Seno mežu konceptu ieviesa britu ekologi 1970-ajos gados (Peterken 1974, Rackham 1980). Seno mežu vēsturiskais atskaites punkts katrai valstij vai reģionam var atšķirties. Piemēram, Anglijā, Velsā un Ziemeļīrijā mežu definē kā senu, ja tas nepārtraukti eksistējis kopš 1600. gada (Peterken 1974), Skotijā – kopš 1750. gada (Spencer & Kirby 1992), Ziemeļfrancijā – kopš 1830. gada (Bergès & Dupouey 2021), Šveicē – kopš 1880. gada (Loran et al. 2016), Ziemeļrietumvācijā – kopš 1764.–1786. gada (Wulf 1997), Beļģijā – kopš 1770.–1800. gada (Hermý & Verheyen 2007), Amerikas Savienotajās Valstīs – pirms kolonizācijas (Bellemare et al. 2002), Zviedrijā – kopš 1812.–1820. gada (Brunet 1994), Polijā – kopš 1780. gada (Orczewska 2009). Latvijā mežu definē kā senu, ja tas ir audzis netraucēti vismaz kopš 18. gs. beigām. Konkrētie gadskaitļi dažādās Latvijas vēsturiskajās zemēs nedaudz atšķiras, ko nosaka senākā pieejamā karte: Zemgales un Kurzemes teritorijā – kopš 1790. gada (*Karte von Kurland von C. Neumann*; Fescenko et al. 2016), Vidzemē – kopš 1791.–1798. gada (*Atlas von Liefland*; Fescenko et al. 2016), Latgalē – kopš 1785. gada (*Планы Генерального Межевания*; Kavacs 1994). Mūsdienu mežsaimniecības kontekstā mežu uzskata par senu arī tad, ja tas ir bijis īslaicīgi nocirsts vai apsaimniekots, bet turpinājis attīstīties, nepārveidojot augsni un notiekot dabiskai sēklu pašsīdēšanai. Lielbritānijā, kas ir senā meža koncepta ieviesēja, senie meži sastāda gandrīz 20% no visu mežu kopplatības (Spencer & Kirby 1992).

Ar seno mežu konceptu cieši saistīts arī tāds jēdziens kā ‘meža kontinuitāte’ (*forest continuity*), kas atbilst meža augsnes ilglaicībai, neatkarīgi no meža apsaimniekošanas veida (Hermý et al. 1999). Šeit jāatzīmē, ka ‘meža kontinuitāte’ un ‘meža vecums’ jeb ‘meža briedums’ (*forest maturity*) ir atšķirīgi jēdzieni. Meža kontinuitātes ilgumu norāda laiks, kas pagājis kopš pēdējās pārveides no lauksaimniecības zemes uz mežu (Hermý & Verheyen 2007).

Senā meža koncepcijas būtība

Tomēr senā meža koncepts neaprobežojas tikai ar meža senuma un dabiskuma kritērijiem, jo īpaši tādās sen apdzīvotās teritorijās kā lielākā daļa Eiropas, kur cilvēka darbības vēsture vairāku tūkstošgadu gaitā ir cieši savijusies ar dabas vēsturi. Lai to izprastu, ir nepieciešama neliela atkāpe. Seno mežu koncepts, līdzīgi kā jebkura koncepcija, ir vērsts uz realitātes aprakstu un parādību skaidrojumu noteiktas disciplīnas robežās un tās saskarsmes

areālā. Konceptija balstās simboliskā sistēmā un idejās (vai dažkārt gluži pretēji – pie tām nonākot), taču tā ne vienmēr tiek šādā veidā aprakstīta, jo īpaši, ja tiek runāts par tās racionālām izpausmēm, tostarp, normatīvo nozīmi. Tāpēc svarīgi atzīmēt jautājumus, kas netiek tieši definēti, rezultātā iegūstot plašāku priekšstatu par koncepta vietu un lomu kopējā publiskā diskursā.

Seno mežu konceptā nepieciešams norādīt uz specifiskām iezīmēm, kas to atšķir no vienkāršota skatījuma par dabas aizsardzību (*nature conservation*), precīzāk, no skatījuma, kas postulē *nature for itself* un *wilderness and intact natural habitats*, un ar to saistīto cilvēka lomu ekosistēmā vai plašākā nozīmē – dabā (Mace 2014). Seno mežu koncepts ievieš izvērstāku skatījumu, vienlaikus neizslēdzot esošās izpratnes priekšrocības. Atzīmēsim četrus galvenos argumentus:

1. Seno mežu koncepts piedāvā vispārinātu skatījumu uz parādību kopumu un atsevišķām tā daļām, kas “izdzīvojušas” par spīti cilvēka darbībai, īpaši zemkopībai, vienlaikus caur dažādām praksēm un esot pastāvīgā lietojumā. Tieši ‘lietojums’, šī vārda visplašākā nozīmē, ir neatņemama seno mežu iezīme. Vienlaikus jāatzīmē, ka seno mežu koncepts akceptē jēdzienus ‘pirmatnējais mežs’ un ‘dabiskums’ kā līdzās pastāvošus jēdzienus, kurus var aprakstīt un izmantot praktiskai lietošanai kā vektorus. No teiktā secinām, ka seno mežu konceptā sintezēti abi: fenomena **procesa un stāvokļa skatījumi**, vienlaikus ietverot dinamisku līdzsvaru starp tiem;
2. Seno mežu koncepts aktualizē **zemes virsmas formu** kā satvaru augsnes un zemsedzes kompleksai darbībai telpā un laikā, vienlaikus akcentējot augu daudzveidības problemātiku. Jēdziens ‘zeme’, koncepcijas skatījumā netiek pretstatīts kokiem, krūmiem (jeb vertikālajiem meža struktūru elementiem), bet drīzāk uzlūkots kā neiztrūkstošs elements, kam dažkārt paslīd garām uzmanība, fokusējoties tikai uz kokiem;
3. Seno mežu koncepts pagriež bieži lietoto skatījumu par konfliktu starp dabu un cilvēku tā pretmetā – mežs tiek iezīmēts kā **attiecību telpa** (senie meži kā cilvēka-dabas attiecību teritorijas). Tas parādās seno mežu kartēšanas procesā, kur cilvēka darbības pēdas (*earthwork*) vai vietvārdi, kas izmantoti senā meža aprakstā, kalpo kā teritorijas identitātes aspekts;
4. Seno mežu konceptā vadošu vietu ieņem vēsturiskie avoti, tātad noteikta laika reprezentācijas, kas materializē tekstā, plānā vai kartē priekšstatu par dabas, teritorijas un varas attiecībām ainavā. Līdz ar to var apgalvot, ka seno mežu koncepcija ietver arī **kultūrvēsturisko skatījumu** uz dabu jeb to, kā cilvēks pieredz mežu caur praksi, kas ir kultūras prakse.

Dažu autoru ieskatā senie meži uzskatāmi kā ‘eko-kulturālas’ (*eco-cultural*), nevis tikai dabiskas sistēmas, jo tās ir ieguvušas unikālu senatnes uzslāpojumu, kas īpašs katrai vietai (Rotherham 2021, 2022). Atsevišķos gadījumos šīs teritorijas var atspoguļot cilvēka darbības uzkrātās eko-kulturālās ietekmes, kas notikušas vairāku tūkstošu gadu garumā, radot bagātu ainavas mantojuma un ar to saistītās bioloģiskās daudzveidības izpausmi.

Visas šīs iezīmes jāņem vērā, aizsākot sarunu par senajiem mežiem Latvijā, kas nozīmē plašāku starpdisciplināru kontekstu, kura uzmanības lokā būtu arī jautājumi par vēsturi, vietu un cilvēka fenomenoloģisko pieredzi meža teritorijās, jo īpaši – senajos mežos. Vienlaikus, tas ļautu pievērsties arī šķietami pašsaprotamo jēdzienu ‘daba’, ‘dabiskums’ un ‘dabas aizsardzība’ izvērstākam un daudzpusīgākam satvaram.

Dabiskuma definēšana

Pasaules praksē meža dabiskuma definēšanai tiek izmantotas vairākas pieejas:

1. Lai definētu vietas ‘dabiskumu’, tiek izmantots tāds jēdziens kā ‘potenciālā dabiskā veģetācija’ (*potential natural vegetation*) – dotās vietas iespējamā potenciālā dabiskā zemes seguma veģetācija (Tuxen 1956). Saskaņā ar šo koncepciju dabiskums tiek novērtēts, salīdzinot pašreizējo koku sugu sastāvu ar vēlamu hipotētiski konstruēto stāvokli. Dabiskumu nosaka pēc līdzības starp šiem diviem stāvokļiem un iedala pakāpēs jeb klasēs. Šīs pieejas trūkums ir tāds, ka modelējot potenciālo dabiskuma stāvokli, ir jānorāda references vērtības vairākiem ekoloģiskiem parametriem (piemēram, dabiskajam mirušās koksnes apjomam, sukcesijas stadiju mozaikai, koku sugu procentuālajam sastāvam sukcesijas stadijās, tipiskajām augsnes īpašībām), kas ne vienmēr ir iespējams, jo daļai Eiropas mežu ekosistēmu trūkst pirmatnēju mežu piemēru, uz kuriem balstīt zinātnisko orientāciju. Turklāt laika gaitā šie parametri dabā variē.
2. Nākamā pieeja ir dabiskuma definīcijas ierobežošana līdz pašreizējam stāvoklim. Šīs pieejas trūkums: pat ja tiek ņemts vērā, ka to nosaka dažādi papildus ekoloģiskie faktori (kritēriji), šajā pieejā tiek ignorēti vēsturiskie procesi un dinamika, kas ir pamatā pašreizējam *status quo*. Dabisks koku sugu sastāvs var būt rezultāts intensīvai augsnes sagatavošanai, mēslošanai vai atkārtotai spēcīgai retināšanai plantācijā, bet tas var rasties arī dabiskās atjaunošanās procesā vairāku desmitgadu laikā bez cilvēka tālākas iejaukšanās. Ignorējot vēsturiskos procesus un koncentrējoties tikai uz pašreizējo stāvokli, var rasties nopietnas nepilnības dabiskuma interpretācijā kopumā. (Westphal, 2001).
3. Vēl viena pieeja ir definēt dabiskumu mežā kā ar procesiem saistītu mēru, kas attīstās atkarībā no laika ilguma, kā arī no antropogēni netraucēto meža dinamisko procesu intensitātes. Tā materiālā izpausme atrodama nepārtraukti mainīgā sugu un struktūru kopumā, kas rodas šo dinamisko procesu rezultātā. Saskaņā ar šo definīciju dabiskums ir mērs, kas nevar sasniegt maksimālu līmeni, bet – antropogēni netraucētos apstākļos – nepārtraukti palielinās. To nevar mākslīgi radīt vai paātrināt, jo tas rodas no netraucētas dinamikas, kas saistīta ar reālo laiku. Tā lielums ir atkarīgs no laika un antropogēni netraucētās attīstības intensitātes. Jo ilgāk dabiskie procesi attīstās, jo vairāk dabiskuma var “uzkrāties”. Dabiskie procesi notiek arī antropogēni pārveidotos mežos, tiklīdz antropogēnā ietekme beidzas. Sugas un struktūras jāuzskata par šo procesu rezultātu, kam ir pagaidu raksturs. Tāpēc paplašinātā dabiskuma novērtēšanā ir jāiekļauj gan statistiskie, gan dinamiskie kritēriji. Atšķirībā no iepriekš aprakstītiem pieejām dažām izplatītām metodēm (piemēram, Grabherr et al. 1996), dabiskuma novērtējuma galarezultāts nav vienots rādītājs, kas attēlots soļos, klasēs vai līmeņos, apvienojot un sverot dažādus kritērijus. Tā vietā tiek izveidots saraksts, kurā visi kritēriji ir aprakstīti neatkarīgi. Tas nodrošina maksimāli oriģinālu informāciju, kuru var kartogrāfiski kombinēt, atbilstoši vajadzībām, un kas ļauj izvirzīt un kontrolēt specifiskus mežsaimniecības mērķus (Westphal, 2001). Latvijas seno mežu dabiskuma definēšanā būtu nepieciešams izmantot šādu – uz procesiem orientētu dabiskuma mēru.

Senais mežs Latvijā

Terminoloģija un aktualitāte Latvijai

Termins ‘senais mežs’ jeb ‘senmežs’ (*ancient forest*) Latvijas situācijā būtu vairāk piemērots nekā ‘primārais mežs’ (*primary forest*) vai ‘ilgi-augošs mežs’ (*old-growth forest*), jo Eiropai kopumā – un tajā skaitā arī Latvijai – lielākoties raksturīga sena zemes izmantošanas

izmaiņu un mežsaimniecības vēsture (Kirby & Watkins 2015) unniecīgs primāru mežu daudzums, t.i., mežu, kurus cilvēks nekad nav cirtis vai pārveidojis pagātnē. Tomēr tas varētu būt atkarīgs arī no konkrētās vietas un reģiona – mežainos Latvijas reģionos, kā arī grūti sasniedzamās vietās, iespējams, vēl ir saglabājušies kādi primārā meža fragmenti.

Lai gan kopējā mežu platība Latvijā, līdzīgi kā kopumā Eiropā, pēdējās desmitgadēs pieaug, seno mežu platības arī pie mums turpina samazināties un ir apdraudētas. Seno mežu jēdziens nereti pat profesionāļu vidū tiek jaukts ar tādiem gluži atšķirīgiem jēdzieniem kā ‘dabisks mežs’, ‘dabiskais meža biotops’, ‘ES nozīmes biotops’, ‘vecs mežs’. Arī sabiedrībai nav informācijas par seno mežu unikalitāti un vērtību ekosistēmu pakalpojumu jomā. Tā kā senie meži vizuāli var neatšķirties no citiem mežiem, trūkst izpratnes par to ekoloģisko un kultūrvēsturisko nozīmi. Būtiski, ka Latvijā, atšķirībā no vairums Eiropas valstu, trūkst datu par seno mežu atrašanās vietām, seno mežu tipiem un šo mežu stāvokli.

Līdz ar to seno mežu izpēti un iekļaušana likumdošanā un dabas aizsardzības sistēmā būtu jāuzskata par prioritāti dabas aizsardzības jomā. Latvijā tas nozīmētu īpaša statusa piešķiršanu šiem mežiem, līdzīgi kā tas ir veikts vairākās Eiropas valstīs, kur izmantojot datus no vēsturiskajām kartēm, seno mežu platības ir apzinātas, identificētas un tām ir piešķirts senā meža aizsardzības statuss (Peterken 2018, Bergès & Dupouey 2021). Šādu teritoriju apzināšana dotu iespēju nākotnē paplašināt seno mežu platības, iekļaujot aizsardzībā jaunākus mežus, kas ir savstarpēji saistīti ar līdzīgiem biotopiem.

Senais mežs un iepriekš izveidotās aizsargājamās platības

Atšķirībā no citām līdz šim Latvijas dabas aizsardzības sistēmā iekļautām un/vai apzinātām mežu platībām (ES nozīmes biotopi, NATURA 2000 vietas, mikroliegumi, īpaši aizsargājamās dabas teritorijas, dabiskie meža biotopi, bioloģiski augstvērtīgie meži u.c.), seno mežu unikalitāte ir to ilglaicīgā meža seguma un meža augsnes nepārtrauktība laikā un no tā izrietošā ilglaicīgā ekoloģisko procesu nepārtrauktība (Thompson et al. 2009). Lai gan NATURA 2000 teritorijās (ap 11% no Latvijas kopplatības) ietilpst arī meži, tomēr nereti tie ir samērā jauni meži ar relatīvi īsu ekoloģisko pagātni un ierobežotu sugu daudzveidību, ko veicinājusi intensīva cilvēka ietekme un zemes izmantošanas izmaiņas. Turpretim senie meži saglabājuši dabisko augteni un dabisko sugu sastāvu. Tiem raksturīga seno mežu indikatorsugu klātbūtne, kas ietver ap 50–120 vaskulāro augu, briofītu, ķērpju un sēņu sugu, kurām ir ierobežota izplatīšanās spēja un kas sastopamas tikai ilgstoši nepārtraukta meža teritorijās (Hermy et al. 1999). Seno mežu indikatorsugu skaits var variēt atkarībā no reģiona un seno mežu tipa, un šī variācija atspoguļo mežu ekoloģisko specifiku dažādās teritorijās. Eiropā katrs reģions vai valsts ir izveidojusi savu seno mežu indikatorsugu sarakstu, pamatojoties uz ilgtermiņa pētījumiem par dotās teritorijas unikālo mežu vēsturi un sugu sastāvu. Tā piemēram, Vācijā šajā sarakstā ietilpst ap 60 augu sugu (Wulf 1997), Polijā ap 130 sugu (Pawlikowski et al. 2013). Jāpiezīmē, ka seno mežu indikatorsugas nav identiskas dabisko mežu indikatorsugām.

Seno mežu iezīme ir arī seni cilvēka darbības artefakti un kultūrvēstures pēdas, kas glabā unikālas liecības par vēsturisku līdzsvaru starp meža un cilvēka aktivitātēm, radot īpašu biokulturālo daudzveidību (*biocultural diversity*; Būrgi et al. 2020), kas viena otrai netraucē, bet gluži otrādi – papildina. Šādi apgabali ir būtiski gan no dabas aizsardzības, gan no vēsturiskās identitātes viedokļa.

Senā meža galvenās īpatnības Latvijā

Latvijā seno mežu platības ir samazinājušās līdz relatīvi nelielai ainavas daļai un liela daļa apkārtējās zemes tiek izmantota intensīvai lauksaimniecībai, kas nozīmē, ka seno mežu

vēsture, lielākoties, atbilst Eiropas zemieņu meža un ainavas vēsturei. Tai pat laikā mums raksturīgas vairākas īpatnības, kas padara Latviju īpašu seno mežu izpētes jomā.

Viena no īpatnībām ir lielā mežu, biotopu, un līdz ar to – arī seno meža tipu – daudzveidība, ko nosaka vairāki faktori. Pirmkārt, liela augšņu cilmiežu daudzveidība, kam reģionālā mērogā ir vislielākā nozīme augšņu un attiecīgi veģetācijas tipu izplatībā. Otrkārt, Latvijas atrašanās ekotona zonā starp nemorālo (mērenās joslas platlapju) mežu biomu un boreālo mežu biomu. Šie divi faktori vien jau dabiski ir izveidojuši Latvijā vairāk nekā 15 atšķirīgu meža tipu (Bušs 1981).

Treškārt, dažādos laikos dažādiem Latvijas reģioniem ir bijusi atšķirīga zemes apsaimniekošanas un kultūras vēsture, ko noteica Latvijas teritorijas atrašanās zem dažādām lielvalstīm – Poliju-Lietuvu (Kurzemes bīskapija), Zviedriju, Krievijas Impēriju, Vācijas Impēriju. Tas ļauj salīdzināt šos ekoloģiski dažādos seno mežu tipus vēl papildus dažādās kultūrvēsturiskās ainavās.

Visbeidzot, Latvijas senajiem mežiem raksturīga īpatnība ir apkārtējās ainavas saimniecisko mežu relatīvi ilgā (salīdzinot ar Rietumeiropas un Centrāleiropas valstīm) kontinuitāte gan laikā, gan telpā (Fescenko et al. 2025). Latvijas teritorijā nav bijusi sena un ilgstoša (t.i., vairākas tūkstošgades ilga), plaša un visu aptveroša vienlaidus meža zemju nolīšana un tai sekojoša intensīva lauksaimniecības zemju izmantošana (kā piemēram, Francijā; Dupouey et al. 2002), kas būtu atstājusi neatgriezeniskas sekas uz augsnes ķīmiskajām un strukturālajām izmaiņām, un attiecīgi – arī uz seno mežu sugu izplatību. Latvijas mežu diskontinuitātes mērogs ir mērāms vien simtgadēs, tostarp lielā daļā Eiropas valstu – tūkstošgadēs. Tai pat laikā, cilvēka ekstensīva darbība Latvijas teritorijas mežos ir noritējusi jau vairāk nekā 10 tūkstošu gadu griezumā (Dumpe 1999), kas piešķir mūsu senajiem mežiem īpašu eko-kulturālo vērtību.

Senā meža telpiskās iezīmes Latvijā: reģionālais skatījums

Senajiem mežiem Latvijas ainavā izveidojies īpatnējs musturs, jo tie kopš industriālā laikmeta sākuma 19. gadsimta otrajā pusē izdzīvojuši caur straujām un mainīgām zemes izmantošanas tendencēm un intensīvu mežsaimniecību, kas ir veicinājusi Latvijas reģionu ainavisko, ekoloģisko un kultūrvēsturisko atšķirību.

Kopumā Latvijai raksturīgi šaurlapju, platlapju, skujkoku mežu masīvi un purvi uz eolajiem un glacioliminskajiem nogulumiem pacēlumos. Boreālajos valsts reģionos lielu un vienlaidus ainavas daļu klāj skujkoku meži. Dabiski un vēsturiski šie meži ir tikuši pakļauti ugunsgrēkiem un vējgāzēm, atstājot tos atvērtus un pastāvīgi mainot to telpisko rakstu. Mūsdienās ugunsgrēku dzēšanas un intensīvas mežsaimniecības rezultātā šīs mežaudzes ir kļuvušas blīvākas.

Tikmēr auglīgākās līdzenuma ainavās mežu izplatība pēdējo gadsimtu laikā ir ievērojami svārstījusies. Plašie zemieņu lapu koku meži jau izsenis izmantoti kā meža ganības, taču šo seno ganību precīzas robežas grūti noteikt. Zemgalē un Kurzemē, kur senie meži datējas kopš 18. gadsimta beigām, tie sastopami galvenokārt kā nelieli platlapju un jaukto koku meža puduri ar ievērojamu sugu daudzveidību. Tā kādreiz mežainajā Zemgales reģionā 18. gs. beigās meži tika samazināti līdz atsevišķiem meža puduriem, vidējam reģiona mežainumam mūsdienās sasniedzot vairs tikai 30%. Tomēr daži labi definēti seno mežu masīvi vēl ir saglabājušies, piemēram, Paņemūnes meži, Ukru gārša, Līvērzes liekņa.

Lielākas vienlaidus jauktu seno mežu platības koncentrētas Vidzemē, Sēlijā un Latgales ziemeļos, kur atrodami arī paleobotāniski pierādījumi par ilglaicīgu meža klājumu (Galeniece 1931, Zunde 1999). “Sēlijas salas”, kas faktiski ir morēnas pauguri un to masīvi, ietver plašas

smilšainas un purvainas teritorijas ar seniem skujkoku un jaukto mežu masīviem, kas ilgstoši pastāvējuši kā meži.

Līdz ar to jāsecina, ka Latvija ir sadalāma vairākos seno mežu reģionos, kuros atrodas dažādi seno meža tipi, kas varētu kalpot par pamatu reģionālajai klasifikācijai. Šādu teritoriju apzināšana sniegtu iespēju arī paplašināt seno mežu platības, iekļaujot aizsardzībā jaunākus mežus, kas ir savstarpēji saistīti ar līdzīgiem biotopiem.

Kā norāda pētījumi Lielbritānijā, seno mežu definēšana visprecīzāk iespējama reģionos, kur mežu platības samazinājušās līdz 30% no ainavas kopējās platības (Peterken 2018). Latvijas gadījumā tas būtu Rietumzemgales un Austrumlatgales reģionos jeb ainavzemēs, Latgales augstienē, kā arī platības ziņā mazākos apvidos citviet Latvijā.

Seno mežu tipoloģija

Seno mežu tipoloģiju var aplūkot no diviem radnieciskiem, taču vienlaikus atšķirīgiem skatpunktiem, kas izriet no seno mežu veidošanās galvenajām īpatnībām Latvijā (skat. iepriekš 2.3. punktu). Senos mežus var iedalīt pēc:

- A) Augtenes un vēsturisko procesu mijiedarbībā radītā kopuma (Attēls 1 un **Error! Reference source not found.**). Šādā skatījumā pašreizējais senā meža stāvoklis tiek raksturots, ietverot noteikta laika saimnieciskās prakses;
- B) Stāvokļa, ko raksturo koku un citu dzīvo organismu kopums mežā, tieši neaprakstot telpiskās iezīmes. Šādi tiek akcentēta augājā loma seno mežu daudzveidības raksturojumā.

A. Seno mežu iedalījums pēc augtenes un vēsturisko procesu mijiedarbības:

Dabiski veidojušies	Senie meži		Nesenie
	Primārie	Sekundārie	
	1 4 9	7 5.1 5.2 5.3 11 12	2.2 2 2.1
Stādījumi un sējumi	10	6	3

Attēls 1. Seno mežu tipi Latvijā, vadoties no augtenes un vēsturisko procesu mijiedarbības (pēc Peterken 1986). Tipu atšifrējums dots 1. tabulā.

Tabula 1. Seno mežu tipu atšifrējums pie 1. attēla.

Senāko mežu platības ar veciem kokiem (1) Pēc 2. Pasaules kara dabiski atjaunojošies meži kādreizējās lauksaimniecības zemēs (tūrumi, atmatas, pļavas) (2.1) Pēc 2. Pasaules kara dabiski aizaugušās ganības ar kokiem (2.2); Skuju koku stādījumi vai sējumi kādreizējās lauksaimniecības zemēs pēc 2. Pasaules kara (3); Atvasāju (apses, bērzi, melnalkšņi) meži ar iepriekšējo paaudžu kokiem platības ar ilgu meža vēsturi (4); Senākajās meža zemēs platlapju un platlapju egļu izplatības areālos sausās un mēreni mitrās augtēs (5.1); Jauktie un lapu koku meži ar platlapju koku sugām mazāk senās kā (5.1) meža zemēs sausās un mēreni mitrās augsnēs (5.2);	Purvainie meži (5.3); Stādījumi un sējumi, lielākoties priedes mazauglīgās lauksaimniecības platībās kroņu (valsts) muižās un līdzīgās augtēs aizaugušās meža ganības (6); Meža teritorijas, kas veidojušās 17. gadsimta beigās un 18. gadsimata sākumā (7); Senākie muižu parki (8); Senās ganības un meža pļavas ar dažādu vecumu kokiem (9); Senās meža zemes ar sētām un stādītām kokaudzēm (10); Meža teritorijas kādreizējo purvu vietās un to malās (11); Sekundārie meži smiltāju apvidos, kas daudzviet veidojušies vien pēdējo dažu simtu gadu laikā (12)
--	---

B. Senā meža ekosistēmas pēc veģetācijas var iedalīt 5 lielās grupās, kuras savukārt var iedalīt vēl vairākās apakšgrupās:

Tabula 2. Seno meža ekosistēmu tipu iedalījums, raksturojums un sastopamība Latvijā (% sadalījums interpolēts no datiem par Zemgali; Fescenko et al. 2014)

Seno mežu tips	Raksturojums	% no visiem seniem mežiem	Sastopamība. Piemēri
1. Seni priežu meži	Priežu boreālais mežs. Dažāda vecuma, augstuma un diametra koki; vietām milzīgas vecas priedes; liels daudzums atmirušas koksnes. Pārejas vietās uz bagātākām augsnēm klāt nāk ozols, bērzs, apse. Sastopami gan lielāki meža laidumi ar vienvecuma 70–90 gadu vecu priežu audzēm, gan jaunāki “robi” pēc liela mēroga traucējumiem: ugunsgrēkiem un/vai vējgāzēm, kukaiņu invāzijām. Purvainās vietās – lēni augošas nelielu dimensiju priedes	15–20%	Priežu tīraudzes uz nabadzīgām smilšu augsnēm gar Baltijas jūras piekrasti kāpu zonā - Piejūras zemienē un Viduslatvijas ziemeļos (t.i., uz Baltijas ledus ezera nogulumiem, iekšzemes kāpas).
		10–15%	Purvainie priežu, priežu-bērzu meži, purvu malas. Piejūras zemienē.
		2%	Purvu salas.
		5%	Seni priežu meži mistrojumā ar ozolu u.c. lapu kokiem (eitrofi). Tērvete, Iecavas, Jelgavas apkārtnē
2. Seni egļu meži	Egļu boreālais mežs. Egļu mežs ar apsi.	10%	Atsevišķi kompakti egļu meža masīvi Ziemeļaustrumvidzemē. Kurzemes ziemeļos?
3. Seni lapu koku (atvasāju) meži	Parasti kā “plankumi” vietās uz auglīgākām un mitrākām augsnēm. Vainagā dominē reti seni ozoli, zem tiem lielu dimensiju apses, bērzi, alkšņi, oši, kļavas. Mistrojumā var būt egle, kas izcilā auguma dēļ augstu paceļas virs lapu kokiem. Priedes nav. Liela biežība un ļoti daudz mirušās koksnes	10–15%	Lapu koku mežu “salas”
		15%	Plaši melnalkšņu staignāji pie Līvberzes, Ķemeriem. Fragmentāri – visā Latvijas teritorijā

	Mitrās un avotainās vietās – melnalkšņi		
4. Seni ozolu meži	Milzu ozoli ar nedaudz ošiem, kļāvām, liepām un gobām. Uz bagātākām, bet ne pārāk mitrām augsnēm. Upju ielejās, upju krastos. Ezeru salās. Tranzītvietās starp priežu mežiem un lapu koku mežiem vai starp lapu koku mežiem un melnalkšņu staignājiem. Dažkārt arī uz sausākām augsnēm starp priedēm	10%	Daugavas, Abavas, Gaujas upju nogāzes. Barkavas ozolu audze. Zemgales meža puduri. Slīteres ozolu meži. Moricsala
5. Senas retaines, parkveida pļavas, ganības, seni parki		10%	Upju ielejas. Piemēram, Gaujas, Pededzes, Abavas krastos

Metodika

Seno mežu kartēšana

Seno mežu atrašanās vietu un to struktūras noteikšanā primāri tiks izmantota vēsturisko karšu un plānu analīze, kas kombinēta ar ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (ĢIS) un aktuālajiem zemes virsmas (LIDAR) datiem.

Seno mežu kartēšana sākotnēji tiks veikta kādā no Latvijas platlapju mežu reģioniem. Skujkoku un jaukto koku masīvos senos mežus definēt ir grūtāk, jo tajos par galveno pazīmi kalpo ilgstoša biotopa nepārtrauktība, par ko liecina ilgi augošu koku un/vai to struktūru atliekas. Platlapju mežos seno mežu statuss ir vieglāk definējams, jo šeit galvenie kritēriji ir tieša saikne ar senu meža ainavu, vietējo kultūru un vēsturi, bioloģiskās daudzveidības vērtības, kas saistītas ar sugām, kas ir jutīgas pret straujām vides izmaiņām. Platlapju reģionos senos mežus vieglāk definēt arī tāpēc, ka robežas starp mežu un apkārt esošo lauksaimniecības zemi telpā un laikā, lielākoties, ir precīzi nosakāmas. Līdz ar to, vispateicīgākais reģions sākotnējām studijām būtu Zemgale, kurā bez tam, ir veikta arī seno mežu indikatorsugu analīze (Fescenko et al. 2025).

Senie meži kā kartējamā vienība

Seno mežu kartēšanas process, kas ietver arī to aprakstīšanu, Rietumeiropas valstīs iezīmē vairākus būtiskus konceptuālus un tehniskus jautājumus, kurus svarīgi paturēt prātā. Viens no priekšnoteikumiem seno mežu kartēšanā ir izvērtēt, kā vēsturiskās zemes izmantošanas prakses un to attīstības dinamika iekļaujas *nacionālajā* seno mežu koncepcijā, respektīvi, cik “plašs” tvērums seno mežu koncepcijai ir lokāli, Latvijas apstākļos, un cik “tālu” to var paplašināt, nepazaudējot saikni ar sākotnējo ievirzi. Šeit pieminēsim, mūsaprāt, būtiskākos:

1. Minimālā kartējamā vienība. Lielbritānijā, veicot seno mežu kartēšanu, konstatēja, ka kartējot pavisam sīkas kontūras, būtiski pieauga identificēto kontūru skaits, taču kopējā platība pieauga pavisam nedaudz. Tāpēc lietderīgi ir noteikt minimālās kartējamās platības sliekšni, vienlaikus paturot prātā, ka arī sīkām meža kontūram var būt noteikta nozīme lokālo apstākļu gadījumā.
2. Meža pļavas un ganības. Vēsturiski ekstensīvajos zemes lietojumos: meža pļavās un ganībās, kuras ilgstoši primāri ir izmantotas “nekoksnes” lietojumam, var būt izveidojusies atšķirīga no senām meža zemēm zemsedze un struktūra, bet koku stāvokumā ir pārmantoti senu ainavu elementi (Cousins et al, 2003). Vai šādas teritorijas uzskatāmas par seno mežu koncepcijai atbilstošām?

3. Ilgstoši ar mežu klātās zemēs, kur regulāri notikusi koku ciršana, aina var būt ievērojami atšķirīga vai pat pretēja kā, piemēram, meža pļāvās un ganībās: platībās var būt jauni koki, taču zemsedze un tās struktūra atbilst seno mežu raksturīgam stāvoklim.
4. Ilgstoši pastāvot mainīgai zemes izmantošanas intensitātei, mūsdienu ainavā ir apgrūtināti novilkt robežas pat veicot lauku pētījumus. Tas attiecināms arī uz teritorijām, kur noticis straujš mežainuma pieaugums un tam secīgs sarukums.
5. Koku vecuma fakts: stādījumi to agrīnajā vecumā var tikt uzlūkoti kā “plantācijas” vai parki, taču sasniedzot noteiktu vecumu un laikā gaitā, izmainoties zemsedzei un krūmu stāvam, vērtējums var mainīties lielāka dabiskuma virzienā.
6. Mērogs, kādā tiek runāts par seniem mežiem. Tam var būt reģionālas atšķirības, kas izriet no pastāvīgas meža klātbūtnes ainavā dažādos vēsturiskos periodos. Mežainos apvidos atsevišķu seno mežu platību vietā var runāt par (seno) meža mozaīku, nozīmīgākajām to platībām.

Hronoloģiskais ietvars

Izvērtējot Latvijas teritorijā pieejamo vēsturisko kartogrāfisko avotu pārklājumu un hronoloģisko ietvaru, nodalījām četrus periodus, par kuriem iegūstami mežainuma dati (Tabula 3). Ņemot vērā avotu atšķirīgo telpiskās detalizācijas un tematiskās klasifikāciju pakāpi, kas izriet no kartes mēroga, izveides mērķa un sagatavošanas metodēm, noteicām kartējamā objekta (šajā gadījumā meža) minimālo kartējamo un vienādotās uzskaites vienību (kvadrāta) platību. Abi lielumi tiks aprēķināti katram hronoloģiskā ietvarā iekļautajam kartogrāfiskam avotam, rezultātā iegūstot tīklojumu ar meža platības īpatsvaru katrā vienībā. Proti, netiks kartētas mežu teritorijas, kas ir mazākas par definēto platības sliekšni, kā arī netiks zīmētas lielāku meža teritoriju robežas. Šādi paredzēts iegūt kopskatu par meža teritoriju telpisko raksturlielumu dinamiku. Detalizētākā mērogā, izmantojot kombinētas lauka un kartogrāfiskās metodes, izmantojamas citas robežvērtības. Šobrīd esam izveidojuši matricu (tīklu slāņu kopumu), kuru turpmākā pētījuma gaitā aizpildīsim ar mežainuma datiem.

Tabula 3. Pētījumā izmantotā vēsturiskā kartogrāfiskā materiāla raksturojums

Hronoloģiskais ietvars	Novads vai īpatsvars no valsts teritorijas, ja pieejams nevienmērīgi	Nosaukums	Mērogs	Minimālā kartējamā platība	Rezultāta veids
1790–1830	Latgale	Latgales ģenerālā mērīšana	ap 1:120 000	10	% no kvadrāta platības
	Kurzeme, Vidzeme	Rikera un Neumaņa karte	ap 1:150 000	5	% no kvadrāta platības
1880–1910	Visa Latvijas teritorija	Topogrāfiskās kartes	1:75 000	3	% no kvadrāta platības
	Vidzeme	Vienverstu	1:42 000	3	% no kvadrāta platības
	Latgale, Kurzeme	Divverstu	1:84 000	3	% no kvadrāta platības
1920–1945		Atkārtoti izdotās topogrāfiskās kartes	1:75 000	3	% no kvadrāta platības

	apm. 15%	Topogrāfiskās kartes	1:25 000	1	vektordati
	apm. 5%	Topogrāfiskās kartes	1:50 000	2	vektordati
	apm. 35%	Kadastra kartes	1:5000	1	vektordati
	apm. 10%	Airoainas (1937-1939)	1:30 000	3	vektordati
	30–60%	Airoainas (1942-1944)	1:30 000	3	vektordati
1960–1989	85–90%	Fotoplanšetes	1:30 000	3	vektordati
	apm. 30%	Airoainas	1:30 000	3	vektordati

Seno mežu vērtēšanas kritēriji

No kartējuma rezultātiem tiks aprēķināts meža teritoriju procentuālais sadalījums, kas ļaus mežainuma dinamiku klasificēt pēc tā kontinuitātes, proti, izdalīt “pārtraukts” vs “nepārtraukts” kombināciju tipus, izmantojot četros periodos konstatēto mežainuma īpatsvaru.

Tiks analizēti ainavas telpiskie un ainavekoloģiskie aspekti, kas detalizēti tiks aprakstīti turpmākajā pētījuma gaitā. Aprēķināmie rādītāji attieksies uz:

1. Ainavas mežainuma rakstu;
2. Vēsturiskās ainavas kultivācijas pakāpi;
3. Meža mozaīkas aprakstu: kokaudžu vecuma sadalījums;
4. Kokaudžu struktūru un sastāvu;
5. Seno meža tipu mozaīku;
6. Ainavas elementiem, kas saistīti ar seno mežu (upes, koku alejas, parki);
7. Augtņu spektru senajos mežos, ietverot mitruma sadalījumu, reljefa apstākļus un kontūrainības aspektus;
8. Vainagu struktūru un atvērumu mozaīku;
9. Seno saimniecisko prakšu liecībām (tai skaitā arī liecībām dabā), kas norādītu uz sena meža neesamību: vecu un zemu koku (ozolu, liepu) klātbūtne ar zemiem un resniem zariem, salīdzinoši īsiem stumbriem, platiem vainagiem; veci aizauguši ceļi ar koku aleju paliekām; iepriekšējās zemes izmantošanas robežu paliekas (t.i., meža-lauka malas); veco ēku paliekas, drupas; utt.
10. Reģistrētiem saimniecisko darbību veidiem;
11. Vēsturisko plānu nogabalu kontūru analīzi – ekstensīvas teritorijas (izstrādāts programmas algoritms 2022. gada MAF pētījumā);
12. Senām meža zemēm raksturīgā mikroljefa atpazīšana (virsmas raupjums);
13. Aprobācija jeb iegūto rezultātu salīdzināšana ar lauka datiem.

Lai aprobētu seno mežu identificēšanas kartogrāfiskās analīzes kvalitāti un derīgumu, pēc nokartētās seno mežu informācijas iegūtie rādītāji tiks salīdzināti ar lauku datiem audzes līmenī kādā no Latvijas mazmežainiem reģioniem (Zemgalē).

Senie meži un indikatorsugas

Lai identificētu seno mežu ekosistēmas, tiks izmantots arī seno meža indikatorsugu koncepts (Peterken 1974, Hermy et al. 1999). Latvijā seno meža indikatorsugu saraksts vēl nav izveidots, bet ir aizsākts pētījums Zemgales reģionā (Fescenko et al. 2025), kā arī veikts pētījums par seno mežu indikatorsugu sūnām (Mežaka et al. 2024).

Pētījumā Zemgalē konstatēts, ka seno platlapju mežu zemsedzē Zemgales reģionā raksturīgas lēni augošas sugas ar zemu izplatīšanās spēju, proti, zemsedzē ievērojami vairāk, salīdzinājumā ar neseniem mežiem, ir sastopami ģeofīti, mirmekohoras sugas, kā arī mūžzaļas sugas, piemēram, *Asarum europaeum* L., *Maianthemum bifolium* Schmidt., *Trientalis europaea* L., *Galeobdolon luteum* Huds. (Fescenko et al. 2025). Tomēr ne visas sugas ar šādām pazīmēm ietilpst Zemgales reģiona seno mežu indikatorsugu grupā. Tā piemēram, *Anemone nemorosa*, kas pētījumos citviet Eiropā atzīta par sugu, kas vistuvāk pietuvojas “ideālas” seno mežu indikatorsugas statusam (Peterken 2018), Zemgales mežos neuzrāda statistiski nozīmīgu rezultātu, kas varētu liecināt par ilgstošu meža ainavas telpa laika kontinuitāti dotajā reģionā. Tādējādi Zemgalei, un arī Latvijai kopumā, ir savas specifiskas iezīmes seno mežu indikatorsugu ziņā (Attēls 2).



Attēls 2. Seno mežu indikatorsugu piemēri Zemgalē (pa kreisi – *Asarum europaeum* L., pa labi – *Maianthemum bifolium* Schmidt.).

Platlapju meža puduros ar platību mazāku par 20 hektāriem un attālumu no citiem meža masīviem lielāku par 1 km, seno mežu nogabalos ir novērota zemsedzes sugu homogenizācija (Fescenko et al. 2025). Iespējams, tas varētu būt robežlielums seno mežu minimālās platības definēšanā, tomēr tam nepieciešami papildus pētījumi. Zemgales senajiem mežiem raksturīgi arī atsevišķi īpaši lielu un augstu dimensiju koki, iespējams, kulta koki senatnē.

Jāatzīmē, ka visā Latvijas teritorijā fragmentāri ir pieejamas arī paleobotānikas liecības par meža ilglaicību (Galeniece 1931), kas var dot papildus informāciju par dotās meža teritorijas senumu.

Normatīvie un tiesiskie jautājumi

Lai gan daļa no teritorijām, kas atbilst seniem mežiem ir daļēji iekļautas dažās Latvijas dabas aizsardzības iniciatīvās, tie nav vienoti definēti dabas aizsardzības sistēmā, kas atbilstu Eiropas Savienības direktīvu prasībām. Līdz ar to būtu jāizstrādā normatīvi, kas nodrošinātu seno mežu (1) bioloģiskās, (2) ekoloģiskās, (3) kultūrvēsturiskās un (4) ainavu vērtības saglabāšanu.

Jāatzīmē, ka seno mežu augsto vērtību un nepieciešamību aizsargāt nosaka ne tikai to savdabīgā sugu daudzveidība (saskaņā ar ANO konvenciju “Par bioloģisko daudzveidību”), bet arī tas, ka tie var kalpot kā vērtīgas **lauku laboratorijas**, unikāls resurss, kurā apvienojas dabas, ainavas un cilvēka vēstures dimensijas, un kas, pieaugot mūsdienu zinātnes tehnoloģijām, paver jaunas iespējas pētīt un izprast procesus, kas ir pastāvējuši vēl ilgi pirms cilvēka ietekmes. Līdzīgi kā citviet Eiropā (piemēram, Lielbritānijā, jau kopš 1980. gadu sākuma) senie meži ir jāiekļauj Latvijas valsts mežu politikā, definējot šīs teritorijas kā augstvērtīgus mežus, kas tiek izmantoti kā **references ekosistēmas**. (Skat. konvenciju “Par Eiropas dzīvās dabas un dabisko dzīvotņu saglabāšanu”).

Senajiem mežiem ir jāpapildina arī Latvijas kultūrvēstures aizsardzības sistēma, jo tie kā **kultūrvēsturiskais mantojums** (skat. UNESCO konvenciju “Par pasaules kultūras un dabas mantojuma aizsardzību”) slēpj sevī nozīmīgas vēsturiskas liecības: arheoloģiskus pieminekļus, robežgrāvjus, vaļņus, robežakmeņus, robežkokus, sakrālus objektus, senus ceļus, kara liecības, mītus un leģendas.

Tāpat seno mežu koncepts kā būtisks ainavas elements ir jāintegrē **ainavu politikā** un ainavu pārvaldības sistēmā, veicinot Latvijas daudzveidīgo dabas un kultūras mantojuma saglabāšanu un dodot iespēju skatīt dabas un cilvēka mijiedarbības procesus daudz plašākā laikā un telpā (skat. Eiropas Ainavu konvenciju).

Meža un lauksaimniecības zemju virsmas raupjuma analīze

Darba izklāsts

Pētījumā aplūkotā teritorija ir Lūžņas ciems kādreizējās Popes muižas zemēs. Ciema robežās, balstoties uz ģeoreferencētas 1920. gadā izdotā zemes ierīcības plāna, izvēlētas pētījuma teritorijas (Attēls 3). Izmantotā datu kopa satur reljefa datus, kas apraksta zemes virsmas raupjumu. Rezultāti iegūti no LGIA 2. cikla digitālā reljefa modeļa (DEM), kas apstrādāts, izmantojot GDAL raupjumu (roughness) rīku. Rezultāti attiecas uz astoņiem poligoniem, no kuriem četri atspoguļo vēsturiskos mežus (“meži”) un četrus – lauksaimniecības zemes (“LIZ”). Katru poligonu raksturo tādi rādītāji kā vidējais raupjums, mediānais raupjums, standartnovirze un raupjuma diapazons.



Attēls 3. 1920. gadā izdotā zemes ierīcības plāns.

Datu analīze

Analīzē galvenā uzmanība tika pievērsta raupjuma rādītāju salīdzināšanai starp mežiem un LIZ. Statistiskie mērījumi, piemēram, vidējais, mediāna, standartnovirze un raupjuma diapazons, tika novērtēti katram poligonam pēc to lietojuma veida. Mežos parasti bija augstākas raupjuma vērtības salīdzinājumā ar lauksaimniecības zemēm, kas norāda, ka mežiem ir neregulārākas virsmas jeb lielāka raupjuma variācija. Galvenie secinājumi no analīzes ir tādi, ka mežiem ir ievērojami augstāks vidējais virsmas raupjums ($\sim 0,221$), salīdzinot ar lauksaimniecības zemēm ($\sim 0,099$). Arī mežu mediānais raupjums ($\sim 0,217$) ir lielāks nekā lauksaimniecības zemēs ($\sim 0,095$). Standartnovirze un raupjuma diapazons mežiem ir lielāks, kas liecina par lielāku raupjuma mainīgumu. Lai objektīvi novērtētu iegūtos rādītājus, tika izmantota statistiskas metodes.

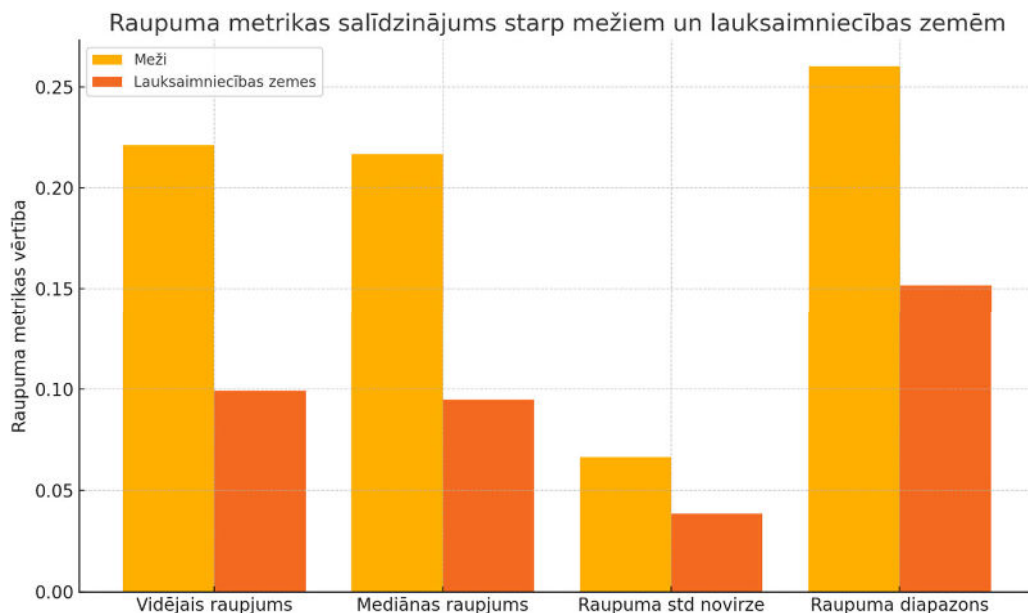
Statistikas rezultāti

Tika veikti T-tests un p-tests, lai salīdzinātu raupjuma metrisku starp abiem zemes tipiem. T-tests izvēlēts, jo tas parāda vai pastāv būtiska atšķirība starp divu grupu vidējiem rādītājiem. Lielāks t rādītājs norāda uz lielāku atšķirību starp grupām, salīdzinot ar variāciju katrā grupā. Lai objektīvi izvērtētu iegūtos rezultātus izmantots arī p tests, kas norāda uz datu novērošanas varbūtību, pieņemot, ka starp grupām nav reālas atšķirības jeb nulles hipotēze ir patiesa. Mazāka p-vērtība (parasti zem 0,05) liecina, ka novērotā atšķirība, visticamāk, neradīsies nejauši, liekot noraidīt nulles hipotēzi. Tātad, ja iegūtie T rādītāji ir lielāki un p vērtības mazas, tad varēs apgalvot, ka ir statistiski būtiskas atšķirības starp mežiem un LIZ.

Tabula 4. Raupjuma novērtējumi

Rādītājs	t-tests	p-tests
Raupjuma vidējie rādītāji	42,66	0,00E+00
Raupjuma mediāna	41,78	0,00E+00
Standartnovirze	32,77	1,67E-210
Variācija	34,22	2,39E-226

Visas p-vērtības rezultātos ir ārkārtīgi mazas (piemēram, $1,67e-210$), kas ir daudz mazākas (Tabula 4) par tipisko sliekšni 0,05. Tas nozīmē, ka atšķirības nelīdzenuma rādītājos starp mežiem un lauksaimniecības zemēm ir statistiski nozīmīgas, un ir maz ticams, ka tās radās nejauši. Augstā t-statistika (piemēram, $t = 42,66$) norāda uz spēcīgu atšķirību starp abām grupām. Tas liek noprast, ka mežu virsmas raupjums pastāvīgi un ievērojami atšķiras no lauksaimniecības zemju raupjuma (Attēls 4).



Attēls 4. Raupjums meža un lauksaimniecības zemēs.

Lai vizuāli parādītu šo atšķirību starp iegūtajiem rādītājiem, tika sastādīts grafiks ar raksturojošajiem lielumiem, kas apliecina arī t-testa rādītājus - mežs zemēm ir lielāka variācija nekā LIZ teritorijām.

Analīze parāda, ka virsmas raupjuma dati ir efektīvi, lai atšķirtu mežus un LIZ. Mežiem pastāvīgi ir augstākas un mainīgākas raupjuma vērtības, padarot nelīdzenumu par uzticamu rādītāju šo zemes tipu diferencēšanai.

Zemes virsmas raksturs meža teritorijās ar atšķirīgu izmantojuma vēsturi

Pētījuma uzdevums bija noskaidrot vai izmantojot augstas izšķirtspējas tālīzpētes datus var atpazīt senajām meža zemēs raksturīgo mikroreljefu, kas veidojies ilgstoši izgāzoties kokiem un veidojot īpatnēju bedru un pauguru telpisko mozaīku. Izvēlētas 3 platības ziņā līdzīgas teritorijas, kurās mežs klājis nepārtraukti pēdējās desmitgadēs, taču ilgākā vēsturiskā posmā dažās no tām notikusi arī atmežošana, bet citās drošticami, ka mežs kā zemes lietojums pastāvējis nepārtraukti.

Pētījuma īstenošanai izmantoti drona LIDAR lāzer skenējuma dati, kas iegūti 2024. gada jūnijā, no kuriem atvasināti 0,5 metru horizontālās izšķirtspējas reljefa modeļi. Teritorijas atrodas uz glacigēnas (gQ3ltv) un glaciolimniskas (glQ3ltv) izcelsmes nogulumiem – smilts, māla, aleirītu nogulumiem. Dažviet novērojami arī kūdras jeb bQ4 nogulumi. Lai savstarpēji salīdzinātu izvēlētas teritorijas, tām tika piešķirti kodi no A līdz C. Katras pētījuma teritorijas poligons tika sadalīts pa vienāda izmēra 10 m² daļās, lai varētu izvērtēt un savstarpēji salīdzināt reljefa atvasinājumu telpisko raksturu, ņemot vērā arī poligonu atšķirīgās platības. Izmantojot programmu QGIS 3.26. un spraudņus GRASS GIS, GDAL un spraudnis *Polygon divider*, tika iegūti poligonu raksturojošie rādītāji, lai tos savstarpēji salīdzinātu.

Poligons A

Poligons A atrodas Zaubes pagasta, Annas ciemā. Poligons atrodas uz DR no mājām “Annas Ozoliņi”, kā arī vietējās nozīmes ceļa Annas–Mālkalns–Pērkoņi. Polygonam cauri iet ceļš, kā arī ir novērojamas relatīvi stāvas nogāzes. Minimālais augstums ir 207,91 m. v.j.l., bet

maksimālais novērotais augstums sasniedz 215,04 m. v.j.l., sekmējot kopējo relatīvo augstuma izmaiņu 7,13 m.

Poligons B

Poligons B atrodas Zaubes pagasta, Annas ciemā. Poligons novietots uz A no Annas ciema, uz DA no vietējās nozīmes ceļa Annas–Mālkalns–Pērķoņi. Poligons ietver reljefa nogāzi un pārpurvotu pazeminājumu. Poligona zemākais augstums ir 202,44 m v.j.l., bet augstākais novērotais augstums ir 214,34 m v.j.l. Relatīvās augstuma izmaiņās teritorijā ir 11,91 metri, kas padara izvēlēto teritoriju relatīvi stāvu un grūti apsaimniekojamu.

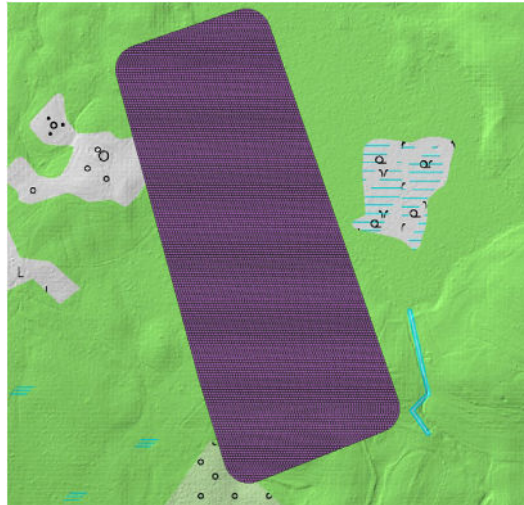
Poligons C

Poligons C atrodas Ērgļu pagasta ZA daļā 100 metrus uz R no Ogres upes. Atrodas pie “Lejasceplīšu” mājām. Minimālais augstums teritorijā – 186,13 m, bet maksimālais 191,14 m v.j.l. Relatīvā augstuma starpība ir 5 metri.

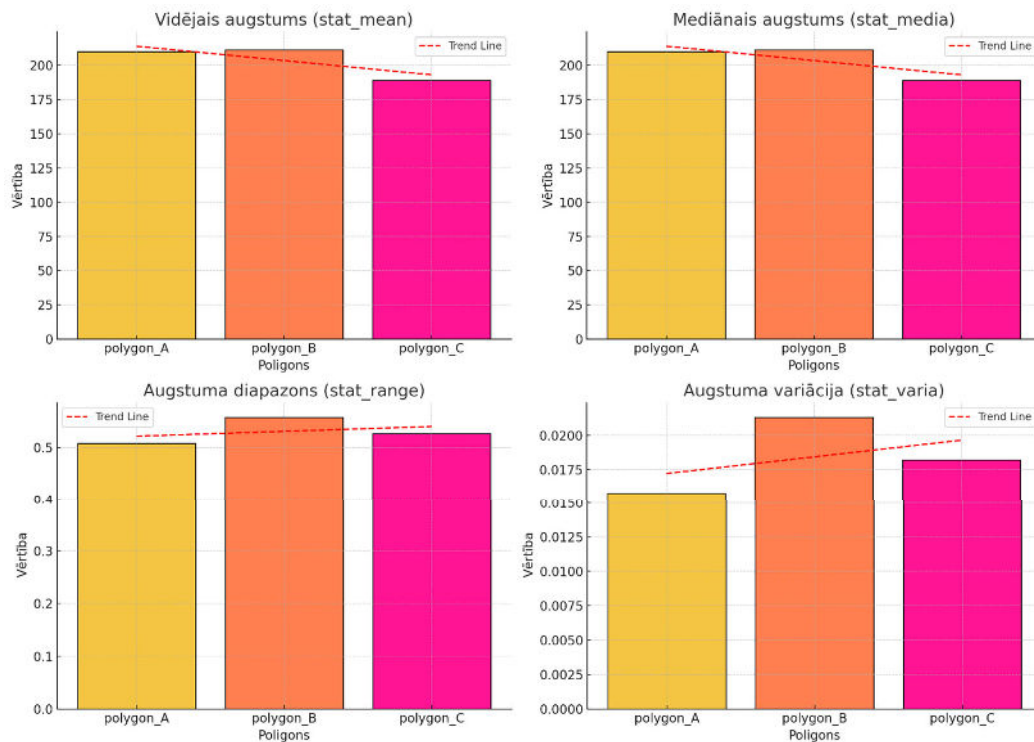
Zemes virsmas mikroreljefa analīzes rezultāti

Vecākiem mežiem piemīt zemes virsmu raksturojošie rādītāji, kas tos atšķir no jaunākiem mežiem. Vecākiem mežiem ir saposmots mikroreljefs, pieņemot, ka apvidū nav novērojama krasas ledāja darbības pēdas vai saimnieciskās darbības radītie augsnes un mikroreljefa pārveidojumi. Šāds pieņēmums veidojas balstoties uz pētījumiem par zemes virsmas, ainavu un mežu kartēšanas metodēm (Hoechstetter et al. 2008, McGarigal et al. 2009, Hollaus et al. 2011, Brecheisen et al. 2021). Ja poligonam ir konsekventi lielāka augstuma standartnovirzes variācija, tas varētu norādīt uz senāku meža areālu. Lielāks diapazons starp minimālo un maksimālo augstumu jeb relatīvā augstuma diapazons liecina par nevienmērīgāku un potenciāli vecāku meža zemi ar mazāk zemkopības procesos radītām izmaiņām. Tāpēc ir būtiski fiksēt poligona virsmas raupjuma rādītājus, kas var norādīt tieši uz pazīmēm, kas raksturo senos mežus. Tomēr, objektīvāk ir izvērtēt teritorijas, kas neietver purvus vai pārmitras teritorijas to īpatnējo apstākļu dēļ ko ietekmē kūdras uzklāšanās, izlīdzinot zemes virsmu. Tas varētu ietekmēt analīzes rezultātus, mainot teritoriju statistiskos rādītājus.

Lai iegūtu objektīvus rādītājus par teritoriju, tika izvēlēta metode sadalīt poligona laukumu 10 m² daļās, kas vienmērīgāk nosegtu visu teritoriju, nezaudējot arī lokālu kontekstu katrā atsevišķā poligona fragmentā. Poligonu malās bija iespējamās novirzes no 10 m², kur platība svārstījās robežās starp 9,6 m² līdz 10,7 m², tomēr tas nemaina kopējā teritorijas raupjuma interpretāciju, jo kopējais šādu laukumu skaits, piemēram, A poligonā bija 279 laukumi zem 10 m² no kopējā 10 766 skaita jeb 2,6% no teritorijas platības (Attēls 5). Iegūti statistiskie rādītāji no katra poligona un apvienoti vienotā grafikā salīdzināšanas nolūkos.



Attēls 5 Piemērs no analīzes poligonu dalījuma.



Attēls 6. Augstuma diapazons poligonos.

Salīdzinot visus izvēlētos poligonu parametrus (Attēls 6), būtiski ir salīdzināt augstuma variāciju, kas norāda uz relatīvajām augstuma izmaiņām poligonā, bet tas var norādīt arī uz poligona neviendabīgumu - dabisku mežu raksturojošo iezīmi. Poligonā A novērotas mazākās augstuma variācijas, C poligonā lielāka variācija, bet visbeidzot poligonā B visaugstākā. Tas tāpēc, ka poligonā B ir lielākā augstuma starpība jeb ievērojamas augstuma atšķirības poligona ietvaros virzienā no A uz R.

Dati par vidējo aritmētisko, maksimālās, minimālās, amplitūdu, variāciju, standartnovirzi un mediānu, ar kuru palīdzību var raksturot atšķirības starp poligoniem. Iegūtie dati norāda, ka poligons A visos rādītājos, atskaitot mediānu, uzrāda zemākos raupjuma rādītājus, bet lielākais virsmas raupjums novērojams poligonā C. Balstoties uz šo rezultātu var apgalvot, ka poligona C un B meži ir senāki nekā poligonā A.

Raupjuma mediāna liek noprast, ka mazāks virsmas raupjums novērojams poligonā B, bet tas ir saistīts ar poligona raksturu, precīzāk, poligonā ir novērojamas krasas nogāzes un daļēji dabiski meži, bet veicot statistisko analīzi rezultātu ietekmē poligonam cauri izveidotais ceļš, kas samazina mediānas rādītājus izvēlētajā teritorijā. Šim nolūkam salīdzināta standartnovirze, kas parādītu patieso poligona raksturu.

Poligons C ir visaugstākais vidējais raupjums ar raupjuma vidējo vērtību aptuveni 0,2647, raupjuma diapazonu 0,4627, raupjuma standartnovirzi 0,1237 un raupjuma variāciju 0,0205. Šīs vērtības liecina, ka poligons C ir vismainīgākā zemes virsma, kas varētu norādīt senāku meža zemi, jo ir novērojamas un lielāks troksnis zemes virsmas reljefa modelī. Poligonam A ir viszemākais vidējais raupjums, ar raupjuma vidējo vērtību aptuveni 0,2540, raupjuma diapazonu 0,4172, raupjuma standartnovirzi 0,1099 un raupjuma variāciju 0,0162. Šīs zemākās raupjuma vērtības var norādīt uz homogēnāku meža zemi salīdzinājumā ar pārējiem poligoniem, iespējams novērotās pārmitrās ieplakās dēļ.

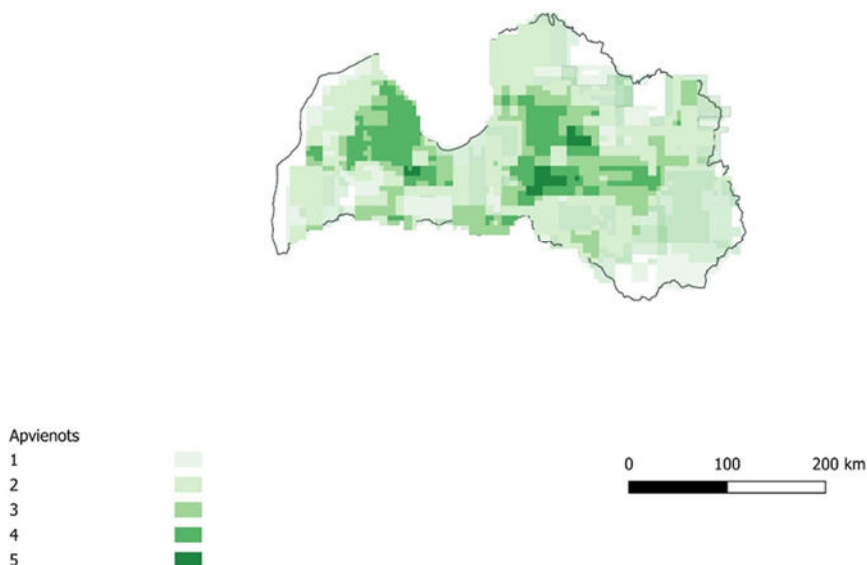
Spriežot pēc virsmas vizuālā rakstura, statistiskiem rādītājiem, lielāku augstuma un raupjuma variāciju, poligons C varētu tikt uzskatīts par seno mežu zemi. Balstoties uz šī poligona raksturojošajiem rādītājiem, var izveidot likumsakarības par seno mežu zemju raksturojošo rādītāju kopu, kas tiktu turpmāk izmantota seno mežu zemju kartēšanā, paplašinot mūsu uztveri par to patieso daudzumu Latvijas teritorijā. Poligonā A un B aprēķinātā virsmas raupjuma standartnovirzes atšķirības iezīmē meža ilglaicības nozīmi uz virsmas saposmājumu, tai samazinoties mazāk senu meža teritoriju virzienā.

Kopsavēkot rezultātus, secinām ka:

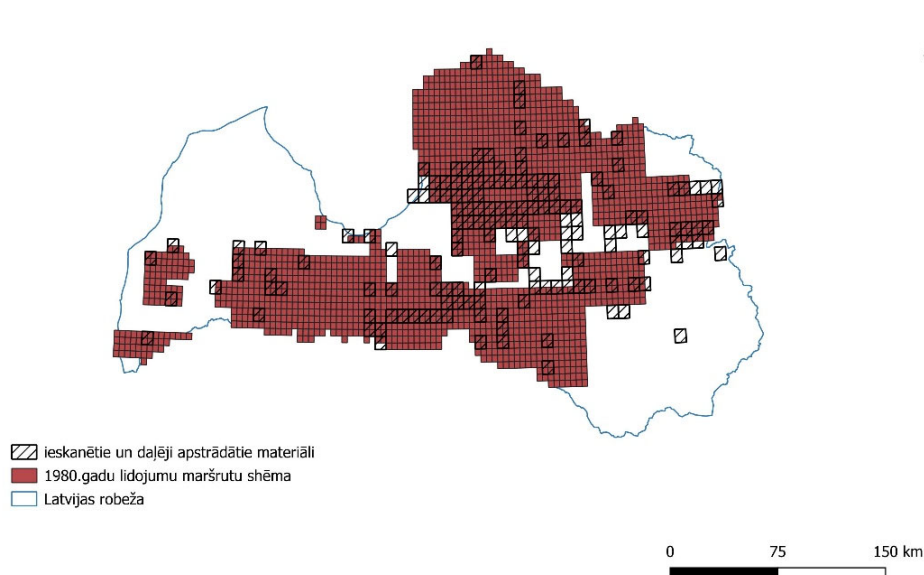
1. LIDAR dati, kuros ir 10 un vairāk zemes punktu uz m^2 ļauj precīzi atpazīt seniem mežiem raksturīgo mikroreljefu minerālaugšņu platībās;
2. Šādi dati izmantojami zemes virsmas saposmājuma gradācijas skalas izstrādē, ko izmantotu kā vienu no rādītājiem meža senuma un dabisko procesu vērtējumā;
3. Lai novērstu kļūdainus rezultātus, pirms mikroreljefa apstākļu analīzes, nepieciešama dabiskā reljefa apstākļu un tehnogēno ietekmju atpazīšana un datu korekcija. Tās rezultātā jāiegūst koriģēta datu kopu, kurā izlīdzinātas un atbilstoši izmainītas zemes virsmas augstumu starpības, kas veidojušās dabiskā reljefa saposmājuma un cilvēka darbības dēļ;
4. Turpmākos pētījumos nepieciešams analizēt zemes virsmas saposmājumu arī publiski pieejamos, mazākas izšķirtspējas datus, izvēloties meža teritorijas ar lielāku punktu skaitu platības vienībā, vienlaikus, izslēdzot tos gadījumus, kuros zemes virsma ievērojami pārveidota saimniecisko darbību rezultātā.

Aerofoto pārklājums laika posmā no 1945. līdz 1991. gadam

Laika posmā no 1956. līdz 1988. gadam Latvijas teritorijā veikti vairāki desmiti lidojumu ar nolūku iegūt zemes virsmas attēlus. Ar retiem izņēmumiem iegūtās bildes ir melnbaltas un to uzņemšanas mērogs ir 1 : 30 000. Lielākā negatīvu kolekcija atrodas LĢIA arhīvā un Latvijas Valsts kinofotofonodokumentu arhīvs (turpmāk LVKA). Atsevišķās teritorijās šajā laika posmā ir notikuši pat 5 uzlidojumi (Attēls 7), tomēr vairumā gadījumu tos skaits ir mazāks.



Attēls 7. Dažādu gadu lidojumu maršrutu kopskats. Iegūto attēlu negatīvi atrodas LĢIA arhīvā.



Attēls 8. LVMI “Silava” arhīvā esošo maršrutu shēmas aeroainām, kas uzņemtas 1980-to gadu lidojumos. Faktiskais pārklājums tiks noskaidrots pēc aeroainu skanēšanas un apstrādes procesa beigām.

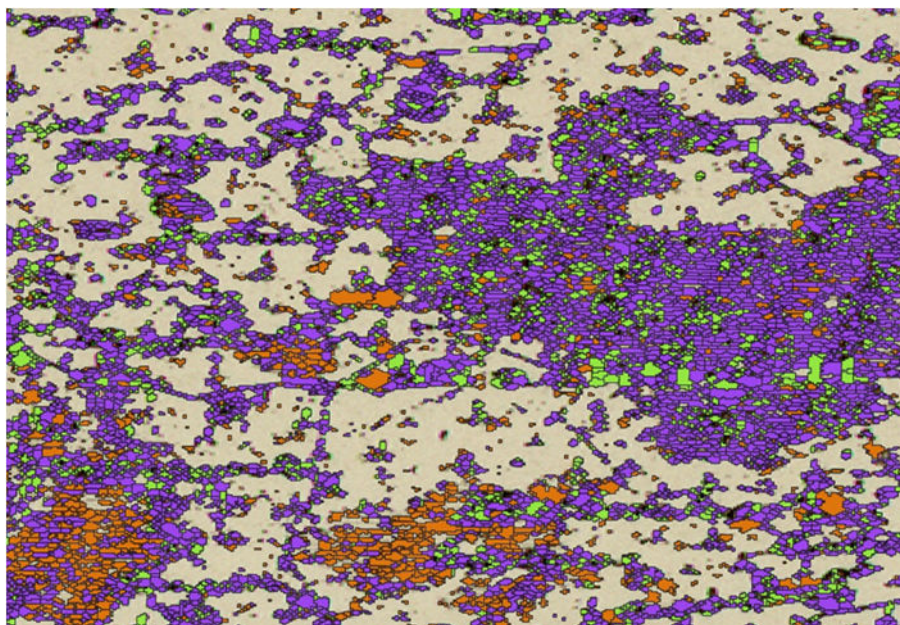
Savietojot visu trīs avotu maksimālo pārklājumu noskaidrojām, ka Latvijas teritoriju 90–95% apmērā var nosegt ar aerofoto attēliem, kas iegūti laika posmā no 1955. līdz 1990. gadam.

Vēsturisko materiālu apstrāde un mežainuma kontūru iegūšana. Risinājumi un piemēri

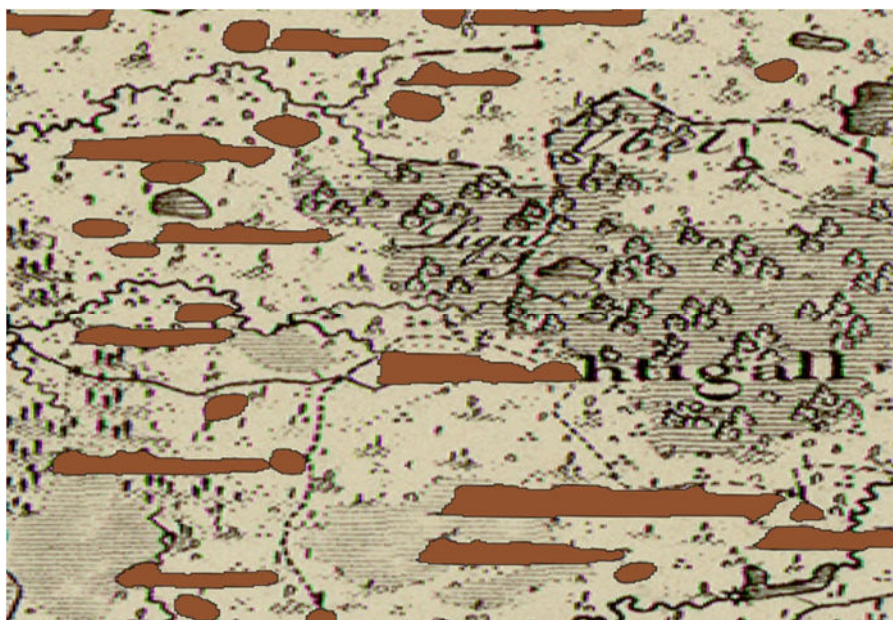
Lai iegūtu zemes lietojuma kontūras un citus svarīgus datus vēsturisko karšu analīzes procesā pielietoti divi QGIS spraudņa rīki, lai attēlus segmentētu un konstruētu ģeotelpiskos vektoru datus. Vektorizācijai izmantots OTB Segmentation rīks. Savukārt metadatu digitalizācijai, izmantots Segment Anything Model (SAM). Sākotnēji SAM izmantots fotoattēlu apstrādē, lai augstā izšķirtspējā nodalītu savstarpēji atšķirīgus objektus. Izmantojot nosauktos algoritmus testa karšu lapās (Attēls 9) tika sekmīgi nodalītas, mežu un purvu platības. Konstatējām, ka lai uzlabotu rezultātus, pirms segmentācijas, izmantojot SAM rīku jāveic māju, ciemu un citu ģeogrāfisko objektu nosaukumu un apzīmēju atpazīšana un nodalīšana (Attēls 11). Izveidoto slāni izmanto kādu neanalizējamo maskas slāni meža platību identificēšanas procesā. Iegūto kontūru (Attēls 10) platību sadalījums ļāva noteikt minimālo kartējamo platību – 10 ha.



Attēls 9. Orģinālā redzami dažādu zemes lietojumu klašu areāli un vietvārdi.



Attēls 10. Segmentācijas rezultātā nodalītās zemes lietojumu klases. Šajā piemērā krūmainās ganības pieskaitītas atklātajām platībām.



Attēls 11. Mājvietu, sētu nosaukumu un citu ģeogrāfisko objektu segmentācija.

Jaunāku laiku topogrāfiskās kartēs, lai iegūtu meža kontūras vektora formātā, izmantojām OTB Segmentation rīku. No iegūtiem rezultātiem (Attēls 12) atlasot poligonus, kuru atribūtu vērtības spektra joslu vērtības laukos atbilst noteiktam RGB diapazonam, iegūst meža kontūras (Attēls 13).

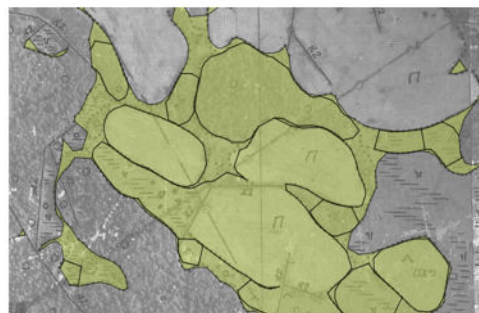
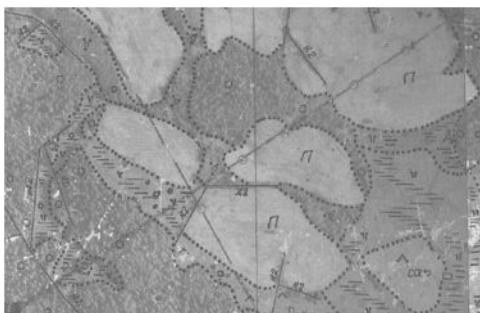


Attēls 12. 1932. gadā M 1 : 75 000 izdotās topogrāfiskās kartes fragments.



Attēls 13. Segmentācija rezultāts un kontūru atlase pēc spektrālā vērtību diapazona.

Padomju laika dešifrēto attēlu apstrādes pieejā izmantots pats klasifikācijas rezultāts: uz ortofoto pamata uzzīmētās kontūras, zemes lietojumu apzīmējumi, iezīmētie grāvji, dažādas nozīmes ceļi, ēkas un rūpniecības objekti un mitrāji. Atlasot no pārstāvēto pelēko toņu paletes tumšākās versijas un vektorizējot šo laukumus punktu vai poligonu formā, tika iegūts dešifrēto aerofoto apzīmējumu slānis. Analizējot izmantoto apzīmējumu standartizētā izpildījuma iezīmes, piemēram, attālumus starp punktiem, kas nodala meža un LIZ zemes, veicām punktu klasifikāciju atbilstoši to savstarpējam novietojumam. Atbilstošās klases punkti tika savienoti ar līnijām un tās apvienojot iegūti poligoni (Attēls 14). Turpmākajā darba procesā tiks izmantoti klasificētie meža un citu zemes lietojumu apzīmējumi un piešķirta katram poligonam tam atbilstošā kategorija.



Attēls 14. Fotoplanšetu apstrādes rezultāts.

Kokogļu dedzināšanas pauguru detektēšanas metodika izmantojot LIDAR datus

Pētījumā izstrādāta jauna pieeja dažādu objektu detektēšanai Latvijas teritorijā, izmantojot datorredzes modeli *You Only Look Once* astoto versiju. YOLOv8 ir modelis, kas spēj detektēt, klasificēt, segmentēt un izsekot objektus reālā laikā (Redmon et al. 2015, Jocher et al. 2023). Lai demonstrētu šī modeļa veikspēju tika izvēlēts pētījuma objekts – kokogļu dedzināšanas pauguri. Tie ir daļa no Latvijas un pasaules industriālā mantojuma, kam pēdējos gados tiek pievērsta plašāka uzmanība. Kokogļu dedzināšanas pauguri ir paliekas no laika perioda, kad kokogļu ražošana bija nozīmīgs saimnieciskais resurss gan ikdienas darbiem, gan rūpnieciskiem nolūkiem. Šie pauguri ir atrodami mežainos reģionos, kuri bija bagātībai ar meža resursiem un labi attīstītiem transporta tīkliem – ceļiem, upēm un pat dzelzceļiem (Raab et al. 2022). Šo pauguru mūsdienu nozīme ir maz apzināta, tomēr, izmantojot šo pauguru datus, var veikt mežu sastāvu un biežības rekonstrukciju (Rutkiewicz 2019), organiskā augsnes oglekļa (SOC) precīzāku aprēķināšanu un dažādas cita veida ainavas mēroga rekonstrukcijas (Schneider et al. 2020, Tolkendorf et al. 2020). Ir būtiski minēt, ka pauguru morfoloģija ir cieši saistīta ar citiem arheoloģiskiem veidojumiem, piemēram, dzelzs ceļiem, kaļķu ceļiem un pat apbedījumu pauguriem. Lai saglabātu pagātnes liecības, ir būtiski apzināt datorredzes modeļu izmantošanu arheoloģisku objektu detektēšanā, jo pastāv draudi, ka izbūvējot ceļus vai veicot mežistrādi, var tikt iznīcinātas šīs arheoloģiskās liecības (Vides fakti 2014, Zvirbulis 2020, Neimane & Zvirbulis 2021). Arheoloģijas jomā, īpaši attālās izpētes darbos, spēja detektēt un analizēt vēsturiskus objektus sniedz iespējas pētniekiem ātri un efektīvi ievākt datus, kamēr vēl pastāv šo objektu liecības.

Pētījumā izvirzītais mērķis ir novērtēt datorredzes algoritma YOLOv8 efektivitāti kokogļu dedzināšanas pauguru detektēšanā reljefa modeļos un to atvasinājumos. Pētījuma mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- apkopot literatūru par kokogļu dedzināšanas pauguriem, to raksturīgajām pazīmēm un izplatību Eiropā un Latvijas teritorijā;
- apzināt un ievākt datus par kokogļu dedzināšanas pauguriem Latvijā no dažādiem izplatības areāliem;
- izvērtēt piemērotākos reljefa modeļa atvasinājumus YOLOv8 apmācībai;
- veikt modeļu apmācību un novērtēt iegūto YOLOv8 modeļu veikspēju;
- izvērtēt YOLOv8 modeļu spēju detektēt kokogļu dedzināšanas paugurus.

Pētījuma rezultāti aprobēti Latvijas Universitātes 82. zinātniskajā konferencē, ar ziņojumu “Datorredzes modeļu izmantošana arheoloģisku objektu detektēšanā: YOLOv8 piemērs” ģeomātikas sekcijā.

Dalība COST Action CA22155 Projektā “PoTaReH” jeb Network for forestry by-products – charcoal, resin, tar, potash (COST action CA22155 2024). Projekta mērķis ir izprast kokogļu dedzināšanas pauguru radīto produktu nozīmi vēsturē un to lomu industrializācijā. Šis pētījums ir tiešs pienesums noteikto projekta uzdevumu īstenošanai.

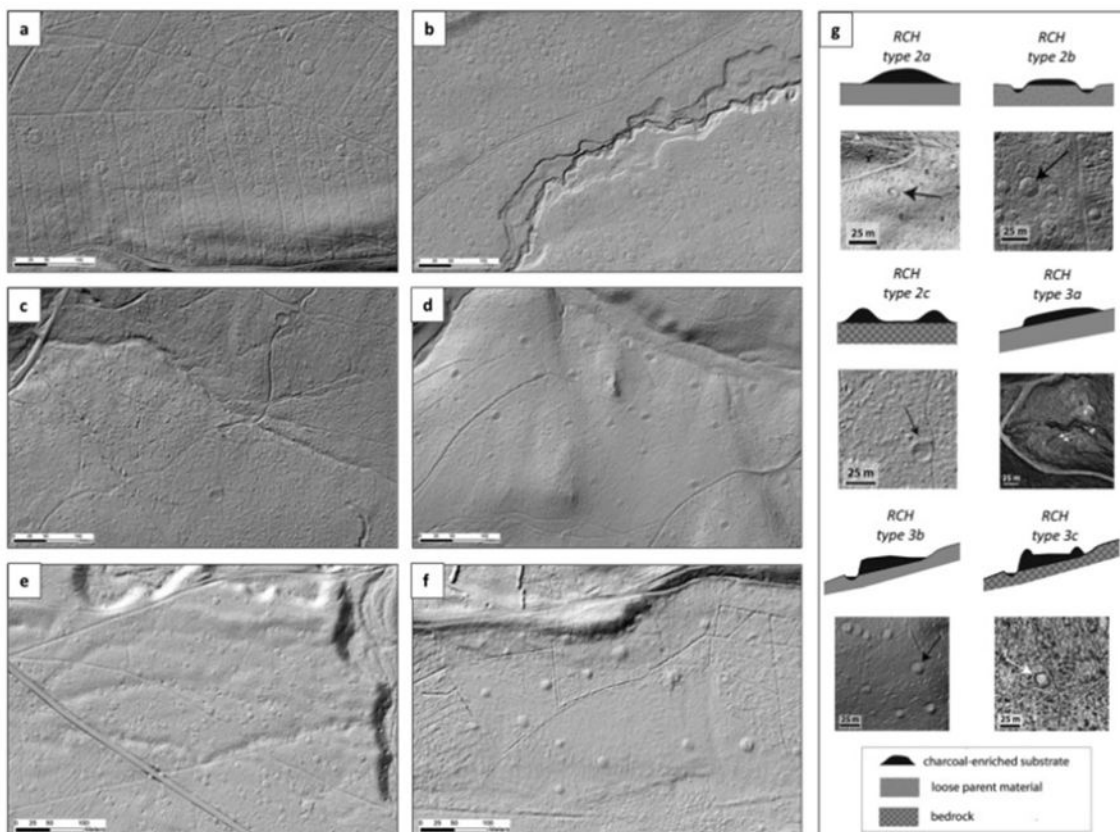
Pauguru morfoloģija un veidošanas priekšnosacījumi

Līdz šim aprakstītajā literatūrā par kokogļu dedzināšanas pauguriem Latvijā, ir norādīts, ka tiem raksturīga paugura veida forma ar iedobi ap paugura piekāji, un tie visbiežāk izkārtojas grupās. Kā rakstīts 2018. gadā par Ropažos aplūkotajiem objektiem “Pauguri ir neregulāri sadalīti un koncentrēti vairākās grupās. Pavisam var izšķirt trīs šādas grupas, bet ir arī atsevišķi pauguri. Attālums starp pauguriem sakopojumos jeb grupās ir 1–24 m, un attālums starp pauguru grupām ir 60–150 m. Pauguri ir apmēram 6–11 m diametrā, ar augstumu

30–60 cm. Kokogļu dedzināšanas pauguru raksturīga identifikācijas iezīme ir 40–70 cm plats grāvis ap paugura pamatni un ieplaka paugura augšpusē” (Kļava et al. 2018).

Salīdzinot kokogļu dedzināšanas pauguru morfoloģijas Eiropas valstīs, ir skaidra sakarība starp reģionālām praksēm un novietojumu. Tieši novietojumu reljefā nosaka vairāki faktori, tostarp ģeoloģija, reljefs, klimatiskie apstākļi, ceļu vai citu transporta tīklu savienojums, ekonomiskie un sociālie faktori. Apvidus reljefs noteica pauguru ierīkošanas vietās, kur ir ērti apieties un vēlāk transportēt šos materiālus (Raab et al. 2022). Tomēr ir teritorijas, kur tas nav iespējams, tāpēc cilvēki pielāgojas izmantot citus paņēmienus pauguru ierīkošanai, piemēram, Itālijas kalnos stāvās nogāzes pieprasa līdzenu terašu izveidi, lai nodrošinātu vienmērīgu gaisa padevi un nodrošinātu pauguru stabilitāti (Carrari et al. 2017, Garbarino et al. 2021,). Līdzīgas tendences var novērot arī Ziemeļamerikā (Carter et al. 2021, van der Vaart et al. 2022), kur pauguri izveidoti stāvu kalnu nogāzēs, kur daudzos gadījumos tika ierīkotas terases, lai nostiprinātu šos paugurus, tāpēc tos var skaidri izšķirt apvidos ar stāvam nogāzēm, kas atvieglo arī objektu kartēšanu un detektēšanu reljefa modeļos (Garbarino et al. 2021, Suh et al. 2021). Tādu pašu līdzīgu sakarību var novērot Vācijas zemienēs, kur pauguri fiksēti mežos ar līdzenu topogrāfiju un augstu produktivitāti (Raab et al. 2017).

Novietojums arī ietekmē pauguru savstarpējās līdzības, tāpēc aplūkots raksts, kurā ir apkopoti visi aktuālie pētījumi saistībā ar šo objektu morfoloģiju Eiropā un ASV (Raab et al. 2022). Rakstā tiek apkopots pozitīvo, apaļu un nedaudz elipsveida formu pārsvars pār kvadrātiskas formas ceļiem (Attēls 15), lai gan atsevišķos gadījumos tika arī novērotas ogļu dedzināšanas bedres, kuras pieskaitāmas pie negatīvajām reljefa formām. Taisnstūra vai trapecveida formas ir mazāk izplatītas un tām ir tikai neliela vai reģionāla nozīme. Dažos apgabalos kokogļu dedzināšanas pauguri ir vienveidīgi un vienmērīgi sadalīti pa apvidu, kur tie parasti ir sastopami gan zemienēs, gan zemās kalnu grēdās. Tomēr šie objekti bieži tiek sajaukti ar dažādiem citiem veidojumiem, piemēram, akmeņu krāvumiem, izraktiem materiāliem (grantī, smilti, velēnu), kas sakrauti kaudzēs un jebkādiem citiem relatīvi zemiem pauguriem (Raab et al. 2022).



Attēls 15. Iespējamie pauguru veidi, kas novēroti dažādu valstu pētījumos (Raab et al. 2022).

1.a klase. Apļveida pauguri, ko ieskauj grāvis ar raksturīgu vidēju telpisko blīvumu (netālu no Wernberg-Koblitz, Vācija). 2b. Apļveida pauguri, ko ieskauj grāvis ar ārkārtīgi augstu telpisko blīvumu (Nürnberg, Vācija). 2c. Apļveida pauguri, ko ieskauj grēda ar raksturīgu zemu telpisko blīvumu (netālu no Warmensteinach, Vācija). 2d. pauguru nogāzes platformas ar izlīdzinātām virsmām un ar raksturīgu vidēju telpisko blīvumu (netālu no Tannesberg, Vācija). 2e. Paugurs ar bedrēm pie Brusiek ciema ar augstu telpisko blīvumu, netālu no Mala Panew upes, Polijā. 2f. Paaugstināts paugurs ar vidēju telpisko blīvumu netālu no Tworog, Mala Panew upes sateces baseina ieleja, Polija. 2g. Visbiežāk sastopamie pauguru veidi un to morfoloģiskais šķēsgriezums (pielāgots no Hirsch et al. 2020, pēc Raab et al. 2022). Netiek izslēgta iespēja, ka Latvijas teritorijā ir atrodamas arī citas šo pauguru formas, bet šī pētījuma ietvaros tiks fiksēti pauguri, kas visvairāk līdzinās 2b tipa pauguriem, jo Latvijas gadījumā, spriežot pēc Zunde et al. 2023. un Kļava et al. 2018. Visbiežāk novērotie pauguri ir līdzīgi 15. attēlā redzamajiem 2b tipa pauguriem, kas ir ar relatīvi zemu augstumu un izteiktu grāvīti ap pauguru.

Pētījuma ietvaros ir jāņem vērā, ka ir nepilnīga informācija par mežu teritoriju pārmaiņām laika gaitā, kur attīstīto valstu mežos ir slēptas, daļēji aizmirstas un nepietiekami izpētītas pagātnes zemes izmantošanas relikvijas (Brown et al. 2017). Lai gan senās mežu zemes ir bijušas plaši izplatītas, to vēstures gaitā ir bijuši dažādi zemes izmantošanas veidi, piemēram, aršana, ganīšana vai kokogļu dedzināšana, un daudzi pētījumi par veģetācijas rekonstrukciju apraksta daudzveidīgu cilvēka izraisītas mežu izciršanas un apmežošanas vēsturi, kā arī koku sugu sastāva un apsaimniekošanas režīmu maiņu pēdējos gadu tūkstošos (Groenewoudt & Spek 2016), tomēr nav līdz galam precīzi zināma to telpiskā izplatība, jo rekonstrukcijas galvenokārt balstās uz rakstiskiem materiāliem (kartēm, liecībām) vai putekšņu

rekonstrukcijām (Stivrins et al. 2023). Tāpēc, visbūtiskākais faktors tomēr ir un bija mežu resursu tips, blīvums un izstrādes apjomi, jo šos paugurus visbiežāk veidoja produktīvos mežos, kuros ir daudz izejas materiāla (Raab et al. 2019). Tie varēja būt celmi, nederīga koksne, zari, mizas u.c. kokmateriāli. Galvenais faktors darvas tecināšanai un kokogļu ieguvei ir sveķu satur kokos, kas nosaka arī izmantojamo koksnes veidu Latvijā (Zunde et al. 2023). Lielākoties tās bija priedes un egles, kas auga smilšainos mežu tipos. Pēc R. Kasparinska (2012) disertācijas varēja secināt, ka galvenokārt meža tipu telpisko izplatību nenosaka augsnes pamatgrupas. Vienīgais izņēmums ir sausieņu meža ekosistēmas, kur sils, mētrājs un lāns ir cieši saistīti ar Arenosol jeb smilšains cilmiezis, damaksnis – ar Albeluvisol jeb augsnes ar ieskalošanās pazīmēm un ar izteiktu izskalošanās horizontu, gārša – ar Luvisol jeb augsnes ar raksturīgu māla daļiņu migrāciju uz dziļākajiem slāņiem un visi pētītie purvainu un kūdreņu meža tipi – ar Histosol jeb kūdraugsnēm. Dominējošās koku sugas mežaudzē Latvijas meža ekosistēmās, piemēram, priede, egle un bērzs, kas ir sastopamas uz visām pētītajām augšņu pamatgrupām, kur izvēlētajos parauglaukumos priedes ir izplatītas uz Arenosol (32,8% gadījumu), Histosol (16,4%) un Podzol (11,9%) augšņu pamatgrupām jeb skābām augsnēm kurās dominē smilts, mālsmilts vai kūdra kā cilmiezis, bet egļu kokaudzes ir galvenokārt izplatītas uz Luvisol (14,4%), Histosol (13,0%), Stagnosol (13,0%), Planosol (13,0%) un Arenosol (11,6%) augšņu pamatgrupām, pēc WRB 2007. gada klasifikācijas (IUSS Working Group WRB 2007). Tas nozīmē, ka smilšainās augsnēs ir lielāka iespēja atrast priedes un egles, kā arī purvu malās, kur ieguva dzelzs rūdu tika izmantotas priedes, egles un bērzi tieši pieejamības dēļ (Grosvalds et al. 2008). Šī ir būtiska likumsakarība, kuras izmantošanu būtu vērts pārbaudīt turpmākajos pētījumos, lai noskaidrotu vai pastāv telpiskas likumsakarības starp mežu tipiem, to augsnēm un šo objektu telpisko izplatību, lai varētu noskaidrot jaunas, vēl neapzinātas teritorijas ar kokogļu dedzināšanas pauguriem. Tas ļautu izmantot šos datus, lai prognozētu vietas ar paaugstinātu oglekļa daudzumu augsnē un konkrētos apvidos, kuros ir atrodami kokogļu dedzināšanas pauguri un līdzīgi relikti objekti.

Kokogļu pauguru izmantošana meža augšņu SOC aprēķinos

Šo reliktu pauguru klātbūtne būtiski maina augsnē notiekošos procesus (Hardy et al. 2016). Kopumā ir jāvērtē ietekmi uz mežu ekosistēmām un kopējo augsnes oglekļa krāju jeb Soil organic carbon (SOC). Ietekme uz mežu augšanu vai oglekļa kopējo krāju augsnē nevar aplēst, ja nav iegūts precīzs skaits ar šiem pauguriem mežos, tomēr pēdējo desmit gadu laikā daudzos pētījumos ir veiksmīgi kartētas tūkstošiem bijušo kokogļu ražotnes, kur manuāli fiksēti pauguri DEM datos no dažādiem mežu apgabaliem Eiropā un ASV ziemeļaustrumos (Rutkiewicz et al. 2019, Waga et al. 2022), lai iegūtu precīzu pauguru skaitu. Automatizētās metodes sniedz iespēju plašākas teritorijas kartēt, tomēr ticamības un lielie False positive rādītāji liek apšaubīt datu ticamību (Carter et al. 2021, van der Vaart et al. 2022).

Šo objektu klātbūtne izraisa būtiskas izmaiņas augsnes fizikālajās un ķīmiskajās īpašībās, ko sauc par mantotajām sekām, jo augsnē paliek liels daudzums kokogles (Raab 2019, Bonhage et al. 2020). Rezultāti no šiem pētījumiem arī liecināja, ka, izmantojot prognožu modeli, var novērtēt ietekmi uz meža ekosistēmām, piemēram, augsnes organisko vielu uzkrāšanos, oglekļa piesaistīšanu un veģetācijas dinamiku dažādos laika periodos. Šāda veida pētījumi ļauj izmantot paleoģeogrāfiskās rekonstrukcijas paņēmienus, piemēram, putekšņu ievākšanu un analīzi no blakus esošajiem purviem vai ezeriem, apvienot to ar dedzināšanas pauguru datiem, lai iegūtu precīzāku modeli par apvidus attīstību laika gaitā, līdzīgi kā Stivrins et al. 2023. Tāpēc ir būtiski uzsvērt, ka par šiem objektiem nevar veikt vispārinājumus, jo to izplatības blīvums svārstās teritorijās, ja pat konceptuālā tehnoloģija jeb prakse visur bija vienāda (Hennius 2019, Hirsch et al. 2020).

Pierādījumi, ka šie veidojumi krasi ietekmē augsnes ķīmiju, parādījās pētījumā no Vācijas, kur vēsturiskā kokogļu ražošana būtiski maina oglekļa saturu un kvalitāti meža augsnēs. Pētījumā parādījās, ka organisko vielu daudzums ir bagātināts par 18% līdz 32%, salīdzinot ar dabiskās meža augsnes organisko vielu daudzumu (Bonhage et al. 2020a). Šis pētījums parādīja, ka kokogļu pauguri veido tikai 3,6% no platības, bet oglekļa uzkrājumam augsnē pievieno potenciāli tādu pašu daudzumu kā atlikušo 96,4% augsnes organisko horizontu. Tas nozīmē, ka, neņemot šos datus vērā, var krasi kļūdīties SOC aprēķinos (Bonhage et al. 2020a). Reliktu kokogļu pauguri satur ievērojamu daudzumu ogļu, kuras nevarēja izmantot dažādu piesārņojumu vai zemas kvalitātes dēļ. Mērenās joslas mežu ekosistēmās SOC daudzums ir apmēram divreiz lielāks nekā oglekļa daudzums visā mežā kopumā (Malhi et al. 1999), sasniedzot apmēram 50% no kopējās oglekļa krājas. SOC ir svarīgs mežu augsnēm un ekosistēmām, ietekmējot oglekļa uzkrāšanos un sadalīšanos zemē, kā arī globālo oglekļa bilanci. SOC ir būtisks arī augsnes kvalitātes uzlabošanai un mežu produktivitātes veicināšanai (Liu et al. 2016). Tāpēc ir būtiski izprast SOC izplatību mežu ekosistēmās, kur kokogļu dedzināšanas pauguri ļautu precīzāk veikt šos aprēķinus. Tieši tāpēc ir būtiski apzināt pēc iespējas vairāk paugurus Latvijas teritorijā, un izstrādātais modelis būtu īstais rīks šī mērķa sasniegšanai.

Izmantotās detektēšanas metodes pārskats un parametri

YOLO ir saīsinājums terminam “*You only look once*” jeb “Skaties tikai vienu reizi”, un tas ir dziļās mācīšanās balstīts objektu noteikšanas algoritms, ko izgudroja Džozefs Redmons un Ali Farhadi Vašingtonas universitātē. YOLO, kas tika palaists 2015. gadā, ātri ieguva popularitāti ar savu lielo ātrumu un precizitāti (Ultralythics S.a.). Šis modelis, atšķirībā no līdzīgiem datorredzes modeļiem kā Faster R-CNN (Girshick 2015), Detectron2 (Pham et al. 2020), Single shot multibox detector (Liu et al. 2016), EfficientDet (Tan et al. 2020), RetinaNet (Fu et al. 2019), apvieno attēlu segmentāciju un klasifikāciju vienā solī, būtiski nesamazinot detektēto attēlu precizitāti vai ātrumu, sniedzot iespēju ātri un bieži testēt, kā arī detektēt objektus reālā laikā (Hossain et al. 2022, Alvi 2023), līdzīgi kā to dara modelis CenterNet (Duan et al. 2019). Arhitektūra, uz kuras balstās YOLO modeļi, ir daļēji sajūgti neironu tīkli, kas atšķirībā no pilniem neironu tīkliem, apstrādā attēlu klasifikāciju bloku līmenī, kur tiek pieņemts, ka klasificējamie objekti ir līdzīgi visā pētāmajā attēlā, tāpēc nav vajadzības pēc pikseļu līmeņa klasifikācijas, samazinot datu apjomu un padarot modeļus, un ievades datus mazāk dator resursu ietilpīgus (Žagars & Gulbe 2023). Konvolūcijas neironu tīkli balstās uz datorredzes modeļa konvolūcijas slāņiem – dažādu pazīmju filtriem. Darbības pamatā ir lietotāja izvēlētu pazīmju filtra virzīšanu pāri attēliem, kas nosaka objektu pazīmju atrašanās vietu attēlā un izveido pazīmju kartes, kuras tiek apvienotas vienotā pazīmju kopā.

Kopumā, konvolūcijas neironu tīklam ir trīs būtiskas pazīmes, salīdzinot ar pilnībā sajūgtiem neironu tīkliem, kur arhitektūrā tiem ir konvolūcijas slānis, apkopojuma jeb pooling layer un savienojuma slānis jeb *Output layer*. Ja daudzslāņu perceptorā neironi ir divu dimensiju plaknē un neironi slāņos ir savienoti ar nākamā slāņa neironiem, tad konvolūcijā neironu tīklam (B) ir trīs dimensijas, kas ietver augstumu, dziļumu un platumu. Kā piemēru var minēt aerofoto, kur ievades attēlam ir trīs krāsu kanālu spektrs. Ja mēs izvēlēsimies 3×3 pikseļu laukumu vienā slānī, tad šī neironu savienojuma vērtība atbilst visiem trīs kanālu spektriem. Tas arī sniedz iespēju modelim detektēt objektu pazīmes jebkur attēlā, jo tiek fiksētas objektu pazīmes neatkarīgi no spektrālajām īpašībām vai novietojuma, bet gan pēc formām visa objekta dziļumā, visos krāsu spektros (Stanford-CS231 2024).

YOLO iestatījumiem un hiperparametriem ir izšķiroša loma modeļa veikspējā, ātrumā un precizitātē. Šie iestatījumi var ietekmēt modeļa uzvedību dažādos modeļa izstrādes procesa posmos, tostarp apmācībā, validācijā un prognozēšanā (Ultralytics S.a.) Apmācībai ir būtiski

trīs mainīgie – epochas, iterācijas un datu kopas izmērs. Apmācības modeļos tiek izmantoti cikli, kurus sauc par epochām. Procesa sākumā, modeļi veic apmācību ar nejaušām vērtībām, kuras sauc par svāriem jeb weights. Tie, apstrādājot ievades attēlus ar filtriem (kernels), iegūst pazīmes, kas raksturo pauguru formu visos detektētajos slāņos. Epoha ir viens pilns iterāciju cikls, kur katra iterācija atstāj iespaidu uz epochas radītajiem svāriem, bet definētais datu kopas izmērs katrā iterācijā nosaka cik attēli tiks izmantoti, lai veidotu iterācijas svarus (Riedmiller 2005). Katra epoha atkārtojas, sākot apmācības procesu no jauna, veidojot vidējo svērtu svaru kopu modelim. Tomēr modeļa apmācība ar pārāk daudz epochām var novest pie pārmērīgas pielāgošanas jeb overfitting, kur modelis atpazīst tikai apmācības datus un nespēj vispārināt uz jaunām teritorijām (Carter et al. 2021). Pārbaudot epochu ietekmi uz modeli, tika izvēlētas trīs epochu robežvērtības – 100, 300 un 900. Katrs modeļa veids no YOLOv8n līdz YOLOv8l tika apmācīts uz šīm epochām un standartizētas datu kopas. Apmācības procesā izmantoti standarta YOLOv8 modeļi no Ultralytics Git Hub (Ultralytics S.a), kur, ar jau apmācītiem modeļa svāriem, tika meklētas iezīmes, kas atbilst kokogļu dedzināšanas pauguriem. Iekļautie svāri ņemti no MS COCO apmācības bāzes (Lin et al. 2014). Šeit sāk parādīties arī hiperparametru nozīme, kur katru parametru varētu pielāgot tieši kokogļu pauguru kontekstam, bet šī pētījumā ietvaros tiks aplūkoti standarta modeļi, lai novērstu mainīgo vērtību skaitu, kas ietekmē rezultātu. Iegūto modeļu svāra koeficienti var tikt pārcelti uz citiem modeļiem, ja ir vēlme apmācīt uz lielākas datu kopas vai turpināt apmācību ar labākajiem svāriem no cita modeļa.

Izmantojot pakotnes *PyTorch* un *Ultralytics*, veikta YOLOv8modeļa konfigurācijas programmēšanas valodā Python 3.11.0 64-bit versijā. Veicot modeļu konfigurāciju, tiek piešķirti ievades parametri (Attēls 16).

```
from ultralytics import YOLO

# Load a YOLOv8model from a pre-trained weights file

model = YOLO("yolov8n.pt")

# Run MODE mode using the custom arguments ARGS (guess TASK)

model.MODE(ARGS)
```

Attēls 16. Skriptas. Funkcijas ievades parametru definēšana.

Skriptā parādīts, kā izvēlās apmācības YOLOv8 modeli ar definēto tīkla arhitektūru, veicamās darbības nosaka zem sadaļas TASKS, piemēram, detektēt, segmentēt vai klasificēt. Savukārt MODE definē darbību kādu YOLOv8 modelis veiks – detektēšanu, izsekošanu, segmentāciju, apmācību u.c. procesus. Šī pētījumā nolūkos MODE tiek definēts kā train un validate, kuri tiek pievienoti modeļa konfigurācijas failā, kopā ar ievades parametriem un definētajiem ceļiem līdz ievades datiem. Šis tiek paveikts izmantojot .yaml paplašinājuma failu.

Veicot apmācību tika izmantoti standarta modeļu ievades parametri ar pāris izmaiņām. Tas g.k. skar apmācības epohu skaitu, kur modelim var definēt pārtraukt apmācību, kad pēdējo 100 epohu laikā nav uzlabots esošais rezultāts. Šāds ievades parametrs parādītu datus savā starpā objektīvi nesalīdzināmus, tāpēc mainīgā vērtība patience tika iestatīta uz 0, lai modelis nepārtrauktu apmācību. Iegūtais rezultāts ir apmācīts modelis ar labākajiem apmācības svariem un konfigurācijas failu .yaml formātā.

Datu apstrādē būtiska arī ir izmantotā sistēma, precīzāk, pieejamie datoru resursi. Šī pētījuma ietvaros tika izmantots Intel(R) Core(TM) i7-8700K CPU ar 3.70GHz, 64.0 GB RAM atmiņa ar NVIDIA GeForce RTX 3080. Šī sistēma ietver GPU ar nozīmīgiem 10 GB VRAM, kas tika izmantoti, lai paātrinātu apmācības procesu.

Visu apmācības modeļu labākie svāri tiks izmantoti, lai veiktu detektēšanu Valkas un Daugavpils apkārtnē. Veicot modeļu apmācību ir būtiski definēt apmācības kopu. Lai veiktu salīdzināšanu starp dažādiem modeļu veidiem, tika izveidota datu kopa, izmantojot 684 attēlus, kur apmācībai pielietoti 582 attēli, bet 102 attēli tika atstāti validācijai. No apmācības kopas 287 attēlos bija manuāli fiksēti pauguri pēc (Hirsch et al. 2020, Bonhage et al. 2021, Raab et al. 2022), bet 295 bija fons. Kopumā apmācības materiālos bija 1348 paugurs, bet validācijas attēlos bija 626 pauguri, kopskaitā veidojot 1974 paugurus no manuāli detektētajiem 4634 pauguriem. Kokogļu dedzināšanas pauguri klasificēti kā 0 klase un tiem piešķirts nosaukums RCH (*Relict charcoal hearths*).

Secinājumi

Veicot padziļinātu literatūras analīzi par paugura formu, izskatu un izplatības areāliem, kā arī aprobējot potenciālos kokogļu izplatības areālus, tika veikta objektu manuāla kartēšana modeļa apmācības vajadzībām. Kopumā pētījuma gaitā tika ievākti 4634 pauguri, no kuriem 1973 pauguri izmantoti modeļa apmācībai un validācijai. Balstoties uz analīzes rezultātiem par pauguru novietojumu, tie galvenokārt atrodas silos, mētrājos un lānos, kur dominē priedes un egles uz smilts cilmieža – vQ4 eoliem nogulumiem, glQ3ltvb smilts nogulumiem, kā arī uz vQ3ltv smilts nogulumiem.

Savstarpēji salīdzinot reljefa modeļa atvasinājumus, augstāko vidējo svērto precizitāti (mAP50) bija iespējams iegūt ar kalna ēnojumu, kam piešķirts daudzpusīgais apgaismojums un pārspīlēts reljefs (HS MULTI). Šim modelim iegūtie rezultāti mAP50, savā starpā sverot precizitāti un pārklājumu, bija 0.825 pie KpS robežas 0.5, kas arī sekmēja reljefa modeļa atvasinājuma izmantošanu tālākajā pētījuma gaitā.

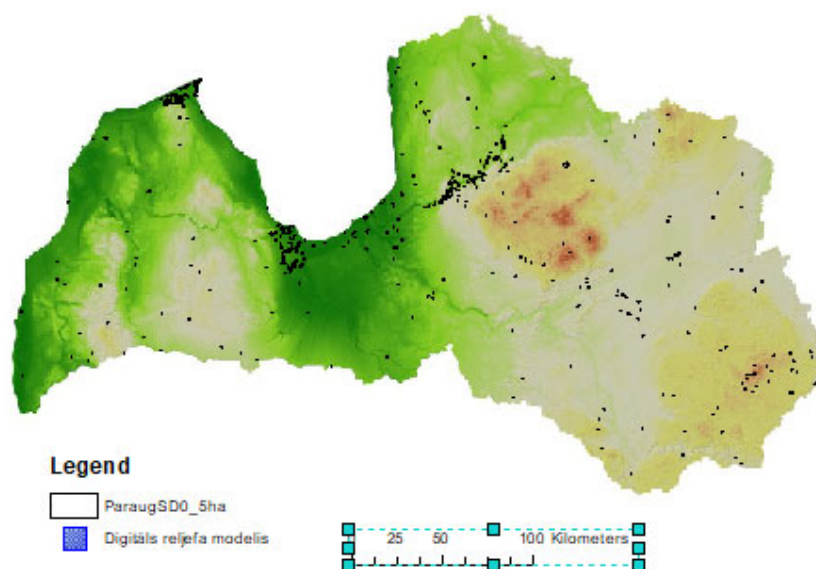
Kopumā, salīdzinot izmantoto modeļu veikspēju, apmācību posmā iegūtais labākais modelis bija YOLOv8m, apmācīts uz 100 epohām, sasniedzot augstākos mAP50 (0.805) un nMCC (0.390) rādītājus. Valkas pētījuma teritorijā labākais modelis bija YOLOv8l, apmācīts uz 300 epohām, ar augstāko nMCC (0.452) un sasniedza summāru rādītāju 18.51 no 30 punktiem, bet, detektējot paugurus Daugavpilī, labāko rezultātu sniedza modelis YOLOv8l, apmācīts uz 100 epohām, ar augstāko nMCC (0.360) un summāru rādītāju 15.41 no 30 punktiem.

Labākais modelis kokogļu dedzināšanas pauguru detektēšanai reljefa modeļu atvasinājumos, pēc visu rādītāju summas, ir YOLOv8l, apmācīts uz 300 epohām. Vissliktāko rezultātu kopsummā uzrādīja YOLOv8m, apmācīts uz 300 epohām. Tas liek noprast, ka balstīt pieņēmumu par modeļa spējam detektēt paugurus tikai no apmācības posma rezultātiem ir neobjektīvi. Tikai veicot padziļinātu analīzi ar praktiskiem piemēriem ārpus apmācības kopas, var iegūt pārliecinošus rezultātus labākā modeļa definēšanai.

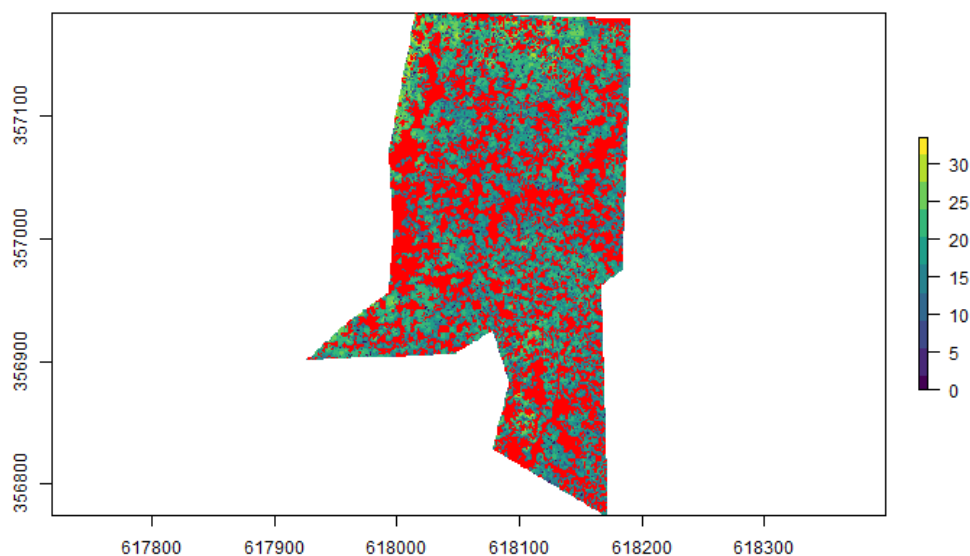
Pāraugušu mežaudžu telpiskā struktūra

Datu apstrādes metodes

No meža valsts reģistra datiem atlasīti nogabali, kuri atbilst pāraugušu audžu grupai, un kuros, nav reģistrēta saimnieciskā darbība. No šīs datu kopas atlasītas audzes, kuru platība pārsniedz 5 ha un kurās nav reģistrēti ceļi vai grāvji (skat. Attēls 17). Kopumā tika atlasītas 867 mežaudzes. To piederība kādam no ES aizsargājamiem biotopiem atlasīta no datu bāzes “Ozols” tika atlasīta divos variantos. Pirmajā variantā par audzēm ar ES aizsargājamo biotopu ieskatīti tādi nogabali, kuros atrodas kāda vismaz 2 ha liela ES aizsargājamā biotopa poligons. Otrajā variantā atlasīti tādi nogabali, kuros atrodas ES aizsargājamā biotopa vismaz 2 ha poligona lielākā daļa. Datu atlase veikta QGIS3.34 vidē. Katram nogabalam izmantojot no LGIA .LAS datiem ģenerēta vainagu klāja modeļa CHM ar 2×2 m pikseļa lielumu. Pēc tam atbilstoši poligoniem izvēloties atvērumus, kuru lielums pārsniedz 6 m^2 , un kuros augstums ir mazāks par 10 m, izmantojot ‘ForestGapR’ rīku programmā R, aprēķināts katrā nogabalā esošo atvērumu skaits, lielums un telpiskais izvietojums (skat. piemēru Attēlā 18).



Attēls 17. Pētījumā izmantoto pāraugušo audžu, kuru platība lielāka par 5 ha izvietojums Latvijā.



Attēls 188. Pāraugušo audzes atvērumu telpiskā izvietojuma piemērs.

Kopumā pēc pirmā dalījuma veida 130 audzēs konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops un 737 audzes bija bez šādiem biotopiem, savukārt pēc otrā dalījuma veida 697 audzes bija ar ES aizsargājamo biotopu un 170 audzes bez biotopa. Audžu skaita sadalījums dažādās salīdzinātajās grupās apkopots 5. un 6. tabulās. Lai novērtētu, vai pastāv statistiski būtiskas R un λ vērtību atšķirības starp dažādiem Eiropas Savienības aizsargājamiem biotopiem, veikts *Kruskal-Wallis* tests, un, lai noskaidrotu, starp kuriem tieši biotopiem vērojamas būtiskas atšķirības, veikts Vilkoksona tests neatkarīgām paraugkopām. Vilkoksona tests neatkarīgām paraugkopām veikts arī, lai novērtētu, vai pastāv statistiski būtiskas R un λ vērtību atšķirības valdošās koku sugas un meža tipu grupās atkarībā no tā, vai audzē ir vai nav konstatēts Eiropas Savienības aizsargājamais biotops. Šajā analīzē tika iekļauti tikai tās valdošo koku sugu un meža tipu grupas, kurās bija vismaz 5 audzes gan ar, gan bez ES aizsargājamiem biotopiem (kopumā šādas bija 10 valdošās koku sugas un meža tipa grupas pēc pirmā ES aizsargājamo biotopu dalījuma veida: 1-1, 1-2, 1-24, 1-3, 1-4, 4-10, 4-15, 4-24, 4-25 un 4-5; Tabula 6).

Tabula 5. Audžu skaita sadalījums pa dažādiem ES aizsargājamiem biotopiem

ES aizsargājamais biotops	Biotopa kods	Audzū skaits pēc pirmā dalījuma veida	Audzū skaits pēc otrā dalījuma veida
Mežainas piejūras kāpas	2180	13	118
Veci vai dabiski boreāli meži	9010*	44	223
Veci jaukti platlapju meži	9020*	10	42
Sugām bagāti egļu meži	9050	15	70
Skujkoku meži uz osveida reljefa formām	9060		2
Stagnāju meži	9080*	15	61
Ozolu meži (ozolu, liepu un skābaržu meži)	9160	1	11
Nogāžu un gravu meži	9180*	8	38
Purvaini meži	91D0*	12	46
Aluviāli meži	91E0*	9	71
Jaukti ozolu, gobu, ošu meži gar lielām upēm	91F0	2	5
Baltie sili	91T0	1	

Tabula 6. Audžu ar un bez ES aizsargājamiem biotopiem skaita sadalījums pa valdošās koku sugas un meža tipa grupām

Valdošā koka suga	Meža tips	Grupas kods	Audžu skaits ar vai bez ES aizsargājamā biotopa			
			Pirmais dalījuma veids		Otrais dalījuma veids	
			Bez	Ar	Bez	Ar
Priede	Sils	1-1	42	7	0	49
Priede	Mētrājs	1-2	55	6	2	59
Priede	Lāns	1-3	51	8	2	57
Priede	Damaksnis	1-4	65	12	6	71
Priede	Slapjais mētrājs	1-8	7	0	0	7
Priede	Slapjais damaksnis	1-9	3	2	0	5
Priede	Purvājs	1-12	4	1	0	5
Priede	Niedrājs	1-14	8	2	0	10
Priede	Šaurlapju ārenis	1-19	2	0	0	2
Priede	Viršu kūdrenis	1-22	2	0	0	2
Priede	Mētru kūdrenis	1-23	3	4	0	7
Priede	Šaurlapju kūdrenis	1-24	15	5	0	20
Egle	Damaksnis	3-4	22	3	0	25
Egle	Vēris	3-5	16	2	0	18
Egle	Gārša	3-6	3	1	0	4
Egle	Slapjais damaksnis	3-9	2	0	0	2
Egle	Slapjais vēris	3-10	1	2	0	3
Egle	Dumbrājs	3-15	2	0	0	2
Egle	Šaurlapju ārenis	3-19	2	0	0	2
Egle	Platlapju ārenis	3-21	3	0	0	3
Egle	Šaurlapju kūdrenis	3-24	4	2	0	6
Egle	Platlapju kūdrenis	3-25	1	1	0	2
Bērzs	Damaksnis	4-4	20	1	1	20
Bērzs	Vēris	4-5	23	7	4	26
Bērzs	Gārša	4-6	1	0	0	1
Bērzs	Slapjais damaksnis	4-9	3	3	2	4
Bērzs	Slapjais vēris	4-10	14	8	1	21
Bērzs	Slapjā gārša	4-11	4	1	0	5
Bērzs	Niedrājs	4-14	34	3	16	21
Bērzs	Dumbrājs	4-15	31	6	10	27
Bērzs	Šaurlapju ārenis	4-19	3	1	1	3
Bērzs	Platlapju ārenis	4-21	13	3	0	16
Bērzs	Mētru kūdrenis	4-23	3	1	3	1
Bērzs	Šaurlapju kūdrenis	4-24	11	5	5	11
Bērzs	Platlapju kūdrenis	4-25	17	5	1	21
Melnalksnis	Gārša	6-6	3	1	0	4
Melnalksnis	Slapjais damaksnis	6-9	0	1	0	1
Melnalksnis	Slapjais vēris	6-10	10	1	0	11
Melnalksnis	Slapjā gārša	6-11	2	0	0	2
Melnalksnis	Dumbrājs	6-15	14	1	0	15
Melnalksnis	Liekņa	6-16	2	1	0	3
Melnalksnis	Platlapju ārenis	6-21	4	4	0	8
Melnalksnis	Platlapju kūdrenis	6-25	5	1	0	6
Apse	Damaksnis	8-4	6	0	1	5
Apse	Vēris	8-5	32	2	16	18
Apse	Gārša	8-6	8	3	2	9
Apse	Slapjais damaksnis	8-9	2	0	0	2
Apse	Slapjais vēris	8-10	2	0	1	1
Apse	Šaurlapju ārenis	8-19	1	1	0	2
Apse	Platlapju ārenis	8-21	2	0	0	2

Baltalksnis	Lāns	9-3	0	1	0	1
Baltalksnis	Damaksnis	9-4	9	0	6	3
Baltalksnis	Vēris	9-5	90	3	68	25
Baltalksnis	Gārša	9-6	6	2	3	5
Baltalksnis	Slapjais damaksnis	9-9	1	0	1	0
Baltalksnis	Slapjais vēris	9-10	8	0	5	3
Baltalksnis	Dumbrājs	9-15	0	1	0	1
Baltalksnis	Šaurlapju ārenis	9-19	1	0	0	1
Baltalksnis	Platlapju ārenis	9-21	11	0	10	1
Ozols	Damaksnis	10-4	1	0	0	1
Ozols	Vēris	10-5	4	0	0	4
Ozols	Gārša	10-6	4	1	0	5
Osis	Gārša	11-6	7	2	1	8
Osis	Platlapju kūdrenis	11-25	1	0	0	1
Liepa	Vēris	12-5	2	0	0	2
Liepa	Gārša	12-6	2	0	0	2
Lapegle	Vēris	13-5	1	0	1	0
Lapegle	Gārša	13-6	1	0	0	1
Goba/vīksna	Gārša	16-6	1	0	0	1
Papele	Gārša	19-6	0	1	0	1
Vītols	Damaksnis	20-4	3	0	0	3
Blīgzna	Damaksnis	21-4	0	1	0	1
Blīgzna	Slapjais vēris	21-10	1	0	1	0

Rezultāti

Pēc pirmā dalījuma veida

Starp objektiem, kuros konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops, statistiski būtiskas R vērtību atšķirības bija starp tādiem biotopiem kā 9180* un 2180* ($p=0,032$), 9180* un 9010* ($p=0,034$), 9180* un 9020* ($p=0,033$). Konkrētajos mežu biotopos vidējās R vērtības bija 0,82 (9010*), 0,87 (9020*) un 0,63 (9180*), tātad nogāžu un gravu mežos konstatēta lielāka atvērumu grupēšanās. Tomēr R vērtība bija mazāka par 1 gandrīz visās audzēs, kurās konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops (izņēmumi p116-1-4, p120-1-3, p180-1-1, p34-1-9, p470-3-24, p561-1-4, p570-1-3 un p842-1-2), tātad mežā esošajiem atvērumiem raksturīga grupēšanās. Savukārt λ vērtības nebija statistiski būtiski atšķirīgas starp dažādiem Eiropas Savienības aizsargājamiem biotopiem, turklāt visās audzēs šī vērtība bija mazāka par 2, kas norāda, ka audzēs vērojami lielāka izmēra atvērumi.

Atsevišķi pa mežu tipiem un pēc valdošās koku sugas salīdzinot audzes, kurās ir konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops ar audzēm, kur šādi biotopi nav konstatēti, statistiski būtiskas R vērtības atšķirības tika konstatētas priežu silā ($p=0,048$) un bērzu dumbrājā ($p=0,001$), precīzāk, silos bez ES aizsargājamiem biotopiem ir vērojama lielāka atvērumu grupēšanās nekā silos ar ES aizsargājamiem biotopiem, savukārt pretēja tendence vērojama, salīdzinot bērzu dumbrājus ar un bez ES aizsargājamiem biotopiem. Savukārt λ vērtības mežos ar un bez ES aizsargājamiem biotopiem bija būtiski atšķirīgas priežu mētrājos ($p=0,043$) un bērzu slapjajā vērī ($p=0,042$).

Pēc otrā dalījuma veida

Starp objektiem, kuros konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops, statistiski būtiskas R vērtību atšķirības bija starp biotopu 9010* un biotopiem 2180 ($p<0,001$), 9080 ($p=0,026$), 9180 ($p<0,001$), 91D0 ($p<0,001$), 91E0 ($p<0,001$), kā arī starp 9180 un 9050 ($p=0,022$). No šiem biotopiem vidējā R vērtība skaitliski vislielākā bija biotopā 9010*,

proti $R = 0,86$, kas norāda, ka šajā biotopā atvērumu grupēšanās ir mazāka nekā citos biotopos. Tomēr R vērtība bija mazāka par 1 gandrīz visās audzēs, kurās konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops (izņēmumi p116-1-4, p120-1-3, p180-1-1, p34-1-9, p470-3-24, p561-1-4, p570-1-3 un p842-1-2), tātad mežā esošajiem atvērumiem raksturīga grupēšanās. Savukārt λ vērtībām statistiski būtiskas atšķirības bija tikai starp 9010 un 2180 ($p < 0,001$), 91D0 un 9010 ($p = 0,030$), kur abos gadījumos λ vērtība bija lielāka biotopā 9010. Atsevišķi pa mežu tipiem un pēc valdošās koku sugas salīdzinot audzes, kurās ir konstatēts kāds Eiropas Savienības aizsargājamais biotops ar audzēm, kur šādi biotopi nav konstatēti, statistiski būtiskas R un λ vērtību atšķirības netika konstatētas nevienā no valdošās koku sugas un meža tipa grupām.

Ūdensteču aizsargjoslu vēsturiskās attīstības izpēte

Ūdensteču aizsargjoslas kā arī citi atsevišķi objekti, platības, kuras izveidotas ar dažādu mērķi, motivāciju, laika gaitā kalpojuši kā nosacīti vēsturisko mežu teritoriju fiksācija, saglabājot šīs teritorijas ārpus ikdienas mežsaimnieciskās darbības. Ir nozīmīgi tās apzināt un konstatēt vēlāku šo teritoriju attīstību vai arī saglabāšanos šobrīd kā ilglaicīgāku vēsturisko mežu plankumu (patch) esamību ainavā.

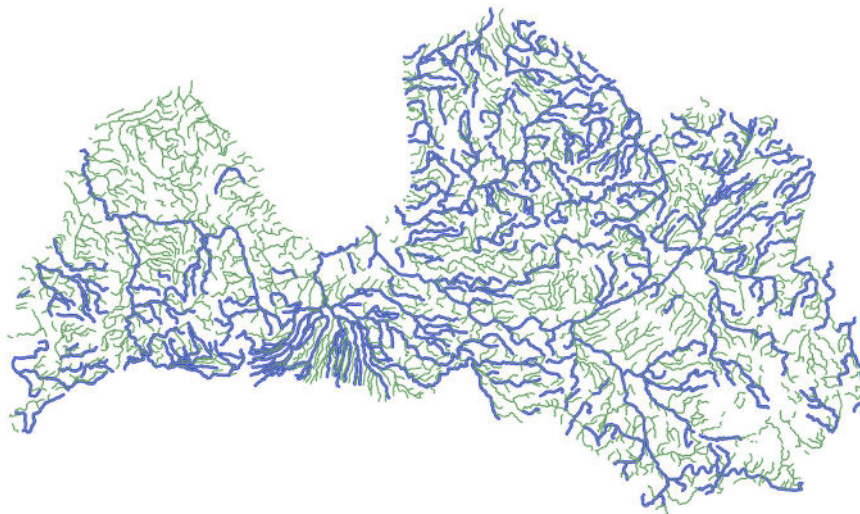
Darba izklāsts

Seno mežu teritoriju atlasei, šī brīža nokartēto meža biotopu veidošanās un attīstības izpētē noderīga informācija par iepriekšējo periodu, meža apsaimniekošanas likumdošanas, normatīvu kontekstā, ierobežojumiem vai īpašiem, ārpus konkrētā brīža vispārējai mežsaimnieciskai darbībai, meža apsaimniekošanas noteikumiem. Šādas teritorijas 1980. gados (LMU, 1987) tika izvērtētas mežos lašveidīgo zivju nārstošanas upju malās.

- Pārfotografēti 659 arhīva kartītes.
- Katalogizēti upju, ezeru nosaukumi.
- Katalogizētā tabula apvienota ar USIK datu bāze.

Datu analīze

Datu apkopošanai izmantota BIOR izpētes projekta laikā sagatavota ūdensteču datu bāze, kuras pamatā ir topogrāfiskās kartes M 1 : 10000. Dati apstrādāti, nodrošinot ūdensteču atbilstību digitālajam reljefa modelim, savienoti tīklā, kas nodrošina baseinu, noteces korektu analīzi. Dati pieejami BIOR projektu mājas lapā.



Attēls 19. Aizsargjoslu arhīvā uzskaitītās ūdensteces.

Aizsargu meži

Aizsargu mežu koncepcija kā teritorijas, kurām ir citādāka, daļēji saudzējoša apsaimniekošana, tika izveidota 1920. gadu beigās, iekļaujot nosacījumus meža inventarizācijas instrukcijās (Attēls 20, Attēls 21). Atbilstoši tai aizsargu meži ir (bija) meža novadi, meža nogabali vai krūmāji, kas īpaši izceļas ar savu nozīmīgo lomu vides aizsardzībā. Tie pilda dažādas funkcijas, piemēram, satur un ierobežo plūstošās smiltis, novēršot to tālāku izplatīšanos gar jūras, ezeru, upju un kanālu krastiem, kā arī aizsargā no plūstošām smiltīm apdraudētās apdzīvotās vietas, dzelzceļus, šosejas, lielceļus un saimniecības veida zemes. Turklāt tie ietver tos meža un krūmāju nogabalus, kuru izciršana var izraisīt plūstošu smilšu veidošanos un attīstīšanos. Šie meži arī aizsargā grāvjus, upju, kanālu, ezeru un jūras krastus, kā arī piekrastes no izskalojumiem un iebrukšanas. Jāuzsver, ka zemju nogabali ar plūstošām smiltīm un no ūdens izskalojamiem grāvjiem, upēm un ezeru krastiem tiek uzskatīti par aizsargājamiem neatkarīgi no tā, vai tie ir apauguši ar mežu vai ne.

Kā otra īpaši apsaimniekojama mežu teritoriju sadaļa pirmskara laikā bija dabas pieminekļi, kas ir (bija) īpaši meža nogabali un krūmi, kas izceļas ar savu vēsturisko nozīmi, estētisko skaistumu vai zinātnisko vērtību. Tie var būt vērtīgi arī tajos sastopamo reto koku sugu dēļ, un tie ir uzturami dabiskos apstākļos, lai saglabātu to īpašo un unikālo raksturu. Šie objekti ne tikai bagātina dabas daudzveidību, bet arī sniedz zinātniskas un kultūras vērtības.

Parki un alejas ietver teritorijas, kas kalpo kā ainavas elementi un vienlaikus pilda meža nogabalu estētiskās un sanitārās funkcijas. Tie ir izveidoti, lai apmierinātu vietējo iedzīvotāju intereses, nodrošinot atpūtas un dabas baudīšanas iespējas. Šīs teritorijas tiek uzturētas tā, lai maksimāli saglabātu to ainavisko vērtību un dabisko skaistumu, vienlaikus, cik iespējams, radot arī materiālo vērtību.

Aizsargu meži.	Par aizsargu mežiem sauc tādus meža novadus vai meža nogabalus, kā arī krūmājus, kas: 1) satur plūstošas smiltis un aiztur pēdējo tālāku izplatīšanos gar jūras, ezeru, upju un kanālu krastiem; 2) aizsargā no plūstošām smiltīm apdraudētās apdzīvotās vietas, dzelzceļus, šosejas, lielceļus un visādas saimniecības veida zemes, kā arī tie meža un krūmāju nogabali, kuŗu izciršana var sekmēt plūstošu smilšu izcelšanos un attīstīšanos un 3) aizsargā grāvju, upju, kanālu, ezeru un avotu krastus un piegāves no izskalošanas un iebrukšanas. Piezīme: Zemju nogabali ar plūstošām smiltīm un no ūdens izskalojamiem grāvju, upju un ezeru krastiem uzskatāmi par aizsargu nogabaliem, neskatoties uz to, vai tie apauguši ar mežu vai ne.
Par dabas pieminekļiem sauc tādus meža nogabalus, kuŗus, to vēsturiskās nozīmes, skaistuma, zinātniskās vērtības, vai tanīs sastopamo retu koku sugu dēļ, vēlams uzglabāt dabiskos apstākļos. Zem nosaukuma „parki un alejas” jāsaprot kā parki un alejas tiešā nozīmē, tā arī tie meža nogabali — meža parki, kuŗu uzdevums ir kalpot vietējo iedzīvotāju estētiskām un sanitārām interesēm, nesamazinot caur to pēc iespējas, arī materiālo vērtību ražošanu.	Dabas pieminekļi. Parki un alejas.

Attēls 20. 1923. gada mežu ierīcības instrukcija.

Saudzējamie meži.	Saudzējamiem mežiem, neatkarīgi no īpašuma veidiem un platības, pieskaitāmi: 1) meži un krūmāji, kas satur plūstošas smiltis vai neļauj tām tālāk izplatīties, aizsargā no plūstošām smiltīm apdraudētās apdzīvotās vietas, satiksmes ceļus un visāda veida izmantojamās zemes, kā arī aizsargā gravu un ūdeņu krastus un piegāzes no izskalošanas un iebrukšanas; 2) meži un krūmāji, kas saudzējami valsts stratēģiskiem vai sabiedrisko interešu aizsardzības nolūkiem.
Dabas pieminekļi un parki.	Dabas pieminekļiem un parkiem pieskaitāmi tādi meža novadi vai gabali, kā arī vietas, apstādījumi un atsevišķi koki, kas savas vēsturiskās nozīmes, krāšņuma, zinātniskās vērtības vai tur sastopamo reto augu un dzīvnieku sugu dēļ uzglabājami dabiskos apstākļos.

Attēls 21. 1938. gada mežu ierīcības instrukcija.

Aizsargājamo mežu, dabas pieminekļu, parku un aleju noteikšanas un izmantošanas kārtība tika definēta, nodrošinot īpašu aizsardzību un pārvaldību šīm teritorijām. Privātpersonas un iestādes ierosinājumus par mežu novadu, kā arī ar kokiem apaugušu vai apstādītu platību iekļaušanu aizsargājamo teritoriju sarakstā iesniedza vietējiem virsmežziņiem. Virsmežziņi sagatavoja aprakstus un skices divos, norādot robežas un aptuveno platību, pēc tam šie dokumenti tika nosūtīti Mežu departamentam. Pēc aizsargājamo objektu apstiprināšanas un publicēšanas “Valdības Vēstnesī”, Mežu departaments nodrošināja, ka apstiprinātās skices tiek nosūtītas virsmežziņiem, kuri vienu no tām nodod attiecīgā aizsardzības objekta apsaimniekotājam, kā arī robežas tiek apzīmētas dabā.

Aizsargājamo mežu izmantošana tika regulēta saskaņā ar Zemkopības ministrijas izstrādātiem plāniem, un līdz to apstiprināšanai šajās teritorijās bija aizliegts cirst un bojāt augošus kokus, laužt celmus, pārveidot meža zemi citāda veida zemē, ganīt lopus neapmežotās

platībās, kultūrās un jaunaudzēs, kas nav sasniegušas 10 pēdu augstumu, ganīt kazas un kurināt uguni no 1. maija līdz 15. septembrim.

Dabas pieminekļos, parkos un alejās bija atļauta sausu, kritušu un vēja gāztu koku izmantošana, lopkopība, zāles pļaušana un citu veidu blakus izmantošana, ko nosaka vietējais virsmežzinis saskaņā ar meža aizsardzības likumu. Tomēr, lai cirstu augošus un ilgtspējīgus kokus, bija nepieciešama Mežu departamenta atļauja.

Saudzes kvartāli virsmežniecību shēmās

Saudzējamo meža teritoriju izveidošanas aktualitāte un nepieciešamība Latvijā izvirzījās 1970. gadu sākumā, kad 1967. un 1969. gada vētras iznīcināja $\frac{1}{3}$ Latvijas mežu platības, radot nopietnus zaudējumus un veicinot sekundāro mežu izplatību, kas samazināja meža ekosistēmas stabilitāti. Šī problēma aktualizēja nepieciešamību izveidot reprezentatīvu saudzējamo meža teritoriju tīklu, kura mērķis bija saglabāt ekosistēmu daudzveidību, uzlabot meža bioloģiskās pašregulācijas spējas un aizsargāt retas sugas un unikālas ainavas. Tika analizētas citu valstu pieredzes, piemēram, Vācijas, Šveices un Austrijas, kur šādas sistēmas jau bija ieviestas.

Saudzējamo meža teritoriju izvēles kritēriji balstījās uz minimālu cilvēka ietekmi, kas ietvēra vecu un maz izmainītu meža struktūru, pietiekamu platību dabiskās regulācijas nodrošināšanai (parasti vairāki desmiti hektāru) un bioloģisko daudzveidību ar raksturīgām ainavu iezīmēm. Īpaša uzmanība tika pievērsta reto augu un dzīvnieku sugu saglabāšanai.

Meža ekosistēmu vērtība tika uzsvērtā arī K. Meldera darbos, kas norādīja, ka mežs ir ne tikai materiāls, bet arī garīga vērtība, kuras iznīcināšana var būtiski samazināt biosfēras pašregulācijas spējas. Tādēļ ilgtspējīga resursu izmantošana ir būtiska.

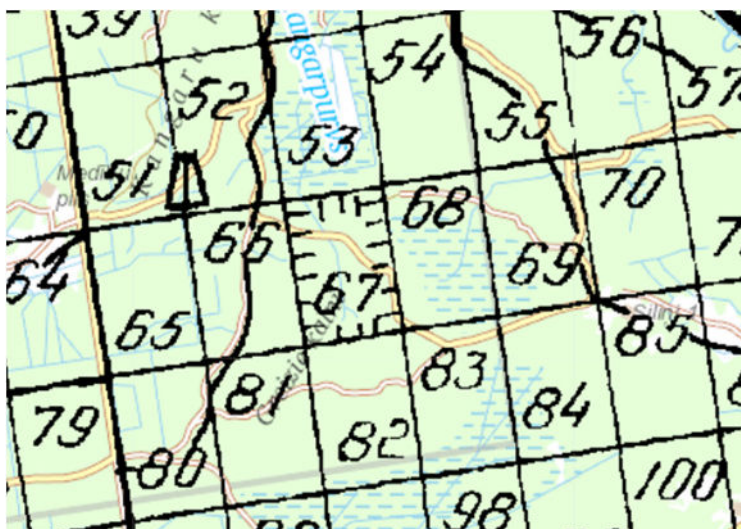
Saudzējamo teritoriju funkcijas un uzdevumi ietver ekosistēmu saglabāšanu un zinātnisko izpēti, kā arī bioloģiskās daudzveidības nodrošināšanu. Galvenais mērķis ir sasniegt augstu reprezentatīvu meža platību īpatsvaru, lai efektīvi saglabātu dabas vērtības.

Salīdzinājums ar citu valstu pieredzi, piemēram, Bavārijas mežiem un Šveices aizsargātajām teritorijām, parāda, ka šīs valstis ir izveidojušas saudzējamas teritorijas, kas aizņem ievērojamu meža platību daļu un nodrošina efektīvu dabas aizsardzību. Latvijas pieredzes veidošanā tika izmantoti šie paraugi, lai nodrošinātu ilgtspējīgu pieeju meža resursu pārvaldībā.

Šāda pieeja būtu izmantojama arī seno, ilgmūžīgo meža teritoriju atlasē un izvēlē, lai mērķis būtu ne tikai platība, bet arī dažādu dzīvotņu, meža struktūru, vēsturisko mežsaimniecisko darbību liecību pārstāvības daudzveidība.

Saudzes kvartāli tika fiksēti taksācijas aprakstos kā arī sagatavoti kopsavilkumi par piederību meža tipiem, ainavzemēm. Piederība ainavzemēm metodiskajā pieejā nozīmīga, jo atlase netika veidota pēc platībām, matemātiski un statistiski, bet izvērtējot valsts pārstāvniecību. Dati atspoguļoti arī kvartālu shēmās (Attēls 22).

Pētījuma ietvaros digitalizēts saudzes kvartālu pārskats, uzskaitījums.



Attēls 22. Saudzes kvartāls virsmežniecību shēmā.

1980-to un 1990-to gadu aizsargājamie objekti daļēji izvērtēti un pārgājuši citās aizsardzības kategorijās, vienlaicīgi daļa šo teritoriju vēsture vēl nav izvērtēta.

Objekti, kuri izvērtēti un pārgājuši citās kategorijās:

- Meža puduri,
- Meži gravu nogāzēs,
- Meži gar upju vai ezeru krastiem,
- Medņu riestu meži,
- Ģenētisko rezervātu meži,
- Zinātnisko pētījumu objekti un meža monitoringa punkti,
- Parki un dendroloģiskie stādījumi,
- Citi parki un dendroloģiskie stādījumi,
- Citu aizsargājamu ainavu meži,
- Ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko liegumu meži,
- Citu aizsargājamo ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko objektu meži,
- Audzes ar izciliem kokiem,
- Aizsargājami dižkoki, dižkoki, svešzemju, īpatnēji un kultūrvēsturiski koki,
- Citi aizsargājami dižkoki, dižkoki, svešzemju, īpatnēji un kultūrvēsturiski koki,
- Aizsargājamu augu un dzīvnieku meža biotopi,
- Kultūras pieminekļu meži.

Likvidēti:

- Meži gar autoceļiem,
- Meži gar platsliežu dzelzceļiem,

- Ūdens vai vēja erozijas apdraudēti meži,
- Meži ap ārstniecības iestādēm un avotiem,

Nav izvērtēti:

- Meži ap aizsargājamiem dzirnavu dīķiem,
- Meži ap citām aizsargājamām ūdenskrātuvēm,
- Segaudzes,
- Saudzes kvartāli,
- Audzes – etaloni.

Veco mežu integrācijas likumdošanā perspektīvas

Integrējot senos mežus meža apsaimniekošanā, kontekstā ar ES likumdošanu, būtu lietderīgi apsvērt šādus priekšlikumus:

- Veco mežu aizsardzības prioritizēšana:
 - Identificēt un apzināt vecos mežus kā īpašas aizsardzības teritorijas, saskaņā ar ES Biotopu direktīvu (92/43/EEC), un iekļaut tos Natura 2000 tīklā;
 - Izveidot veco mežu karšu datubāzi, kas būtu pieejama apsaimniekotājiem un lēmumu pieņēmējiem, lai plānošanā tiktu ievērots to statuss.
- Ilgtspējīgas apsaimniekošanas vadlīnijas:
 - Izstrādāt specifiskas vadlīnijas, kā apsaimniekot vecos mežus, lai līdzsvarotu dabas aizsardzību un saimniecisko darbību;
 - Iekļaut prasības, kas aizsargā bioloģisko daudzveidību un veco mežu īpašās ekosistēmas.
- Iekļaušana nacionālajos mežu plānos:
 - Integrēt vecos mežus nacionālajos, īpašnieku meža apsaimniekošanas un attīstības plānos, pamatojoties uz ES Zaļā kursa prasībām un Meža stratēģiju;
 - Nodrošināt veco mežu apsaimniekošanas plānu regulāru pārskatīšanu, saskaņojot ar jaunākajiem ES tiesību aktiem.
- Kompensāciju mehānismi privātajiem īpašniekiem:
 - Nodrošināt kompensācijas mehānismus vai subsīdijas veco mežu īpašniekiem par ierobežotu saimniecisko darbību;
 - Stimulēt dalību ES finansētos projektos, piemēram, LIFE programmas ietvaros, lai veicinātu dabas aizsardzību.
- Uzraudzības un monitoringa sistēmas ieviešana:
 - Izveidot uzraudzības sistēmu veco mežu aizsardzībai un apsaimniekošanai, lai novērtētu ES regulējumu ieviešanas efektivitāti;
 - Iekļaut satelītdatu un citu digitālo rīku izmantošanu, lai regulāri atjauninātu veco mežu stāvokļa datus.
- Iesaistīto pušu informēšana un līdzdalība:

- Rīkot regulāras konsultācijas ar meža īpašniekiem, sabiedrību un zinātniekiem par veco mežu apsaimniekošanu;
- Izglītēt meža apsaimniekotājus par ES likumdošanas prasībām un veco mežu nozīmi.
- Apsaimniekošanas metožu pielāgošana klimata pārmaiņām:
 - Veco mežu apsaimniekošanas stratēģijās ņemt vērā klimata pārmaiņu ietekmi, tostarp plūdu, sausuma un ugunsgrēku riska samazināšanas pasākumus;
 - Veicināt dabas procesiem pielāgotu mežsaimniecību, lai uzturētu veco mežu ekoloģisko stabilitāti.

Uzdevumi nākamajam pētījumu posmam

Turpmāko pētījumu prioritārie jautājumi ir šādi:

- Kādus mežus sauksim par seniem Latvijas gadījumā: vai tos, kas iegūti kartēšanas rezultātā, vai arī definējot pirms kartēšanas?
- Senais mežs un Eiropas Ainavu konvencija.
- Latvijas mežu reģionalizācija pēc seno mežu sastopamības/matricas un šo reģionu mainība dažādos laika posmos. Vai vēsturiski mazmežainos reģionos būs ‘senie meži’ (*ancient forest*), bet vēsturiski mežainajos – ‘ilgi-augoši meži’ (*old-growth*)?

Atbilstoši pētījumu virzieniem tiks izstrādāts detalizēts darba uzdevumu apraksts.

Izmantotā literatūra

- Alvi, F. 2023. Deep Learning For Computer Vision: Essential Models and Practical Real-World Applications. OpenCV . URL: www.opencv.org (accessed: 2.05.2024).
- Bellemare, J., Motzkin, G., Foster, D.R. 2002. Legacies of the agricultural past in the forested present: an assessment of historical land-use effects on rich mesic forests. *Journal of Biogeography*, 29(10-11): 1401–1420.
- Bergès, L., Dupouey, J.L. 2021. Historical ecology and ancient forests: Progress, conservation issues and scientific prospects, with some examples from the French case. *Journal of Vegetation Science*, 32(1): e12846.
- Bonhage, A., Eltaher, M., Raab, T., Breuß, M., Raab, A., Schneider, A. 2021. A modified Mask region-based convolutional neural network approach for the automated detection of archaeological sites on high-resolution light detection and ranging-derived digital elevation models in the North German Lowland. *Archaeological Prospection* 28(2): 177–186.
- Bonhage, A., Hirsch, F., Raab, T., Schneider, A., Raab, A., Ouimet, W. 2020a. Characteristics of small anthropogenic landforms resulting from historical charcoal production in western Connecticut, USA. *Catena*, 195: 104896.
- Brecheisen, Z.S., Richter, D.D. 2021. Gully-erosion estimation and terrain reconstruction using analyses of microtopographic roughness and LiDAR. *Catena*, 202: 105264.
- Brown, A.G., Tooth, S., Bullard, J.E., Thomas, D.S., Chiverrell, R.C., Plater, A.J., ... Aalto, R. 2017. The geomorphology of the Anthropocene: emergence, status and implications. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1): 71–90.
- Brunet, J. 1994. Der Einfluss von Waldnutzung und Waldgeschichte auf die Vegetation sudschwedischer Laubwalder. *Norddeutsche Naturschutzakademie-Berichte*, 3(94): 96–101.
- Bušs, K. 1981. *Meža ekoloģija un tipoloģija*. Rīga: Zinātne, 68. lpp.
- Bürgi, M., Cevasco, R., Demeter, L., Fescenko, A., Gabellieri, N., Marull, J., Östlund, L., Šantrůčková, M., Wohlgemuth, T. 2020. Where do we come from? Cultural heritage in forests and forest management. In: *How to Balance Forestry and Biodiversity Conservation. A View Across Europe*, p. 46–61.
- COST action CA22155. 2024. EU Network for forestry by-products charcoal, resin, tar, potash. URL: <https://potarch.eu/> (accessed: 20.04.2024).
- Carrari, E., Ampoorter, E., Bottalico, F., Chirici, G., Coppi, A., Travaglini, D., ... Selvi, F. 2017. The old charcoal kiln sites in Central Italian forest landscapes. *Quaternary International*, 458: 214–223.
- Carter, B.P., Blackadar, J.H., Conner, W.L. 2021. When Computers Dream of Charcoal: Using Deep Learning, Open Tools, and Open Data to Identify Relict Charcoal Hearths in and around State Game Lands in Pennsylvania. *Advances in Archaeological Practice*, 9(4): 257–271.
- Cousins, S.A.O., Lavorel, S., Davies, I. 2003. Modelling the effects of landscape pattern and grazing regimes on the persistence of plant species with high conservation value in grasslands in south-eastern Sweden. *Landscape Ecology*, 18: 315–332.
- Duan, K., Bai, S., Xie, L., Qi, H., Huang, Q., Tian, Q. 2019. Centernet: Keypoint triplets for object detection. In: *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision*, p. 6569–6578.

- Dumpe, L. 1999. Meža izmantošanas attīstība Latvijā [Development of forest use in Latvia]. In: Strods, H. (Ed.) *Latvijas mežu vēsture līdz 1940. gadam* [History of Forest in Latvia Until 1940]. Rīga: WWF (Pasaules Dabas fonds), 305.–357. lpp. (in Latvian).
- Dupouey, J.L., Dambrine, É., Laffite, J.D., Moares, C. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology*, 83(11): 2978–2984.
- Fescenko, A., Nikodemus, O., Brūmelis, G. 2014. Past and contemporary changes in forest cover and forest continuity in relation to soils (Southern Latvia). *Polish Journal of Ecology*, 62(4): 625–638.
- Fescenko, A., Lukins, M., Fescenko, I. 2016. Validation of medium-scale historical maps of Southern Latvia for evaluation of impact of continuous forest cover on the present-day mean stand area and tree species richness. *Baltic Forestry*, 22(1): 51–62.
- Fescenko, A., Bambe, B., Liira, J., Lukins, M., Wohlgemuth, T., Brūmelis, G. 2025. Effects of past land use on taxonomic and functional diversity of deciduous broadleaved forest understorey plant communities (Southern Latvia). Unpublished manuscript.
- Fu, C.Y., Shvets, M., Berg, A.C. 2019. RetinaMask: Learning to predict masks improves state-of-the-art single-shot detection for free. arXiv preprint arXiv: 1901.03353.
- Galeniece, M. 1931. Latvijas purvu un mežu attīstība pēcduslaikmetā [Post-Glacial evolution of mires and forests in Latvia]. *Latvijas Universitātes Raksti, Lauksaimniecības Fakultātes*, 2(20): 581–632.
- Garbarino, M., Morresi, D., Meloni, F., Anselmetto, N., Ruffinatto, F., Bocca, M. 2022. Legacy of wood charcoal production on subalpine forest structure and species composition. *Ambio*, 51(12): 2496–2507.
- Girshick, R. 2015. Fast r-cnn. In: *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, p. 1440–1448.
- Grabherr, G., Koch, G., Kirchmeir, H., Reiter, K. 1996. Wie natürlich ist der Österreichische Wald? *Österreichische Forstzeitung*, 1.
- Hardy, B., Cornelis, J.T., Houben, D., Lambert, R., Dufey, J.E. 2016. The effect of pre-industrial charcoal kilns on chemical properties of forest soil of Wallonia, Belgium. *European Journal of Soil Science*, 67(2), 206–216.
- Hennius, A. 2019. Spår av kolning: arkeologiskt kunskapsunderlag och forskningsöversikt.
- Hermý, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., Lawesson, J.E. 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, 91(1): 9–22.
- Hermý, M., Verheyen, K. 2007. Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity. In: Nakashizuka, T. (Ed.) *Sustainability and Diversity of Forest Ecosystems*. Japan: Springer, p. 361–371.
- Hirsch, F., Schneider, A., Bonhage, A., Raab, A., Drohan, P.J., Raab, T. 2020. An initiative for a morphologic-genetic catalog of relict charcoal hearths from Central Europe. *Geoarchaeology*, 35(6): 974–983.
- Hoechstetter, S., Walz, U., Thinh, N.X. 2008. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure-A proposal to modify the existing set of landscape metrics. *Landscape Online*, 3-3.

- Hollaus, M., Aubrecht, C., Höfle, B., Steinnocher, K., Wagner, W. 2011. Roughness mapping on various vertical scales based on full-waveform airborne laser scanning data. *Remote Sensing*, 3(3): 503–523.
- Hossain, A., Islam, M.T., Almutairi, A.F. 2022. A deep learning model to classify and detect brain abnormalities in portable microwave based imaging system. *Scientific Reports*, 12(1): 6319.
- Jocher, G., Chaurasia, A., Qiu, J. 2023. YOLO by Ultralytics Version 8.0.0. Available at: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (accessed: 03.03.2024).
- Kasparinskis, R. 2012. Latvijas meža augšņu daudzveidība un to ietekmējošie faktori. Promocijas darbs doktora grāda iegūšanai ģeogrāfijā vides zinātnes nozarē dabas aizsardzības apakšnozarē. Latvijas Universitāte.
- Kavacs, J. 1994. Latvijas teritorijā veiktie liela mēroga uzmērījumi un kartogrāfijas darbi 17.–20. gadsimtā. *Latvijas vēstures institūta žurnāls*, 4: 77–93.
- Kirby, K.J., Watkins, C. 2015. The forest landscape before farming. In: *Europe's changing woods and forests: from wildwood to managed landscapes*. Wallingford UK: CABI, p. 33–45.
- Kļava, V., Straube, G., Siliņa-Pinķe, R., Guščika, E., Bērziņš, V., Urtāns, U., ... Bērziņš, D. 2018. Evidence of sixteenth-and seventeenth-century iron production and ironworking in Vidzeme (the example of Ropaži manor): an interdisciplinary approach. *Journal of Baltic Studies*, 49(4): 421–445.
- Latvijas mežierīcības uzņēmums (LMU). 1987. Taksācijas darbu vietējie noteikumi Latvijas PSR mežu nepārtrauktajā ierīcībā.
- Lin, T.Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., ... Zitnick, C.L. 2014. Microsoft coco: Common objects in context. In: *proceedings of Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference, September 6–12, 2014. Zurich, Switzerland: Springer International Publishing, Part V(13)*, p. 740–755.
- Liu, Y., Li, S., Sun, X., Yu, X. 2016. Variations of forest soil organic carbon and its influencing factors in east China. *Annals of Forest Science*, 73(2): 501–511.
- Loran, C., Ginzler, C., Bürgi, M. 2016. Evaluating forest transition based on a multi-scale approach: forest area dynamics in Switzerland 1850–2000. *Regional Environmental Change*, 16: 1807–1818.
- Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455(7210): 213–215.
- McGarigal, K., Tagil, S., Cushman, S.A. 2009. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, 24: 433–450.
- Mežaka, A., Liepiņa, L., Oļehnoviča, E., Nīcis, M., Krivmane, B., Ruņģis, D. 2024. Old-growth forest indicator *Homalia trichomanoides* (Hedw.) Brid. genetic diversity and spatial patterns in a fragmented broad-leaved forest landscape. *Nova Hedwigia*, 119(1/2): 51–68.
- Neimane, Z., Zvirbulis, Ģ. 2021. “Latvijas valsts meži” Ventspils novadā nepamana, ka būvē ceļu senkapu aizsargjoslā. LTV ziņu dienests. Pieejams: www.lsm.lv (skatīts 02.05.2024.).
- Orczewska, A. 2009. Age and origin of forests in south-western Poland and their importance for ecological studies in man-dominated landscapes. *Landscape Research*, 34(5): 599–617.
- Pawlikowski, P., Wolkowyci, D., Zaniewski, P., Dembicz, I., Torzewski, K., Zarzecki, R., Cakala, A., Kotowska, K., Galus, M., Topolska, K., Kozub, L. 2013. Vascular plants of the

- Maly Borek Nature Reserve in the Augustow Forest (NE Poland). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Botanika-Steciana*, 17.
- Peterken, G.F. 1974. A method for assessing woodland flora for conservation using indicator species. *Biological Conservation*, 6: 239–245.
- Peterken, G.F. 1981. *Woodland Conservation and Management*. London: Chapman and Hall.
- Peterken, G.F. 1996. *Natural woodland: ecology and conservation in northern temperate regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Peterken, G.F. 2018. Chapter I Ancient Woodland in Concept and Practice. *Ancient woodlands and trees: a guide for landscape planners and forest managers*. IUFRO World Series, 37.
- Pham, V., Pham, C., Dang, T. 2020. Road damage detection and classification with detectron2 and faster r-cnn. In: *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, p. 5592–5601.
- Raab, A., Bonhage, A., Schneider, A., Raab, T., Rösler, H., Heußner, K.U., Hirsch, F. 2019. Spatial distribution of relict charcoal hearths in the former royal forest district Tauer (SE Brandenburg, Germany). *Quaternary International*, 511: 153–165.
- Rackham, O. 1976. *Trees and Woodland in the British Landscape*. London: J.M. Dent & Sons Ltd.
- Rackham, O. 1980. *Ancient woodland, its history, vegetation and uses in England*. London: Edward Arnold.
- Rackham, O. 1986. *The History of the Countryside*. London: Dent.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. 2016. You only look once: Unified, real-time object detection. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. IEEE: p. 779–788.
- Rotherham, I.D. 2021. Editorial: trees, climate and the rest. *Arboricultural Journal*, 43(4): 197–198.
- Rotherham, I.D. 2022. Challenges for the restoration of cultural values in UK woodlands. *Forest Ecology and Management*, 503: 119756; <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119756>.
- Rutkiewicz, P., Malik, I., Wistuba, M., Osika, A. 2019. High concentration of charcoal hearth remains as legacy of historical ferrous metallurgy in southern Poland. *Quaternary International*, 512: 133–143.
- Schneider, A., Bonhage, A., Raab, A., Hirsch, F., Raab, T. 2020. Large-scale mapping of anthropogenic relief features – legacies of past forest use in two historical charcoal production areas in Germany. *Geoarchaeology*, 35(4): 545–561.
- Skanes, H.M., Bunce, R.G.H. 1997. Directions of landscape change (1741–1993) in Virestad, Sweden – characterised by multivariate analysis. *Landscape and Urban Planning*, 38: 61–75.
- Spencer, J.W., Kirby, K.J. 1992. An inventory of ancient woodland for England and Wales. *Biological Conservation*, 62(2): 77–93.
- Stanford-CS231. 2024. CS231 Convolutional Neural Networks. Stanford. Available at: <https://cs231n.github.io/convolutional-networks> (accessed: 20.04.2024).
- Suh, J.W., Anderson, E., Ouimet, W., Johnson, K.M., Witharana, C. 2021. Mapping relict charcoal hearths in New England using deep convolutional neural networks and LiDAR data. *Remote Sensing*, 13(22): 4630.

- Tack, G., Hermy, M. 1998. Historical ecology of woodlands in Flanders. In: Kirby, K.J., Watkins, C. (Eds.) *The ecological history of European forests*. New York, USA: CAB International, p. 283–292.
- Tan, Y., Wang, S., Xu, B., Zhang, J. 2018. An improved progressive morphological filter for UAV-based photogrammetric point clouds in river bank monitoring. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146: 421–429.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A. 2009. Forest resilience, biodiversity, and climate change. In: *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series, Vol. 43*, p. 1–67.
- Tolksdorf, J.F., Kaiser, K., Petr, L., Herbig, C., Kočár, P., Heinrich, S., ... Hemker, C. 2020. Past human impact in a mountain forest: Geoarchaeology of a medieval glass production and charcoal hearth site in the Erzgebirge, Germany. *Regional Environmental Change*, 20: 1–20.
- Tüxen, R. 1956. Present potential natural vegetation as the subject of vegetation mapping. *Angewandte Pflanzensoziologie*, 13: 5–42.
- Veheyen, K., Bossuyt, B., Hermy, M., Tack, G. 1999. The land use history (1278–1990) of a mixed hardwood forest in western Belgium and its relationship with chemical soil characteristics. *Journal of Biogeography*, 26: 1115–1128.
- Verschoof van der Vaart, W., Bonhage, A., Schneider, A., Ouimet, W., Raab, T. 2022. Automated large-scale mapping and analysis of relict charcoal hearths in Connecticut (USA) using a Deep Learning YOLOv4 framework. *Archaeological Prospection*.
- Vides fakti. 2014. Mežcirtēji izpostījuši Valaiņu pilskalnu. Latvijas Televīzija. Pieejams: www.lsm.lv (skatīts 02.05.2024.).
- Wallenius, T., Kuukuvainen, T., Keikkilä, R., Lindholm, T. 2002. Spatial tree age structure and fire history in two old-growth forests in eastern Fennoscandia. *Silva Fennica*, 36(1): 185–199.
- Westphal, C., Härdtle, W., von Oheimb, G. 2003. Forest history, continuity and dynamic naturalness. In: *History and forest biodiversity: challenges for conservation*. Belgium: Leuven, p. 205–220; <https://doi.org/10.1079/9780851998022.0205>.
- Wulf, M. 1997. Plant species as indicators of ancient woodland in northwestern Germany. *Journal of Vegetation Science*, 8(5): 635–642.
- Wulf, M. 2004. Relative importance of habitat quality and forestry continuity for the floristic composition of ancient, old and recent woodland. In: Honnay, O., Verheyen, K., Bossuyt, B., Hermy, M. (Eds.) *Forest biodiversity – lessons from history for conservation*. Wallingford: CABI, p. 67–79.
- Zunde, M. 1999. Mežainuma un koku sugu sastāva pārmaiņu dinamika un to galvenie ietekmējošie faktori Latvijas teritorijā [Changes in forest cover and tree species composition and the main factors influencing it in present-day Latvia]. In: Strods, H. (Ed.) *Latvijas mežu vēsture līdz 1940. gadam*. Rīga: Pasaules Dabas fonds, p. 111–206 (in Latvian).
- Zunde, M., Guščika, E., Auns, M., Bērziņš, V. 2023. Historical charcoal-burning mounds in the Engure area, Latvia, and their significance for the history of forest exploitation. *Baltic Forestry*, 29(1): id616.
- Zvirbulis, Ģ. 2020. Vidzemes novadpētnieki ceļ trauksmi par postījumiem Avotiņu senkapos. LTV ziņu dienests. Pieejams: ww.lsm.lv (skatīts 02.05.2024.).

Žagars, J., Gulbe, L. 2023. Mākslīgie neironu tīkli un klasifikācija (20. lekcija). Rīga: RTU izdevniecība, 234.–243. lpp.