



## PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA 2017. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Siltumnīcefekta gāzu emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes novērtējums vecās mežaudzēs

IZPILDĪTĀIS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀIS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5-5.5.\_000k\_101.16.15

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀIS: DR. Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

**Salaspils, 2017**

## Kopsavilkums

Oglekļa uzkrājuma novērtēšanai 30 priedes audzēs (priede audzes sastāva formula 5-9 vienības) vecumā no 163 līdz 218 gadiem ierīkoti 216 parauglaukumi. Pētījuma objektos audzes kopējais šķērslaukums un krāja vidēji ir attiecīgi  $43,2 \pm 2,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  un  $524,5 \pm 49,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Kopējais uzkrātais oglekļa apjoms pāraugušu priežu audžu biomasā vidēji damaksnī un niedrājā ir attiecīgi  $184,97 \pm 9,15$  un  $113,24 \pm 41,93 \text{ t ha}^{-1}$ . Tas būtiski atšķiras starp meža tipiēm, bet tipa ietvaros neatšķiras no pieaugušās (101-120 gadi) audzēs konstatētā (attiecīgi vidēji  $181,12 \pm 45,34 \text{ t ha}^{-1}$  un  $104,82 \pm 37,29 \text{ t ha}^{-1}$ ). Pāraugušās audzēs līdz ar vecuma palielināšanos virs 140 gadiem būtiski samazinās vidējais ikgadējais kopējais oglekļa uzkrājums koku biomasā un atmirušajā koksne. Līdzīgi iegūtie analīžu dati no paraugiem egļu audzēs neliecina par nozīmīgu oglekļa uzkrāšanos augsne (līdz 80 cm dziļumam), pieaugot audzes vecumam: vecās (>160 gadi) audzēs oglekļa uzkrājums statistiski būtiski neatšķiras no pieaugušās (81-100 gadi) audzēs konstatētā.

Sagatavota datu kopa (3183 urbumi krūšaugsstumā, kā arī papildus augstuma pieaugumu vērtēšanai – 60 dominējošajiem (>28 m) kokiem to galotnes daļā) augšanas gaitas modeļu papildināšanai. Kompleksi analizējot Meža statistiskās inventarizācijas un vecajās audzēs ierīkoto parauglaukumu datu kopas, secināts, ka egļu audzēs damaksnī un vērī dažādu koku sugu paaugas un tikai egles paaugas esamība cieši pozitīvi korelē ar mežaudzes vecumu, bet egļu paaugas biezums ar I stāva valdošās koku sugas vidējo augstumu un kokaudzes šķērslaukumu.

Iegūtie rezultāti apkopoti manuskriptā žurnālam Forests.

## Summary

Sample plots (altogether 216) were established in randomly selected and surveyed 30 old-growth (age 163-218 years) Scots pine stands in *Hylocomiosa* and *Caricoso-phragmitosa*. Data for assessment of carbon storage in living and dead tree biomass and soil were collected. Mean yield in the analysed stands reached  $524,5 \pm 49,3 \text{ m}^3$ , basal area:  $43,2 \pm 2,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . Carbon storage in biomass reached  $184,97 \pm 9,15$  un  $113,24 \pm 41,93 \text{ t ha}^{-1}$  in *Hylocomiosa* and *Caricoso-phragmitosa*, respectively. It differed significantly between the forest types, but not between overmature and mature (101-120 years) stands in the same forest type (in later being  $181,12 \pm 45,34 \text{ t ha}^{-1}$  and  $104,82 \pm 37,29 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively). Total annual amount of carbon stored in tree biomass (living and deadwood together) is decreasing as the stand age increases above a 140 years. Similarly, no significant increase in soil (0-80cm depth) carbon was observed in overmature (>160 years) Norway spruce stands on mineral soils in comparison to the values observed in mature (81-100 years) stands.

Increment of trees in old, unmanaged stands is used as additional sources of information, when updating the growth models, based on NFI data – for this purposes data from altogether 3183 increment cores at breast height and from top-part of 60 large (>28m) overmature trees were prepared. Joint analysis of NFI data and data from old stands reveal, that in Norway spruce stands in *Hylocomiosa* and *Oxalidosa* occurrence of advance regeneration and advance regeneration of spruce has a thigh, statistically significant correlation with age of the stand, but density of advance regeneration of spruce – with mean height of first story trees of dominant species and basal area of the stand.

Results were summarised in manuscript intended for journal Forests.

## Saturs

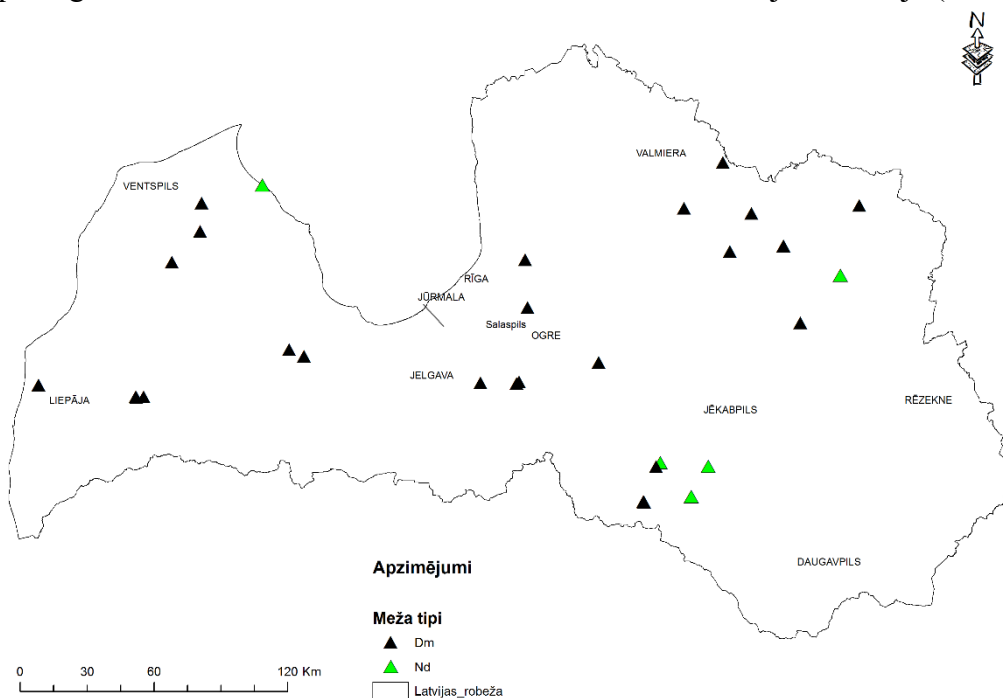
Kopsavilkums .....	2
Summary.....	2
1. Priežu audžu izloze, apsekošana un 27 audžu (22 damaksnī, 5 niedrājā) izvēle, audzē 6 – 8 parauglūkumu ierīkošana un uzmērīšana.....	4
2. Augstuma pieaugumu datu ievākšana no augošu koku galotnes daļas 60 eglēm 2016. gadā ierīkotajos parauglūkos un 60 priedēm 2017.gadā ierīkotajos parauglūkos, pieauguma datu sagatavošana .....	22
3. Augsnes, nobiru un zemsedzes paraugu ievākšana (27 parastās priedes audzes) un apstrāde (14 parastās egles audzes un 13 parastās priedes audzes) oglekļa uzkrājuma raksturošanai ...	23
4. Apraksta sagatavošana par krājas sadalījuma pa koku sugām un vecuma grupām izmaiņām, palielinoties audzes vecumam. ....	25
5. Pāraugušu egļu audžu pieauguma un oglekļa uzkrājuma dinamikas raksturošanai precizēti SILAVAS (J.Doņa) izstrādātie augstuma, caurmēra un šķērslūkuma augšanas gaitas modeļi, tos papildinot ar pāraugušu egļu audžu pieauguma datiem. ....	26
6. Atmirušās koksnes apjomu ietekmējošo faktoru (audzes parametru) noskaidrošana pāraugušās egļu audzēs un salīdzināšana ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem par pieaugušām egļu audzēm.....	29
7. Apzināti dažādu koku sugu jaunās paaudzes koku ieaugšanu ietekmējošie faktori (vecās audzes taksācijas rādītāji) pāraugušās egļu audzēs un priežu audzēs, rezultāti salīdzināti ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem. ....	33
8. Manuskripta sagatavošana par oglekļa uzkrājumu vecās parastās egles audzēs (statuss: iesniegts).....	44
Izmantotā literatūra.....	45

# 1. Priežu audžu izloze, apsekošana un 27 audžu (22 damaksnī, 5 niedrājā) izvēle, audzē 6 – 8 parauglaukumu ierīkošana un uzmērīšana.

## Materiāls un metodika

Pārskata periodā tika atlasīta un apsekota 71 veca priežu kokaudze un kurās, saskaņā ar pieejamo dokumentāciju, ilgstoši nav tikusi veikta saimnieciskā darbība. Šī pētījuma ietvaros ar jēdzienu **vecā (pāraugusi) kokaudze** apzīmē audzi, kurā valdošās sugas koki pārsnieguši noteikto ciršanas vecumu par vairāk nekā divām vecumklasēm. Savukārt, **vecs mežs** attiecināms uz ilgstoši (vismaz divas valdošās koku sugas vecumklases) antropogēni maz traucētu mežu. Vecā mežā nav veikta krājas kopšanas un galvenā cirte, un to veido vai nu veca kokaudze, vai dabisko traucējumu ietekmē (piem., vējgāzes, ugunsgrēki, dendrofāgo kukaiņu savairošanās) izveidojusies jauna audze. Tātad, veca kokaudze var būt vecs mežs, bet ne visi vecie meži sastāv no vecām kokaudzēm.

Parauglaukumu ierīkošanai nav izmantotas audzes, kurās konstatētas nesenas un/vai nozīmīgas saimnieciskās darbības pēdas, kā arī meža tips taksācijas aprakstā (Dm vai Nd) neatbilst stāvoklim dabā. Uzmērīšana veikta kopumā 32 audzēs, turpmākai datu analīzei šī pārskata ietvaros izmantotas 30 audzes, jo divi objekti netika atzīti par piemērotiem metodoloģisko neatbilstību dēļ. Izmantoto audžu skaits lielāks nekā sākotnēji plānotais, jo atsevišķās no tām konfigurācijas vai meža tipa nevienmērības dēļ nebija iespējams ierīkot vajadzīgo parauglaukumu skaitu. Izvēlētas audzes izvietotas visā Latvijas teritorijā (1.1. att.).



1.1. attēls. Pētījuma objektu izvietojums.

Katrā izvēlētajā audzē tika ierīkoti 6-8 parauglaukumi, atkarībā no audzes lieluma un konfigurācijas. Saskaņā ar izstrādāto darba metodiku parauglaukumi izvietoti regulārā tīklā. Katrā parauglaukumā tika noteikts meža tips, bet, konstatējot neatbilstību meža tipam, konkrētais parauglaukums netika mērīts un tika pāriets uz nākamo parauglaukuma vietu.

Katrā parauglaukumā ( $R=12,62$  m) tika ievākts empīriskais datu materiāls atbilstoši izstrādātajai metodikai:

- katram kokam fiksē sugu, uzmēra caurmēru (visiem kokiem, kas sasnieguši 6,1 cm diametru). Daļā parauglaukuma (R=5,64 m; 0°-90° sektorā) uzmēra visus kokus, kas sasnieguši 1,3 m augstumu ( $d \geq 2,1$  cm). Katram uzmērītajam kokam tiek fiksēts tā atrašanās punkts, suga, stāvs, Krafta klase, bojājumi. Četros mazākos apļveida laukumos (R=0,80 m) 2 m no centra uz katra kardinālā virziena – uzskaita visus kokus, kuri zemāki par 1,3 m (nosakot sugu un vidējo augstumu);

- katram meža elementam (vienas sugas un paaudzes  $\pm 2$  vecumklases no abstraktas vidējās vērtības piederošiem kokiem) uzmēra augstumu, vainaga sākuma augstumu un ievāc pieaugumu urbumu (1,3 m augstumā): valdošajam elementam 5, pārējiem 2 – dažādu dimensiju kokiem bez ārējām bojājuma pazīmēm (piemēram, lauza galotne). Trupējušiem kokiem izurbj visu dzīvo daļu un atzīmē, ka trupes bojāts. Kokiem, kuru caurmērs no 2,1 līdz 6 cm, ievāc pieauguma ripu (vienu no parauglaukuma – visvairāk pārstāvētajai koku sugai);

- uzmēra ne tikai dzīvos, bet arī saustāvošos kokus, klasificējot tos kā „sa” – sausoknis – nokaltis koks, kuram vēl ir vismaz 2. pakāpes sānzari, vai „st” – stumbenis – bez sānzariem vai tikai ar 1. pakāpes sānzariem (tai skaitā celms, piezīmējot, ja var noteikt, vai koks nolūzis vai nozāģēts);

- veic kritalu „kr” uzskaiti: a) tikai tās, kam  $d > 14$  cm ( $d > 6$  cm parauglaukumos ar R=5,64 m) un garums  $> 1$  m; b) fiksē – zars vai stumbrs; c) ja izgāzies koks – stumbra caurmērs 1,3 m attālumā no sakņu kakla; d) ja gabali – abu galu maksimālais diametrs; e) fiksē, ja parauglaukumā ir gan stumbenis / sausoknis, gan tā nolūzusī daļa, ja iespējams noteikt;

- visiem nokaltušajiem kokiem nosaka sadalīšanās pakāpi (saskaņā ar Sandström et al., 2007) (1.1. tab.).

1.1. tabula. **Sadalīšanās pakāpju raksturojums nedzīvajai koksnei** (Sandström et al., 2007; Renvall, 1995)

Sadalīšanās pakāpe	Skaidrojums
1	Svaiga koksne, ar mizu, saglabājušās lapas/skujas
2	Cieta atmirusi koksne, stumbram cieta ārējā virsma, bez mizas
3	Koksne nedaudz mīksta (10-25% no stumbra tilpuma), nazi iedur 1-2 cm
4	Mīksta vai ļoti mīksta koksne (26-75% no stumbra tilpuma), trupējusi
5	Ļoti trupējusi koksne (mīksta koksne 76-100% no stumbra tilpuma), drūp

Oglekļa uzkrājuma raksturošanai katrā atlasītajā audzē ārpus kokaudzes parauglaukuma četros punktos (0°, 90°, 180°, 270°) tika ievākti augsnes un zemsegas paraugi. Augsnes paraugu ievākšanas punkti tika izvēlēti vismaz 2 m attālumā no celmiem, netipiskiem mežaudzes elementiem un vismaz 2 m attālumā no lieliem augošiem kokiem.

Katrā punktā (1 m<sup>2</sup> lielā platībā) tika ievākti uz zemes sakritušie zari diametrā līdz 6 cm un paņemti trīs zemsegas (O horizonta) paraugi (100 cm<sup>3</sup>). Lai noteiktu uzkrātā oglekļa daudzumu augsnē, katrā punktā izraka 60×120×90 cm bedri, kurā ievāca augsnes paraugus četros dziļumos (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-80 cm) ķīmisko analīžu veikšanai un fizikālo īpašību raksturošanai (nosaka augsnes tipu).

## Oglekļa noteikšanas metodika

Oglekļa dinamikas raksturošanai meža ekosistēmā šī pētījuma ietvaros tiek izmantoti šādi starptautiski pieņemti termini (EP Lēmums Nr. 529/2013/ES):

- 1) oglekļa **uzkrājums** (*carbon stock*) ir oglekļa masa, kas uzkrāta oglekļa **krātuvē** (*carbon pool*). Oglekļa krātuve (*carbon pool*) ir dalībvalsts teritorijā esošs bioģeoķīmisks veidojums vai sistēma kopumā, vai to daļa, kurā ir uzkrāts ogleklis, jebkāds oglekli saturošs siltumnīcefekta gāzes prekursors vai jebkāda oglekli saturoša siltumnīcefekta gāze;
- 2) oglekļa dinamikas raksturošanai nosaka oglekļa **piesaisti** (*removals/sequestration*), kas ir siltumnīcefekta gāzu antropogēna piesaiste no atmosfēras piesaistītājos. Oglekļa **piesaistītājs** (*sink*) ir jebkurš process, darbība vai mehānisms, kura rezultātā no atmosfēras tiek absorbēta siltumnīcefekta gāze, aerosols vai siltumnīcefekta gāzes prekursors.

Saskaņā ar šo terminoloģiju un pētījuma metodiku, pētījuma rezultāts ir oglekļa uzkrājuma vecās priežu audzēs raksturojums, nevis tā piesaistes dinamikas novērtējums.

Uzkrātais oglekļa daudzums dzīvajā koksnes biomasā tika aprēķināts no individuāla koka biomasas (tilpums × blīvums) nevis parauglaukuma krājas, tā iegūstot precīzākus rezultātus (Neumann et al., 2016). Pasaulē plaši tiek izmantots arī biomasu pārrēķina koeficientu pa koka frakcijām reizinājums ar stumbra tilpumu, iegūstot attiecīgās koka daļas biomasu (Lehtonen et al., 2004; Liepa & Blija, 2008). Lai uzlabotu oglekļa aprēķinu kvalitāti, nepieciešams izstrādāt uz plašas empīriskās bāzes konkrētajai vietai atbilstošus koka biomasas modeļus pa sugām, kas nozīmīgi palielina aprēķināto koku biomasu, līdz ar to arī oglekļa aprēķinu precizitāti (Temesgen et al., 2015).

Projekta ietvaros veikti koka frakciju biomasu aprēķini pēc 1.1. formulas pa koku sugām, izmantojot Liepiņa et al. (2017) biomasas modeļus Latvijas apstākļiem. Priedes sīko sakņu frakcijas biomasai (1.2. formula) un bērza pazemes biomasas (1.3. formula) aprēķiniem Liepiņš et al. (2017) ieteicis atšķirīgas aprēķinu formulas:

$$y = k \times \exp\left(a + b \times \ln\left(\frac{D}{D+m}\right) + c \times H + d \times \ln(H)\right), \quad (1.1)$$

$$y = k \times \exp(a + b \times \ln(D) + c \times \ln(H)), \quad (1.2)$$

$$y = k \times \exp(a + b \times \ln(D)), \quad (1.3)$$

kur  $y$  - individuāla koka frakcijas absolūti sausa biomasas, kg;  $D$  - koka caurmērs, cm;  $H$  - koka augstums, m;  $a, b, c, d, m, k$  - parametri (1.2. tab.) (Liepiņš et al., 2017).

Projektā izmantoti Liepiņš et al. (2017) izstrādātās parametru vērtības biomasas aprēķināšanai (1.2. tab.). Lai nodrošinātu augstāku precizitāti, oglekļa uzkrājums, līdz ar to arī biomasas aprēķinātas četrām koka frakcijām – stumbra, zaru (+ skuju skuju kokiem), kopējai pazemes un atsevišķi sīko sakņu frakcijai ( $d < 2$  mm). Oglekļa uzkrājums virszemes koksnes biomasā tika aprēķināts, summējot zaru un stumbra frakcijās uzkrāto oglekli, jo tas nodrošina precīzāku rezultātu ieguvu. Sīko sakņu frakcija tika izdalīta atsevišķi, ņemot vērā, ka vēl joprojām nav skaidri definēts oglekļa krātuvju sadalījums.

1.2. tabula. **Biomases vienādojumu parametru vērtības pa koku sugām un frakcijām** (Liepiņš et al., 2017)

<b>Suga</b>	<b>Frakcija</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>m</b>	<b>k</b>
<b>Priede</b>	SB	-2,8125	7,1368	0,0118	1,1270	15	1,005
	BB	-1,6032	14,7696	0	-1,5888	11	1,042
	BGB	-3,2937	9,0334	0	0,5353	14	1,035
	SRB	-4,1683	1,4686	0,4263	0	0	1,061
<b>Egle</b>	SB	-2,5842	7,0769	0,0232	0,9631	15	1,002
	BB	0,3300	12,0986	0	-1,0682	16	1,012
	BGB	-2,4967	10,8184	0	0	14	1,039
	SRB	-3,3454	7,5401	0	0	9	1,068
<b>Bērzs</b>	SB	-2,9281	8,2943	0,0184	0,7374	11	1,002
	BB	-1,0091	16,9249	0	-2,0462	12	1,075
	BGB	-3,6432	2,5127	0	0	0	1,006
	SRB	-4,1485	8,6630	0	0	7	1,009
<b>Apse</b>	SB	-2,8955	8,3896	0,0226	0,6148	11	1,006
	BB	-2,3703	14,3352	0	-1,0849	12	1,004
	BGB	-2,3114	10,3644	0	0	15	0,992
	SRB	-2,2732	14,1612	0	-1,7449	10	0,994

**SB** - stumbra; **BB** - zaru; **BGB** - pazemes; **SRB** - sīko sakņu

Koku sugām, kurām nav izstrādāti atsevišķi parametri biomasas aprēķināšanai, izmantoti parametri no tās koka sugas, kurai ir vislīdzīgākais koksnes blīvums. Kaut arī Liepiņš et al. (2017) modeļi izstrādāti uz plašas datu bāzes, ietverot dažāda vecuma audzes, tajos nav ietverti tik veci koki kā šajā projektā analizētie (1.3. tab.), kas var radīt neprecizitātes aprēķināto biomasu frakciju masā, kā arī turpmākajos oglekļa satura aprēķinos. Šobrīd LVMI Silava nav pieejama datu kopa šo neprecizitāšu novērtēšanai un novēršanai. Būtu iespējams izmantot ievāktos pieauguma urbumus, vērtējot koksnes blīvuma un vecuma saikni, kā arī papildus ievākt datus no zināmiem (kam veikts pieauguma urbums), veciem kokiem, raksturojot to vainaga parametrus un nosakot vecuma ietekmi uz tiem.

1.3. tabula. **Biomases vienādojumu izstrādei izmantoto audžu raksturojums** (Liepiņš et al., 2017)

<b>Suga</b>	<b>Audzes, skaits</b>	<b>Koku caurmērs, cm</b>	<b>Koku augstums, m</b>	<b>Audzes šķērslaukums, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup></b>	<b>Vecums</b>
Priede	34	1,3-40,3	1,4-30,7	0,4-49,7	6-141
Egle	27	1,6-34,1	1,8-27,7	0,6-44,9	8-97
Bērzs	35	2,8-32,3	5,2-29,6	0,9-44,4	8-92
Apse	28	2,1-30,6	3,4-30,4	0,5-45,2	5-76

Oglekļa saturs koksņē tiek pieņemts kā 50 % no koka frakcijas (stumbrs, zari, saknes) biomasas (iegūta, izmantojot biomasas pārrēķina koeficientus vai vienādojumus), un šī vērtība

tiek plaši izmantota siltumnīcas efekta gāzu (SEG) bilances aprēķinos (Lamlom & Savidge, 2003; Martin & Thomas, 2011).

Kaut arī oglekļa saturs visdrīzāk ir nedaudz atšķirīgs pa koka frakcijām, ņemot vērā detalizētu pētījumu trūkumu, visām koka frakcijām lieto šo standartizēto 0,5 vērtību. Šādu vērtību ir ieteikusi Klimata pārmaiņu starpvaldību padome (IPCC) (2016). Standartizētā vērtība tiek plaši izmantota dažādās valstīs, neatkarīgi no meža apsaimniekošanas veida, vecuma, klimatiskās zonas un citiem faktoriem (Saatchi et al., 2011; Bijak et al., 2013; Jansons et al., 2017). Kaut arī noteiktā 0,5 vērtība tiek ļoti plaši izmantota, vairāku pētījumu rezultāti apliecina, ka aprēķinātais oglekļa daudzums koksnes biomasā uz hektāru iespējams ar līdz pat 5 % kļūdu (Martin & Thomas, 2011). Tomēr, tā kā vēl joprojām nav pieejami biomasu un oglekļa satura dati par visām koku sugām dažādos vecumos, dažādos augšanas apstākļos, un šādu rezultātu iegūšanai nepieciešami darbietilpīgi un dārgi pētījumi, lielākā daļa valstu turpina izmantot tieši standartizēto 0,5 vērtību (1.4. tab.).

1.4. tabula. SEG inventarizācijas aprēķinos izmantotais koeficients oglekļa satura noteikšanai koku biomasā dažādās valstīs (Neumann et al., 2016)

Valsts	Parastā egle ( <i>Picea abies</i> )	Parastā priede ( <i>Pinus sylvestris</i> )	Bērzs ( <i>Betula sp.</i> )
Austrija	0,5	0,5	0,5
Beļģija	0,5	0,5	0,5
Čehija	0,5	0,5	0,5
Francija	0,475	0,475	0,475
Itālija	0,5	0,5	0,5
Latvija	0,5	0,5	0,5
Nīderlande	0,5	0,5	0,5
Norvēģija	0,5	0,5	0,5
Polija	0,5	0,5	0,5
Rumānija	0,5	0,5	0,5
Somija	0,5	0,5	0,5
Spānija	0,506	0,509	0,485
Vācija	0,5	0,5	0,5

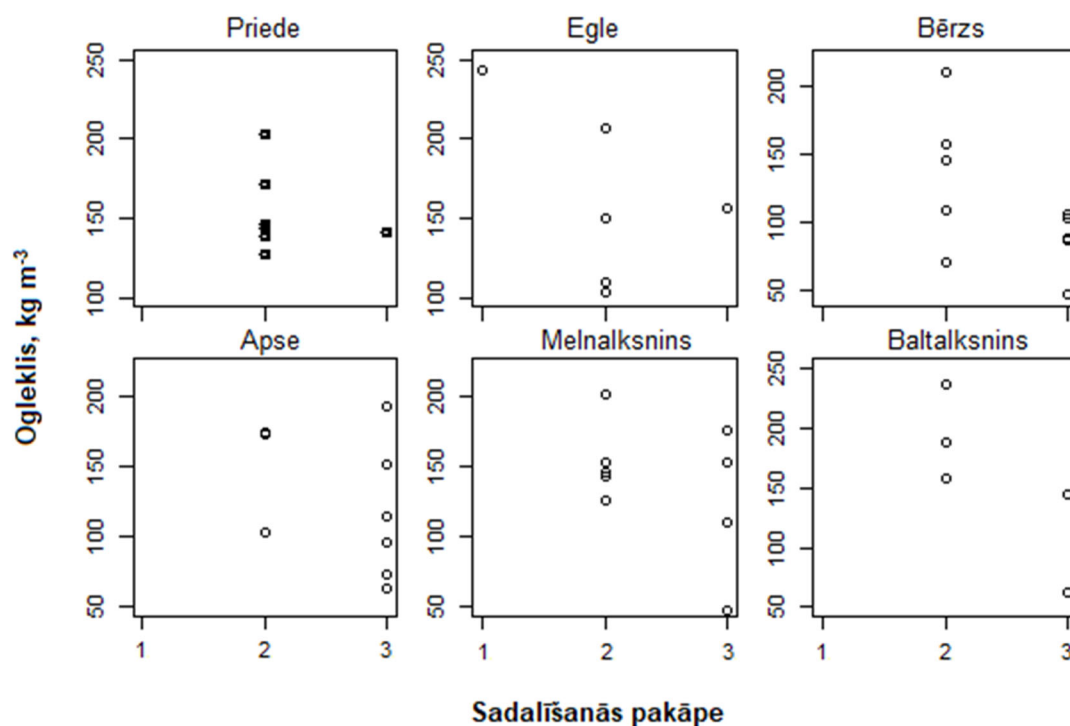
Paralēli, līdz šim jau vairākās valstīs veikti pētījumi, kuros noteikts, ka oglekļa saturs pazemes biomasā, iespējams, ir mazāks (48,1 % pēc Ritson & Sochacki, 2003) nekā virszemes biomasā, kā arī tas atšķiras pa biomasas frakcijām (Peichl & Arain, 2006; Jain et al., 2010). Vairākos pilotprojektos noteiktais oglekļa saturs koku frakcijās parāda, ka gan stumbrā, gan koka vainagā tas var variēt pat no 47 līdz 55 %, atkarībā no koku sugas (Paladinić et al., 2009). Vucetich et al. (2000) pētījumā norādīts, ka uzkrātais oglekļa apjoms stipri variē arī ziemeļdienu virzienā Eiropā, īpaši uzsverot būtiskos oglekļa uzkrājumus augsnē boreālajos un hemiboreālajos mežos. Tieši oglekļa apjoms augsnē un zemsegā, ņemot vērā lielās izmaksas un metodoloģiskās problēmas, nav pietiekami pētīts, kaut arī augsne uzskatāma par ļoti nozīmīgu oglekļa krātuvi (Liski et al., 2002).

Latvijā ir veikti atsevišķi pētījumi par oglekļa saturu koksnes dažādās biomasas frakcijās. Piemēram, baltalkšņa audzēs konstatēts, ka oglekļa saturs virszemes biomasā ir 47-52%, bet



pazemes biomasā ir ap 47% (Bārdulis u.c., 2011). Priežu jaunaudzēs (8-40 gadi) konstatēts, ka oglekļa saturs pazemes biomasā vidēji ir 49,7%, tas atšķiras dažādām sakņu frakcijām un palielinās, pieaugot koku vecumam (Jansons et al., 2017). Tomēr trūkst plašāku pētījumu dažādu koku sugu vecākās audzēs, lai to rezultātus varētu izmantot oglekļa aprēķinam šī pētījuma ietvaros.

Oglekļa uzkrājuma aprēķins nedzīvajai koksnei veikts, ņemot vērā nedzīvās koksnes apjomu un piemērojot oglekļa pārrēķina koeficientus pa koku sugām un sadalīšanās pakāpēm. Projektā oglekļa uzkrājuma aprēķināšanai nedzīvajā koksnē izmantotas Lazdiņš (2013) izstrādāto pārrēķināšanas koeficientu vidējās vērtības (1.2. att.).



1.2. attēls. Kritalu oglekļa uzkrājuma analīžu kopsavilkums (attēls sagatavots no Lazdiņš, 2013 datiem).

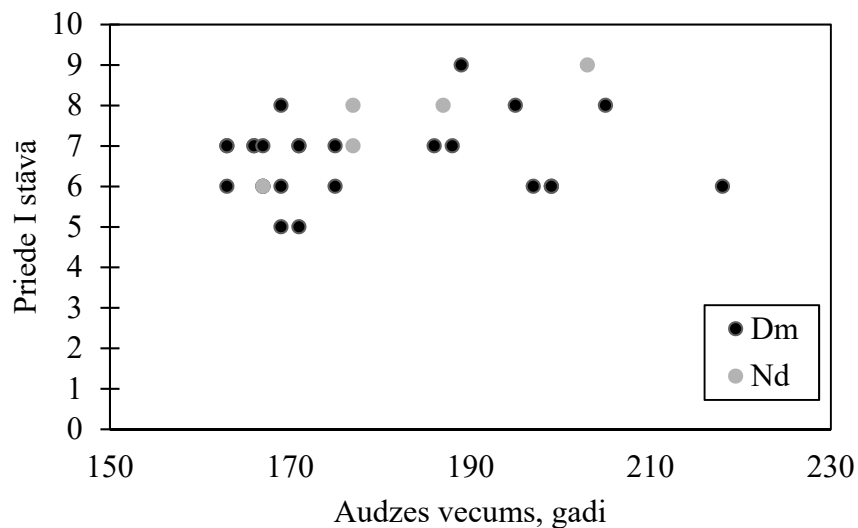
Ņemot vērā, ka oglekļa pārrēķina koeficienti līdz šim nav izstrādāti visām 5 sadalīšanās pakāpēm, bet gan tās ir apvienotas 3 grupās (attiecīgi aprēķinos šajā projektā sadalīts: **1** - 1; **2** - 2 un 3; **3** - 4 un 5 grupa), kā arī ievāktais empīriskais datu materiāls neietver sausokņus un stubeņus, iegūtie rezultāti nav uzskatāmi par ļoti precīziem, tomēr tie ļauj iegūt priekšstatu un veikt savstarpēju salīdzināšanu.

Augsnes paraugi sagatavoti fizikāli ķīmiskajām analīzēm Latvijas Valsts mežzinātnes institūta „Silava” Meža vides laboratorijā atbilstoši LVS ISO 11464 standarta prasībām. Augsnes kopējais oglekļa daudzums tiek noteikts, izmantojot kalibrētu oglekļa elementanalizatoru LECO CR-12. Gaissausas augsnes paraugu (0,2-0,5 g) ieber sadedzināšanas trauciņā un aptuveni 50 sekundes dedzina 1370°C.

## Rezultāti

### Veco audžu raksturojums

Kopumā ierīkoti 216 parauglaukumi (1.5. tab.). Vecums mežaudzēs variē no 163 līdz 218 gadiem, vidējais pāraugušo priežu mežaudžu vecums ir  $179 \pm 37$  gadi, priede audzes sastāva formulā veido 5-9 vienības, un priedes īpatsvaram datu kopā nav saistības ar audzes vecumu (1.3. att.).



1.3. attēls. Priedes sastāva vienība analizētajos objektos pa vecumiem damaksnī (Dm) un niedrājā (Nd).

Ierīkotās Dm audzes atbilst 1. līdz 3. bonitātei, lielākajā daļā gadījumu 2. bonitātei. Pētījumā analizēto Dm mežaudžu vidējais vecums ir  $180 \pm 6$  gadi, no 163 līdz 218 gadu vecumam. Niedrājā (Nd) 5 ierīkotie objekti pēc vecuma un augstuma atbilda 3. līdz 5 bonitātei, vidēji 4 bonitātei. Pētījumā analizēto Nd mežaudžu vidējais vecums ir  $182 \pm 17$  gadi, no 167 līdz 203 gadu vecumam.



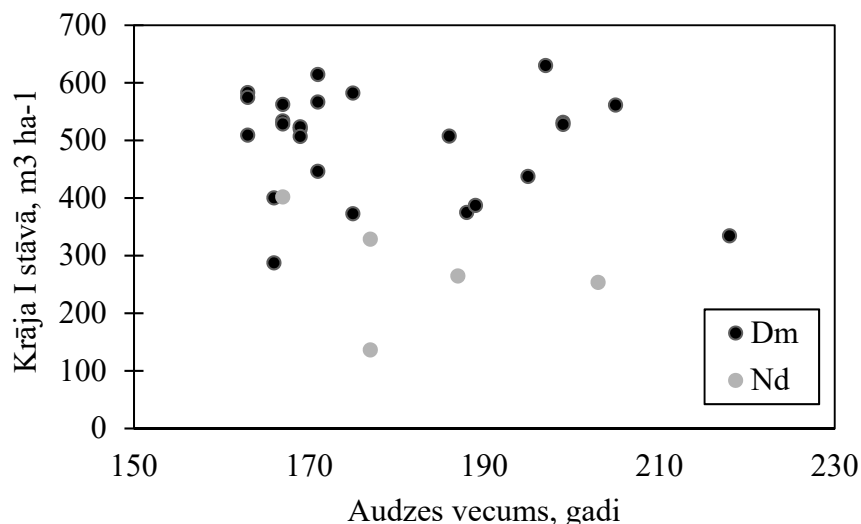
1.5. tabula. Pētījuma objektu taksācijas rādītāji

Objekts	PL	MT	A	B	I stāvs					II stāvs						
					Sastāvs	D, cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, ha <sup>-1</sup>	Sastāvs	D, cm	H, m	G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	M, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N, ha <sup>-1</sup>
103-489-19	6	Dm	218	2	6P4E	52,7	32,6	23,6	334,5	153	8E2B	17,9	17,2	5,7	46,0	1043
104-162-9	6	Dm	175	1	7P3E	49,0	33,0	38,9	582,2	260	10E ats Pl	17,0	19,3	11,3	117,4	723
105-245-15	6	Dm	188	3	7P3E+B	41,4	27,8	29,7	374,9	253	10E+B;P	16,2	16,7	6,7	55,4	540
107-211-3	6	Dm	197	1	6P4E	56,3	35,6	41,0	629,9	217	9E1Pl	22,3	20,0	4,0	31,6	727
109-265-3	6	Dm	186	2	7P3E ats A	44,8	31,8	36,1	507,6	280	9E1B+Ba;Bl	15,3	16,4	7,5	62,9	763
110-388-2	6	Dm	166	1	7P2E1B	46,8	33,0	28,2	400,4	207	10E+B;Ba;Bl	14,9	15,4	8,9	67,8	1457
110-388-3	6	Dm	166	2	7P1E1B1A	38,3	29,4	21,8	287,5	230	10E+B	16,8	16,7	15,0	125,3	1530
203-407-5	6	Dm	169	2	8P2E+B ats K	33,6	27,5	42,0	519,9	470	9E1K	18,1	16,9	5,0	30,1	1510
205-242-1	6	Dm	163	2	7P1E1A1B ats Oz;Os,G	54,3	29,9	45,3	583,1	290	3K2B2E2Oz1G +Os;Bl	12,6	15,9	8,9	64,3	1680
205-243-3	6	Dm	163	2	7P2E1B+A;L	51,8	30,4	39,4	509,1	253	4E3L1B1Oz1K	17,4	17,4	11,2	84,1	1403
205-255-18	6	Dm	163	1	6P3E+B;A	51,1	31,7	42,0	574,7	297	9E1B+Pl	13,5	14,4	10,7	84,5	1237
301-218-32	6	Nd	177	4	8P1E1B	31,4	20,0	14,7	136,2	240	5E4B1P+M	7,9	9,6	5,4	26,9	1857
303-360-12	6	Dm	167	2	6P4E+B	48,0	30,3	43,0	562,5	300	8E1Oz1K	19,7	17,6	5,0	35,9	1370
303-360-13	8	Dm	167	2	6P3E1A+B	49,3	31,6	39,1	533,8	273	9E1Oz+B	20,5	18,0	7,6	62,9	578
303-360-15	8	Dm	167	2	7P2E1B	45,6	30,1	40,1	528,6	358	9E1B+A;Oz	17,4	17,1	8,5	74,1	585
304-165-12	8	Nd	167	4	6P3E1B	28,7	21,7	41,1	401,9	800	10E+B;P	11,2	10,8	6,5	39,1	1260
304-8-3*	6	Dm	205	3	5E3P2B+Oz;K	32,9	26,4	30,8	394,2	283	8E2K1B+Oz;Os	17,7	17,1	8,0	55,7	2073
305-174-12	8	Nd	177	3	7P2E1B	31,1	25,4	29,4	328,6	480	9E1B	14,0	13,8	5,6	41,6	480
408-363-19	6	Dm	169	2	5P4E1B+A;M	46,6	28,3	41,3	523,6	317	9E1B+M	17,2	18,2	9,2	80,9	870
409-292-15	6	Dm	169	2	6P2E1B+A	49,9	31,1	38,3	507,0	247	9E1B+A	22,2	17,1	8,9	57,1	2010
502-213-20	6	Dm	189	2	9P1E+B	44,0	30,6	28,4	387,3	200	10E	20,0	18,0	16,7	142,2	940
504-56-9	8	Dm	199	2	6P4E ats A	50,6	31,3	38,5	531,4	270	10E	18,7	19,2	9,8	89,4	638
504-58-7	6	Dm	199	2	6P4E ats B	49,4	30,8	38,3	527,8	240	10E	17,5	19,3	9,5	93,1	650
508-101-4*	8	Dm	195	2	6E3P1A+Oz;G;K	45,2	29,7	27,0	350,1	168	6Lazda2K1B1E	11,5	13,1	9,3	50,9	3473
603-378-2	8	Dm	171	1	7P3E+B	47,2	33,2	42,0	614,4	293	9E1Pl+B;K	16,5	18,3	6,9	55,0	1460
603-393-5-6	8	Dm	171	1	7P3E+B;A;Oz	53,5	31,7	32,5	446,2	220	8E1B1Ba+B	17,4	18,4	8,9	68,6	1595
706-175-22	8	Dm	195	2	8P2E+B;A	49,0	30,9	33,1	437,6	213	9E1Oz+B;Pl	18,5	17,7	9,2	69,1	1470
706-361-29	6	Dm	175	3	6P4E+B	36,3	24,6	34,5	372,6	423	9E1M+A	14,6	14,4	7,7	51,6	1123
707-185-6	8	Nd	203	5	9P1E+B	31,3	19,3	28,8	253,4	430	5P4E1B+M	8,9	8,3	2,2	10,5	623
713-66-40	8	Dm	205	1	8P2E	49,2	33,3	38,5	561,3	230	10E	20,0	20,4	10,6	103,5	675
802-432-11	6	Dm	171	1	5P5E+B	44,9	34,8	37,0	566,7	313	10E	17,8	18,3	2,6	21,5	587
805-43-27	8	Nd	187	4	8P1E1B+M	25,9	21,9	26,7	264,6	575	9E1B+M	12,3	12,3	8,1	53,4	1005

PL- parauglaukumu skaits objektā; MT- meža tips; A- vecums no taksācijas datiem; B- bonitāte; G- šķērslaukums, M- krāja, N- koku skaits, D- koku caurmērs, H- koku augstums; \*- cita valdošā suga

Pētījuma objektos audzes kopējais šķērslaukums un krāja vidēji ir  $43,2 \pm 2,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  un  $524,5 \pm 49,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Koku skaits starp objektiem variē robežās no 793 līdz 2257 koki  $\text{ha}^{-1}$ , tomēr tas nav būtiski ( $p = 0,40$ ) atšķirīgs starp meža tipiēm. Koku skaits I stāvā vidēji ir  $311 \pm 49$  koki  $\text{ha}^{-1}$  (variē no 153 līdz 800 koki  $\text{ha}^{-1}$ ), kas norāda uz daudzveidīgu kokaudzis struktūru analizētajos objektos un, līdzīgi kā kopējais koku skaits, nav būtiski atšķirīgs starp meža tipiēm.

Vidēji kopējā audzes (I un II stāvs kopā) krāja damaksnī (Dm) ir  $567,2 \pm 36,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , un tā ir robežās no 288 līdz  $630 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Vidēji kopējā audzes krāja niedrājā (Nd) ir  $311,2 \pm 131,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , variē no 136 līdz  $402 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , un tā ir būtiski mazāka ( $p < 0,01$ ) nekā Dm konstatētā krāja. Vidējā I stāva krāja Dm ir  $496,2 \pm 37,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bet Nd tā ir mazāka ( $276,9 \pm 122,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) un stipri variē starp objektiem (1.4 att.).



1.4. attēls. I stāva krāja analizētajos priekšmetos damaksnī (Dm) un niedrājā (Nd).

Audzis II stāvs konstatēts visos objektos, kā arī gandrīz visos parauglaukumos (izņemot vienu 107-211-3, PL 1). Tikai 9 % parauglaukumu valdošā suga II stāvā nebija E, bet kāda cita koku suga (tikai bērzs un priekšmeti niedrājā, kā arī bērzs, kļava, liepa, ozols, blīgzna damaksnī). Biezums II stāvā variē plaši un vidēji ir  $1079 \pm 166$  koki  $\text{ha}^{-1}$  (480 līdz 2010 koki  $\text{ha}^{-1}$ ). Otrajā stāvā vidējā krāja objektos ir  $64,9 \pm 11,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (t.i., 12,4 % no kopējās audzis krājas) un tā nav būtiski atšķirīga ( $p = 0,85$ ) starp meža tipiēm.

Pētījumā analizētās pāraugušās priekšu audzis salīdzinātas ar pāraugušām (101-120 gadus vecām) priekšu audzēm no Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) (Dm - 42 parauglaukumi; Nd - 12 parauglaukumi) (1.6. tab.). Lai salīdzinātu pāraugušās priekšu audzis (MSI dati) un pāraugušās priekšu audzis (pētījuma objekti), pētījumā pēc MSI parauglaukumos ievāktajiem datiem aprēķināts oglekļa apjoms pāraugušajās priekšu audzēs dzīvajā koksne pa koka frakcijām pēc Liepiņš et al. (2017), bet nedzīvajā koksne pa to grupām, izmantojot Lazdiņš (2013) koeficientus.

Pāraugušās priekšu audzēs Dm ir būtiski lielāks vidējais koku caurmērs un krāja I stāvā nekā pāraugušās audzēs. Arī II stāvā vecās Dm audzēs novērota būtiski lielāka audzis krāja nekā pāraugušās audzēs, visdrīzāk, būtiski lielāka audzis biezuma rezultātā (1.6. tab.). Līdzīgas sakarības vērojamas arī Nd starp pāraugušām un pāraugušām priekšu audzēm, tomēr Nd netika novērota būtiska atšķirība starp koku skaitu II stāvā (1.6. tab.).

1.6. tabula. Taksācijas rādītāju salīdzinājums pieaugušās un pāraugušās priežu audzēs

Priežu audzes	Caurmērs, cm	Augstums, m	Krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Skaitis, gab
<b>Damaksnis</b>				
<b>I stāvs</b>				
Pieaugušās audzes	36,9±1,6 <sup>a</sup>	28,3±0,9 <sup>a</sup>	386,6±46,0 <sup>a</sup>	314±38 <sup>a</sup>
Pāraugušās audzes	47,3±2,3 <sup>b</sup>	31,0±1,0 <sup>a</sup>	496,2±37,6 <sup>b</sup>	272±28 <sup>a</sup>
<b>II stāvs</b>				
Pieaugušās audzes	16,9±1,0 <sup>a</sup>	16,8±0,8 <sup>a</sup>	46,2±10,9 <sup>a</sup>	255±59 <sup>a</sup>
Pāraugušās audzes	17,6±1,0 <sup>a</sup>	17,5±0,6 <sup>a</sup>	80,0±12,3 <sup>b</sup>	1086±179 <sup>b</sup>
<b>Niedrājs</b>				
<b>I stāvs</b>				
Pieaugušās audzes	21,5±2,7 <sup>a</sup>	17,4±2,3 <sup>a</sup>	170,2±36,1 <sup>a</sup>	598±148 <sup>a</sup>
Pāraugušās audzes	29,7±2,9 <sup>b</sup>	21,7±2,9 <sup>b</sup>	276,9±122,3 <sup>b</sup>	505±254 <sup>a</sup>
<b>II stāvs</b>				
Pieaugušās audzes	6,3±3,2 <sup>a</sup>	6,5±3,0 <sup>a</sup>	8,3±4,5 <sup>a</sup>	480±441 <sup>a</sup>
Pāraugušās audzes	10,9±3,1 <sup>a</sup>	11,0±2,7 <sup>a</sup>	34,3±20,2 <sup>b</sup>	1045±681 <sup>a</sup>

Pieaugušās audzes-MSI (101-120 gadi); Pāraugušās audzes-pētījumā analizētās pāraugušās audzes; <sup>a</sup> <sup>b</sup> – atšķirīgi burti norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām starp grupām.

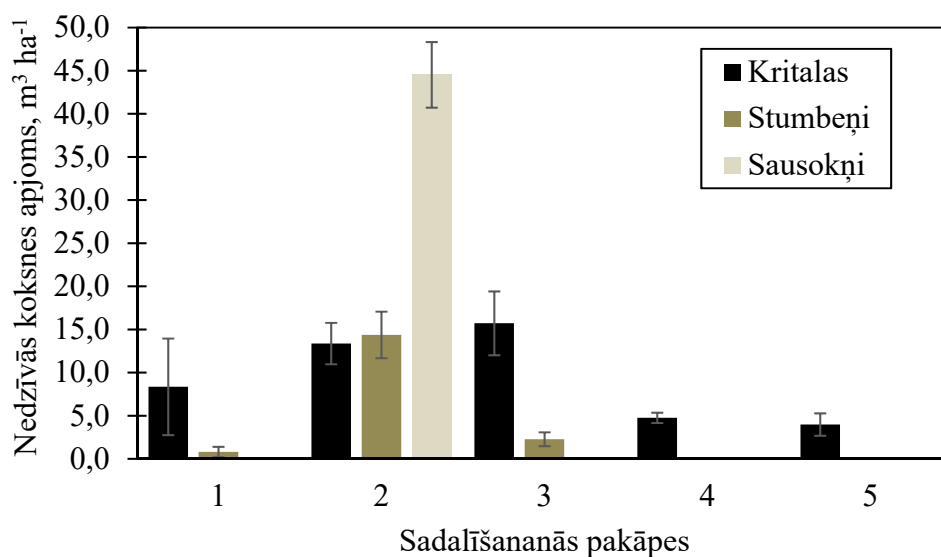
Nedzīvā jeb atmirusī koksne ietver kritalas, sausokņus un stumbeņus. Pētījuma objektos vidējais atmirušās koksnes apjoms ir 95,9 ± 18,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> un tas nav būtiski atšķirīgs starp meža tipiēm (p = 0,80), stipri variējot pa objektiem no 19,9 līdz 200,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (1.7. tab.).

1.7. tabula. Nedzīvās koksnes raksturojums pētījuma objektos, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

Objekts	Kritalas	Stumbeņi	Sausokņi	Kopā
103-489-19	129,7	6,2	36,2	172,2
104-162-9	12,3	1,5	40,6	54,4
105-245-15	75,9	18,0	73,1	167,0
107-211-3	20,3	18,2	47,6	86,1
109-265-3	17,2	20,2	34,2	71,6
110-388-2	54,0	8,7	39,7	102,3
110-388-3	20,6	5,7	30,4	56,7
203-407-5	17,0	11,7	36,3	65,1
205-242-1	46,6	7,9	54,7	108,0
205-243-3	99,0	17,7	42,4	159,1
205-255-18	24,9	19,9	83,0	127,8
301-218-32	7,7	17,1	4,8	29,6
303-360-12	24,2	18,2	24,2	66,6
303-360-13	26,2	18,2	29,6	71,7
303-360-15	27,7	13,6	51,5	92,9
304-165-12	23,3	58,3	37,5	119,1
305-174-12	33,7	50,1	66,0	149,8
408-363-19	12,0	1,5	23,8	37,4
409-292-15	43,6	6,9	49,4	99,9
502-213-20	4,3	0,4	15,2	19,9
504-56-9	20,1	5,6	45,7	71,3
504-58-7	13,5	1,4	56,6	71,5
603-378-2	110,0	24,9	65,8	200,6
603-393-5-6	157,0	11,4	31,4	199,7
706-175-22	11,7	0,7	40,4	52,9
706-361-29	21,9	18,6	40,8	81,3
707-185-6	5,6	9,3	29,7	44,5
713-66-40	7,2	13,6	47,1	67,9
802-432-11	25,0	9,7	35,1	69,8
805-43-27	31,7	18,1	110,1	159,9

Nedzīvās koksnes apjoms objektā Dm un Nd vidēji ir attiecīgi  $96,2 \pm 24,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  un  $100,6 \pm 74,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Pētījuma objektos vidēji kritalu un sausokņu apjoms ir  $37,5 \pm 14,4$  un  $44,1 \pm 7,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , taču stubeņu apjoms ir būtiski ( $p < 0,001$ ) mazāks ( $14,5 \pm 4,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ).

Vērtējot proporcionāli, sausokņi veido 46%, kritalas 39% un stubeņi 15% no kopējās atmirušās koksnes apjoma. Tā kā priede sadalās samērā ilgā laika periodā, šāds proporcionālais sadalījums varētu liecināt, ka relatīvi nesen lielākos apjomos ir sākusies dabiskā atmiršana, ņemot vērā objektos konstatēto relatīvi lielo koku skaitu un audzes šķērslaukumu. Analizējot atmirušo koksni pa sadalīšanās pakāpēm, secināts, ka vidēji analizētajos objektos lielākoties ir vidēji sadalījušies koki. Kritālām novēro visas sadalīšanās pakāpes, bet sausokņiem tikai 2. sadalīšanās pakāpi. Pētītajos objektos 82% gadījumu tur esošiem stubeņiem bija 2. sadalīšanās pakāpe, 13% gadījumu jau 3. sadalīšanās pakāpe, kā arī 5% stubeņu konstatēta 1. sadalīšanās pakāpe (1.5. att.). Atšķirīgais sadalījums pa sadalīšanās pakāpēm starp sausstāvošo koku grupām norāda uz būtisku dabisko traucējumu ietekmi vecākos mežos, kas var nozīmīgi ietekmēt arī tajos saistītā oglekļa apjomu (Luysaert et al., 2002).



1.5. attēls. Vidējais atmirušās koksnes apjoms pa sadalīšanās pakāpēm pētītajos objektos visā analizētajā audžu kopā.

Pāraugušās priežu audzēs konstatētais nedzīvās koksnes apjoms ir būtiski lielāks nekā pieaugušās priežu audzēs ( $26,7 \pm 9,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; MSI dati). Atšķirībā no pāraugušām priežu audzēm, kur stubeņos novērots būtiski mazāks nedzīvās koksnes apjoms nekā abās pārējās atmirušās koksnes grupās, pieaugušās audzēs netika konstatētas būtiskas apjoma atšķirības starp nedzīvās koksnes veidiem. Tas norāda uz atšķirīgu audzes struktūru un procesiem dažāda vecuma audzēs.

## Oglekļa krātuves novērtējums

Pāraugušās priežu mežaudzēs aprēķināts dzīvajā un nedzīvajā koksne uzkrātais ogleklis katrā objektā, kā arī atsevišķi pa parauglaukumiem, kuros iegūtie dati norāda uz audžu struktūras heterogenitāti šajā vecumā. Rezultāti liecina, ka pāraugušās priežu audzēs uz minerālaugsnēm (Dm) uzkrātais oglekļa apjoms ir nozīmīgi (par 39%;  $p < 0,001$ ) lielāks nekā līdzīga vecuma audzēs uz slāpjam kūdras augsnēm (Nd) (1.8. tab.).

1.8. tabula. Oglekļa apjoms pāraugušās priežu audzēs Dm un Nd, t ha<sup>-1</sup>

Objekts	Dzīvā koksne			Atmirusī koksne			Kopā	
	Virszeme	Pazeme	Kopā	Kritālas	Stumbeņi	Sausokņi		
103-489-19	91,30	24,17	115,47	17,81	0,76	5,54	24,11	<b>91,30</b>
104-162-9	162,19	39,85	202,04	1,91	0,24	6,33	8,48	<b>162,19</b>
105-245-15	105,84	28,39	134,24	11,38	2,64	10,75	24,77	<b>105,84</b>
107-211-3	149,91	37,58	187,49	2,61	2,30	6,80	11,71	<b>149,91</b>
109-265-3	138,44	34,64	173,08	2,54	2,74	5,10	10,38	<b>138,44</b>
110-388-2	112,92	30,10	143,02	7,96	1,10	6,17	15,23	<b>112,92</b>
110-388-3	106,83	27,89	134,72	2,76	0,67	4,33	7,76	<b>106,83</b>
203-407-5	140,65	35,66	176,31	2,24	1,30	5,12	8,66	<b>140,65</b>
205-242-1	144,18	38,31	182,49	5,86	0,81	7,70	14,36	<b>144,18</b>
205-243-3	141,44	38,11	179,55	12,26	2,09	5,88	20,24	<b>141,44</b>
205-255-18	154,65	40,49	195,14	3,45	2,79	12,54	18,78	<b>154,65</b>
<u>301-218-32</u>	45,52	12,31	57,82	0,96	2,07	0,72	3,75	<b>45,52</b>
303-360-12	142,77	38,75	181,52	3,40	2,31	3,68	9,39	<b>142,77</b>
303-360-13	142,69	38,14	180,84	3,46	1,93	4,17	9,56	<b>142,69</b>
303-360-15	146,30	38,63	184,92	3,69	1,94	7,21	12,84	<b>146,30</b>
<u>304-165-12</u>	91,55	25,31	116,86	3,91	8,70	6,06	18,68	<b>91,55</b>
<u>305-174-12</u>	99,22	26,15	125,37	3,99	6,07	7,40	17,46	<b>99,22</b>
408-363-19	148,86	40,70	189,56	1,79	0,21	3,61	5,61	<b>148,86</b>
409-292-15	134,95	37,99	172,95	6,29	0,80	7,42	14,51	<b>134,95</b>
502-213-20	131,03	34,71	165,74	0,55	0,05	2,20	2,80	<b>131,03</b>
504-56-9	147,81	39,18	186,99	3,11	0,87	7,05	11,04	<b>147,81</b>
504-58-7	147,03	38,84	185,87	2,05	0,22	8,78	11,04	<b>147,03</b>
603-378-2	157,95	39,09	197,04	17,13	3,12	9,62	29,87	<b>157,95</b>
603-393-5-6	118,02	30,72	148,74	23,24	1,69	4,76	29,69	<b>118,02</b>
706-175-22	119,99	31,95	151,94	1,63	0,11	5,87	7,62	<b>119,99</b>
706-361-29	113,24	32,23	145,46	3,14	2,43	5,35	10,92	<b>113,24</b>
<u>707-185-6</u>	72,63	19,39	92,01	0,66	1,00	3,36	5,02	<b>72,63</b>
713-66-40	154,30	39,07	193,37	0,90	1,86	6,16	8,92	<b>154,30</b>
802-432-11	142,66	34,36	177,02	3,70	1,41	5,47	10,58	<b>142,66</b>
<u>805-43-27</u>	87,31	23,29	110,61	3,95	2,26	12,44	18,65	<b>87,31</b>

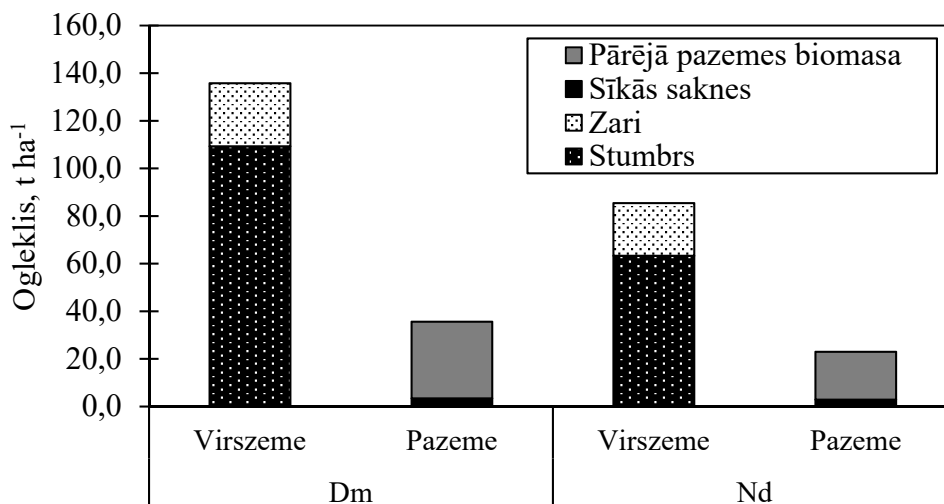
pasvītrotie – objekti niedrājā

Pētījumā konstatēts, ka pāraugušās Dm audzēs vidēji oglekļa uzkrājums virszemē ir 135,8 ± 7,7 tonnas ha<sup>-1</sup> (variē no 91,3 līdz 162,2 t ha<sup>-1</sup>), bet pazemē 35,6 ± 1,9 tonnas ha<sup>-1</sup> (variē no 24,1 līdz 40,7 t ha<sup>-1</sup>). Savukārt pāraugušās priežu audzēs Nd oglekļa krātuve dzīvajā biomasā ir par 41 % mazāka nekā Dm, virszemē veidojot vidēji 79,2 ± 26,3 tonnas ha<sup>-1</sup> (variē no 45,5 līdz



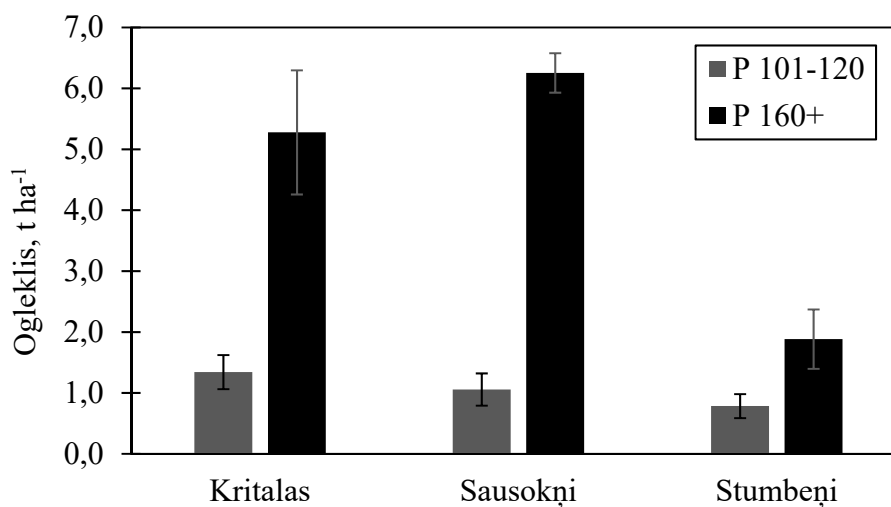
99,2 t ha<sup>-1</sup>), bet pazemē 21,3 ± 7,0 tonnas ha<sup>-1</sup> (variē no 12,3 līdz 26,2 t ha<sup>-1</sup>) oglekļa uzkrājuma (1.8. tab.).

Vērtēts arī uzkrātais oglekļa apjoms pa koka biomasas frakcijām (1.6. att.). Lielākā oglekļa krātuve ir stumbrs (Dm 64 %; Nd 59 % no kopējā oglekļa apjoma). Zari ir nozīmīga oglekļa krātuve, tomēr Nd (20 % no kopējā oglekļa uzkrājuma) tā veido lielāku proporciju nekā Dm (16 % no kopējā oglekļa uzkrājuma). Oglekļa uzkrājums pazemes biomasā, kurā ietilpst balstsaknes, uzsūcošās saknes un celms, Dm un Nd veido 19 %, bet sīkajās saknēs tikai 2 un 3 % no kopējā dzīvajā biomasā uzkrātā oglekļa apjoma (1.6. att.).



1.6. attēls. Oglekļa uzkrājums dzīvās koksnes biomasas frakcijās.

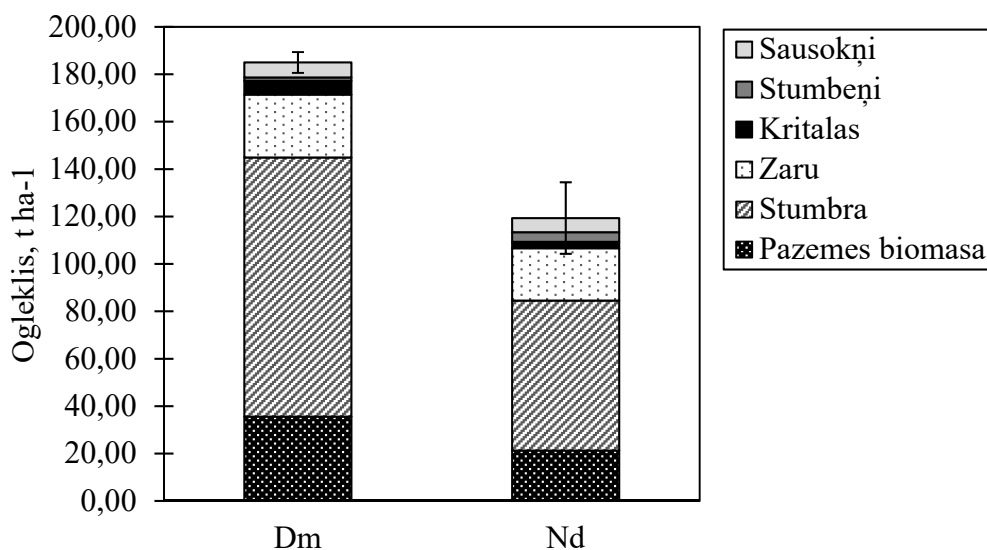
Uzkrātais oglekļa apjoms atmirušajā koksnē, līdzīgi kā šādas koksnes apjoms (1.7. tab.) būtiski neatšķiras starp meža tipiem ( $p=0,79$ ). Kopumā uzkrātais ogleklis nedzīvajā koksnē pāraugušās priežu audzēs vidēji ir 13,4 ± 2,7 t ha<sup>-1</sup> (Dm 13,6 ± 3,0 t ha<sup>-1</sup>, Nd 12,7 ± 9,5 t ha<sup>-1</sup>) un stipri variē pa objektiem: Dm no 2,8 līdz 29,9 t ha<sup>-1</sup>, Nd no 3,8 līdz 18,7 t ha<sup>-1</sup> (1.8. tab.). Pāraugušās priežu audzēs kopā vidējais oglekļa apjoms sausokņos un kritalās ir 6,3 ± 1,0 un 5,3 ± 2,1 t ha<sup>-1</sup>, un starp šīm grupām oglekļa apjoms būtiski neatšķiras ( $p = 0,79$ ). Savukārt stumbeņos uzkrātais oglekļa apjoms ir būtiski mazāks (1,9 ± 1,0 t ha<sup>-1</sup>) ( $p<0,001$ ), salīdzinot ar abām pārējām nedzīvās koksnes grupām (1.7. att.).



1.7. attēls. Oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksnē pa grupām pāraugušās priežu audzēs.

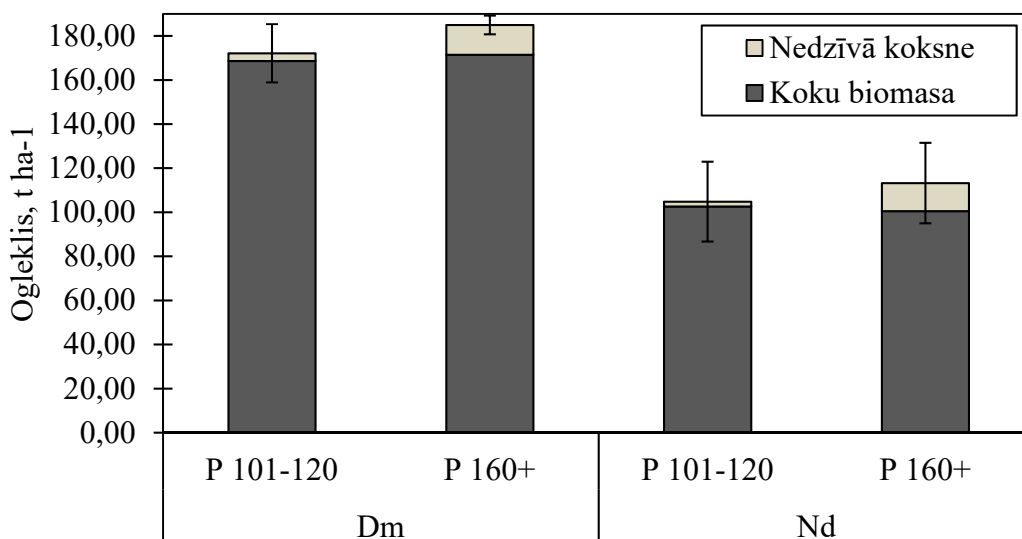
Oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksnē pieaugušās priežu audzēs ir būtiski mazāks (vidēji par 72 % mazāk) visās nedzīvās koksnes grupās nekā pāraugušās priežu audzēs, tomēr proporcionāli pieaugušās audzēs vislielākā oglekļa krātuve no atmirušās koksnes grupām ir kritālas, nevis sausokņi, kā tas novērots pāraugušās priežu audzēs (1.7. att.). Visticamāk, atšķirības var izskaidrot ar dažādu saimnieciskās darbības režīmu audžu grupās (MSI nevar atlasīt audzes bez saimnieciskās darbības pēdām), īpaši meža tipos uz normāla mitruma minerālaugsnēm (Dm), kur sausās koksnes izvākšana, t.sk. sanitārajās cirtēs, ir izplatīta prakse.

Kopējais uzkrātais oglekļa apjoms pāraugušās priežu audžu biomasā vidēji damaksnī un niedrājā ir attiecīgi  $184,97 \pm 9,15$  un  $113,24 \pm 41,93$  t ha<sup>-1</sup> (1.8. att.).



1.8. attēls. Oglekļa krātuves koksnē pāraugušās priežu audzēs.

Lai novērtētu kopējo oglekļa uzkrājumu pāraugušās priežu audzēs, aprēķinātās oglekļa krātuvju vērtības salīdzinātas ar rezultātiem no pieaugušām priežu audzēm (1.9. att.).

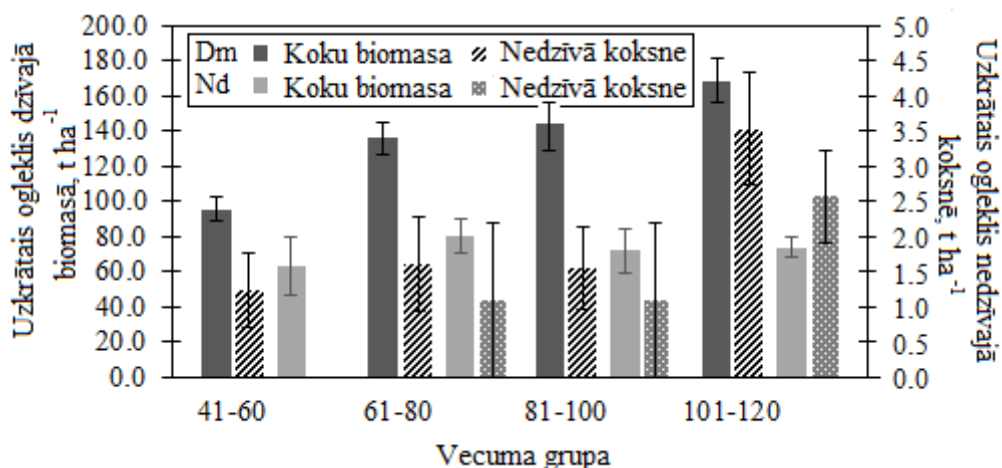


1.9. attēls. Oglekļa uzkrājums pieaugušās (aprēķini no MSI parauglaukumu datiem) un pāraugušās priežu audzēs Dm un Nd.

Iegūtie rezultāti apliecina, ka Dm kopējais (dzīvajā un nedzīvajā biomasā) uzkrātā oglekļa apjoms pieaugušās (vidēji  $181,12 \pm 45,34$  t ha<sup>-1</sup>) un pāraugušās priežu audzēs būtiski neatšķiras

( $p = 0,82$ ) (1.9. att.). Arī Nd kopējais uzkrātā oglekļa apjoms nav būtiski atšķirīgs ( $p = 0,77$ ) pieaugušās audzēs (vidēji  $104,82 \pm 37,29 \text{ t ha}^{-1}$ ) un pāraugušās priežu audzēs. Tomēr, kaut arī dzīvajā biomasā gan Dm, gan Nd uzkrātais oglekļa apjoms nav būtiski atšķirīgs pieaugušās un pāraugušās priežu audzēs, abos meža tipos nedzīvās koksnes daudzums ir būtiski lielāks (Dm  $p < 0,001$ ; Nd  $p = 0.003$ ) pāraugušās audzēs.

Lai gūtu priekšstatu par oglekļa uzkrājumu jaunākās priežu audzēs, izmantoti MSI parauglaukumu dati (113 parauglaukumi Dm; 20 Nd) pa vecuma grupām, kurās šajā datu kopā bija pietiekams parauglaukumu skaits tā raksturošanai (1.10. att.).



1.10. attēls. Oglekļa uzkrājums dažāda vecuma priežu audzēs damaksnī un niedrājā Meža statistiskās inventarizācijas datos.

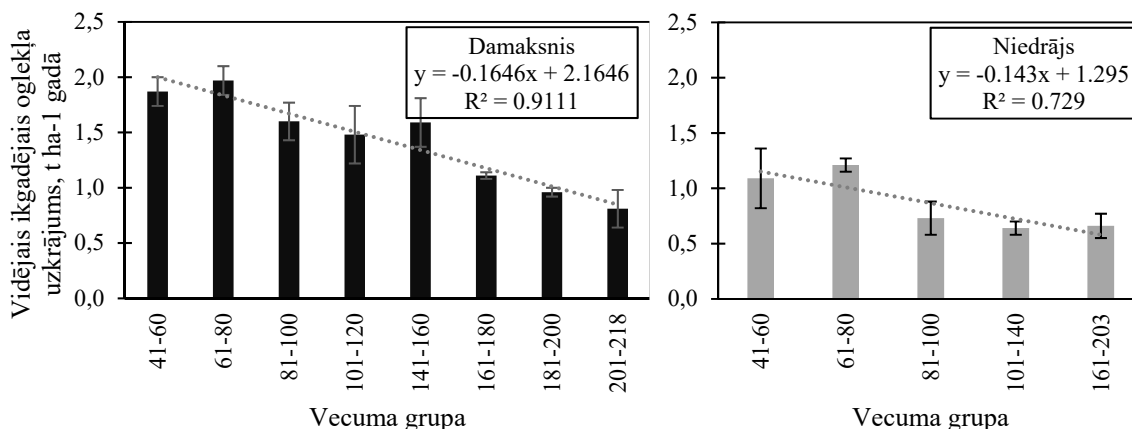
Redzams, ka oglekļa uzkrājums augošu koku biomasā pieaug, palielinoties audzes vecumam, līdz 61-80 gadu vecumā tas ir līdzīgs kā konstatētais pieaugušās un pāraugušās audzēs. Minimālās uzkrātā oglekļa apjoma izmaiņas, audzēm pārsniedzot 61-80 gadu vecumu, skaidrojamas ar krājas kopšanas (mazākā mērā – arī sanitāro) ciršu ietekmi, kurās daļa koku biomasas tiek izvesta no meža. Oglekļa uzkrājumam dažādā vecumā Nd raksturīga lielāka izkliede, jo tajā ir mazāks parauglaukumu skaits. Tāpat oglekļa uzkrājumam nedzīvajā koksne, īpaši Nd, raksturīga augsta izkliede, ko ietekmē gan atmirušās koksnes veidošanās (piemēram, dabiski traucējumi, savlaicīgi neveiktas krājas kopšanas cirtes), gan tās izstrāde, izvācot nokaltušos kokus pēc dabiskajiem traucējumiem sanitārajās vai krājas kopšanas cirtēs.

Izmantojot MSI un pētījumā ievāktos datus, aprēķināts vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums katrā vecuma grupā, dalot kopējo oglekļa uzkrājumu katrā audzē ar tās vecumu. Ņemot vērā, ka Nd konstatēts neliels audžu skaits visās vecuma grupās, izveidotas apvienotās vecuma grupas 101-140 (MSI) un 161-203 (pētījuma objekti).

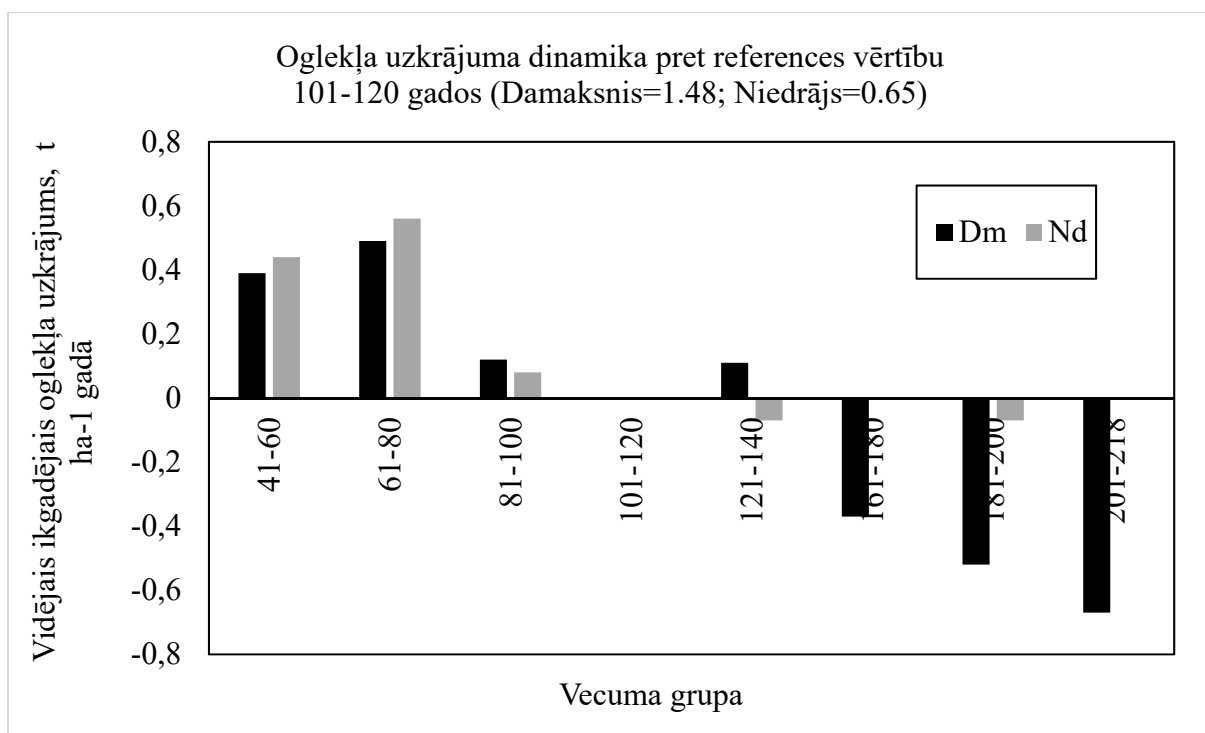
Gan Dm, gan Nd vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums būtiski samazinās vecākās audzēs (1.11. att.), lai gan šo tendenci var ietekmēt arī citi faktori (Pussinen et al., 2002; Law et al., 2003; Gough et al., 2008). Salīdzinājumā ar references vecumu (101-140 gadi), oglekļa ikgadējais uzkrājums koku biomasā un nedzīvajā koksne būtiski neatšķiras nedaudz jaunākās audzēs (81-100 gadi), liecinot, ka galvenā cirte šajā vecumā neatstātu nozīmīgu ietekmi uz šī elementa piesaisti rotācijas periodā. Audzes vecumam palielinoties virs 160 gadiem, samazinās ikgadējais oglekļa uzkrājums, t.i., lai arī audzes krāja un kopējais atmirušās koksnes apjoms līdz ar vecumu turpina pieaugt, tomēr tas notiek ievērojami lēnāk nekā jaunākās audzēs, līdz ar

to vidējais oglekļa uzkrājums gadā pāraugušajās audzēs ir būtiski mazāks nekā pieaugušajās (1.12. att.).

Tomēr iegūtie rezultāti neļauj spriest par dabisko traucējumu, klimata pārmaiņu, kā arī citu faktoru ietekmi uz oglekļa uzkrājuma izmaiņām dažādos vecumos dabiskās sukcesijas rezultātā.



1.11. attēls. Vidējais oglekļa uzkrājums gadā damakšņa un nidrāja priedes audzēs dažādās vecuma grupās (dati no MSI un pētījuma objektiem).



1.12. attēls. Vidējais oglekļa uzkrājums gadā damakšņa un nidrāja priedes audzēs dažādās vecuma grupās (dati no MSI un pētījuma objektiem) salīdzinājumā ar cirtmeta vecumklasi.

Interpretējot rezultātus, jāņem vērā, ka izmantota paraugkopa, kurā esošajās audzēs priede ir valdošā koku suga pētījuma veikšanas brīdī, neizvirzot apgalvojumus par to, cik lielā daļā gadījumu šāds stāvoklis būtu konstatējams arī vairāk nekā 160 gadu vecumā. Tāpat jāņem vērā, ka pieaugušās priežu audzes nav izvēlētas tādas, kurās nav notikusi saimnieciskā darbība (kam ir ietekme uz sausās koksnes apjomu). Tādēļ iegūtie rezultāti nav izmantojami, lai

analizētu oglekļa dinamiku pilnīgi saimnieciskās darbības neskartās platībās, kā arī, lai analizētu vecuma ietekmi uz to pāraugušo audžu grupas ietvaros. Lai veiktu šādu salīdzinājumu, būtu nepieciešams ierīkot pastāvīgus parauglaukumus, kurus periodiski uzmērot vairāku desmitgadu laikā, varētu iegūt datus par oglekļa dinamiku.

Ņemot vērā darba procesā iegūtās atziņas, turpmākos pētījumos rekomendējams:

- ievākt nedzīvās koksnes paraugus pāraugušās priežu audzēs vismaz valdošajai koku sugai pa sadalīšanās pakāpēm (1-5), lai korekti aprēķinātu oglekļa uzkrājumu nedzīvās koksnes grupās (stumbeņi, sausokņi un kritalas);
- ievākt augsnes, nobiru, nelielu dimensiju kritalu datus pēc pētījuma metodikas arī pieaugušās priežu audzēs, atkarībā no izvirzītā uzdevuma, iespējams, izvēloties tikai tādas, kurās nav konstatējamas nesenas un/vai nozīmīgas saimnieciskās darbības pēdas;
- paplašināt pētījuma datu kopu, ietverot tajā arī jaunaudzes (gan tādas, kas veidojušās, atjaunojoties pēc dabiskajiem traucējumiem vecā mežā, gan stādītas) un iegūstot pamatotu informāciju par oglekļa uzkrājuma dinamiku, mainoties dominējošajai koku vecumklasei;
- izstrādāt metodiku un novērtēt audžu vecumstruktūras izmaiņas ilgākā laika periodā dabisko traucējumu ietekmē, nodrošinot iegūto rezultātu ekstrapolācijas iespējas;
- noteikt koksnes blīvumu veciem kokiem un salīdzināt ar jaunāku koku koksnes blīvuma datiem, lai noskaidrotu koksnes blīvuma izmaiņas. Tā kā koksnes blīvums būtiski maina oglekļa uzkrājumu koku biomasā (Alvarez et al., 2012; Babst et al., 2013), būtu nepieciešams noskaidrot, kādas ir koksnes blīvuma vērtības dažāda vecuma priedēs. Atkarībā no iegūtajiem datiem, nākotnē varēs izstrādāt koka biomasas aprēķināšanas modeļus veciem kokiem, iekļaujot arī koksnes blīvumu, lai uzlabotu aprēķinu precizitāti.
- paplašināt pētījumus par oglekļa saturu koku biomasā (zari, saknes) nozīmīgākajām koku sugām, ietverot tajos arī lielāka vecuma (pāraugušus, kā definēti šajā pētījumā) kokus.

Kopumā konstatēts, ka damaksnī un niedrājā kopējais koku biomasā un nedzīvajā koksnē uzkrātā oglekļa apjoms pieaugušās un pāraugušās priežu audzēs būtiski neatšķiras; tomēr pāraugušās audzēs līdz ar vecuma palielināšanos būtiski samazinās vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums.

Secinājums: ja saimnieciskās darbības mērķis ir maksimizēt oglekļa uzkrājumu koku biomasā un nedzīvajā koksnē, priežu audzēs nav rekomendējams palielināt galvenās cirtes vecumu.

## 2. Augstuma pieaugumu datu ievākšana no augošu koku galotnes daļas 60 eglēm 2016. gadā ierīkotajos parauglaukumos un 60 priedēm 2017.gadā ierīkotajos parauglaukumos, pieauguma datu sagatavošana

Katrā parauglaukumā izvēlas vienu dominējošu (I vai II Krafta klase), nebojātu egli vai priedi (nav stumbra bojājumu – apikālās dominances zudums vai sakņu trupe). Sākotnēji pēc parauglaukuma apraksta datiem izvēlas 3. resnāko koku. Ja tas ir bojāts, tad 4. resnāko vai 2. resnāko, pašu resnāko vai 5. resnāko.

Veic urbumus:

- 1) celma augstumā (aptuveni 1% augstumā no koka augstuma);
- 2) 1,3 m augstumā virs sakņu kakla (koka sakņu kakls definēts kā vieta, kur koka stumbrs pāriet sānsaknēs, un sākas tā spējš paplašinājums);
- 3) 2 m augstumā virs sakņu kakla;
- 4) 3 m augstumā virs sakņu kakla;
- 5) 5 m augstumā virs sakņu kakla;
- 6) ne tālāk kā 6 m no galotnes (jāuzmēra augstums virs sakņu kakla);
- 7) ne tālāk kā 4 m no galotnes (jāuzmēra augstums virs sakņu kakla);
- 8) ne tālāk kā 2 (3) m attālumā no galotnes (jāuzmēra augstums virs sakņu kakla);
- 9) aptuveni ½ no koka augstuma (veselos metros).

Visu izvēlēto koku augstums pārsniedz 28 m. Veikta visu paredzēto pieauguma urbumu ievākšana un apstrāde (līmēšana, slīpēšana, gadskārtu platumu uzmērīšana).

Iegūtie dati, saskaņā ar darba uzdevumu, izmantoti a/s “Latvijas valsts meži” pasūtīta un finansēta pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” realizācijai. Pētījumā “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai tiek izmantoti vairāk nekā 3000 MSI koku dati, kas papildināti ar veco egļu un priežu stumbra analīžu datiem. Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas aproksimācijai izmantots Hossfeld IV vienādojuma (Кивисте, 1988) vispārinātās algebriskās diferences pieejas modelis (Krumland & Eng, 2005):

$$H_2 = 1.3 + \frac{A_2^{\alpha_1}}{\alpha_2 + 100 \cdot \alpha_3 \cdot X_0 + X_0 \cdot A_2^{\alpha_1}} \quad (2.1)$$

$$X_0 = \frac{A_1^{\alpha_1}}{100 \cdot \alpha_3 + A_1^{\alpha_1}} - \alpha_2 \quad (2.1.1)$$

kur  $H_2$  – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda beigās, m;  
 $H_1$  – meža elementa vidējais augstums aktualizācijas perioda sākumā, m;  
 $A_1$  – meža elementa vecums 1,3 m augstumā aktualizācijas perioda sākumā, gadi;  
 $A_2$  – meža elementa vecums 1,3 m augstumā aktualizācijas perioda beigās, gadi;  
 $\alpha_{1-3}$  – koeficienti.

Meža elementa virsaugstuma augšanas gaitas modelē datorprogrammā SPSS 14.0 for Windows, izmantojot rīku Non-linear regression un bootstrap funkciju. Ar vecajās audzēs

ievākto koku datiem papildinātie LVMI Silava virsausgustuma augšanas gaitas modeļi spēj mežsaimnieciski loģiski raksturot pieaugušu un pāraugušu egļu un priežu audžu augšanas gaitu, un tie ir ekstrapolējami arī lielākā (ārpus datu analīzē izmantotā vecuma apgabala) vecumā.

### 3. Augsnes, nobiru un zemsedzes paraugu ievākšana (27 parastās priedes audzes) un apstrāde (14 parastās egles audzes un 13 parastās priedes audzes) oglekļa uzkrājuma raksturošanai

Saskaņā ar apstiprināto pētījuma metodiku, veikta augsnes paraugu ievākšana tajās priežu audzēs, kurās veikta parauglaukumu uzmērīšana (1.1. att.):

- katrā paraugu vākšanas punktā (4 gab. objektā) 1 m<sup>2</sup> platībā savāc visus uz zemes esošos zarus, kuru d<6cm (nevācot daļas, kuras iziet ārpus 1 m<sup>2</sup> laukuma robežām), un ievāc zemsegas paraugu (100 cm<sup>2</sup> laukumos 3 atkārtojumos);
- katrā paraugu vākšanas punktā izrok 60x120x90 cm bedres augšnes paraugu ievākšanai. Bedres garākā mala aptuveni paralēla parauglaukuma rādiusam, paraugus (augšnes fizikālo īpašību noteikšanai un ķīmiskajām analīzēm) ievāc no bedres īsākās malas, kura tālāk no centra O horizontā (zemsega), 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm un 40-80 cm dziļumā;
- augšnes raksturošanai ārpus kokaudzes parauglaukuma ierīko profilbedri, ievācot paraugus augšnes tipa noteikšanai / precizēšanai, kā arī 0°, 90°, 180° leņķī no centra ierīko paraugu vākšanas punktus (3 nogabalā), to vietas izvēloties vismaz 2 m attālumā no celmiem, mikroreljefa pazeminājumiem vai paaugstinājumiem, netipiskiem mežaudzes elementiem un vismaz 2 m attālumā no lieliem augošiem kokiem.

Ņemot vērā augšnes laboratorijas noslodzi un novecojušo infrastruktūru, kuras atjaunošana plānota šobrīd realizācijā esošā ERAF līdzfinansēta projekta ietvaros, pārskata periodā nebija iespējams nodrošināt visu priežu audzēs ievākto augšnes paraugu apstrādi. Tādēļ šis darbs bez atsevišķa finansējuma iekļaujams nākamā etapa darba uzdevumos un tiks pabeigts līdz 2018. gada 30. jūnijam.

Pārskata periodā veikta visu paredzēto egles audžu augšņu paraugu apstrāde saskaņā ar pētījuma metodiku – paraugiem noteikti un aprēķināti ķīmisko sastāvu raksturojošie parametri: augšnes pH<sub>KCl</sub>; CaCO<sub>3</sub>, g kg<sup>-1</sup>; C<sub>karb.</sub>, g kg<sup>-1</sup>; C<sub>org.</sub>, g kg<sup>-1</sup>; apmaiņas bāzu kapacitāte, cmol kg<sup>-1</sup>; piesātinājums ar bāzēm, %; apmaiņas bāzes, cmol kg<sup>-1</sup>, augšnes blīvums, kg m<sup>-3</sup>; augšnes frakcija > 2 mm, % un aprēķināta augšnes slāņa masa, t ha<sup>-1</sup> (sastāvoša no augšnes skeleta un smalkās frakcijas masas). Izmantojot iegūtos datus, veikta oglekļa apjoma augšnē aprēķināšana. Iegūtie rezultāti nav izmainījuši projekta iepriekšējā etapā izdarītos secinājumus: konstatēts, ka kopējais oglekļa apjoms parauglaukumos variē ļoti plašā amplitūdā: no 63 līdz 322 t ha<sup>-1</sup>, vidēji tas bija 151±30,6 t ha<sup>-1</sup>. Veco audžu datu kopā ir konstatēta sakarība starp audzes vecumu un oglekļa uzkrājumu augšnē (0-80 cm dziļumā), tomēr tā ir ļoti vāja (r=0,15) un nav statistiski būtiska. Vājo saikni starp oglekļa uzkrājumu augšnē un audzes vecumu apliecina arī šajā un BioSoil pētījumā iegūto datu salīdzinājums: oglekļa apjoms pāraugušās audzēs ir 121±20,3 t ha<sup>-1</sup> un pieaugušās 116 t ha<sup>-1</sup>, atšķirības nav statistiski būtiskas. Šie rezultāti neizslēdz iespēju, ka oglekļa uzkrāšanās augšnē meža ekosistēmā laika gaitā varētu notikt, tomēr liecina, ka tā ir ļoti lēna un tās precīzai raksturošanai būtu nepieciešamas citas metodes vai ievērojami lielāka datu kopa.

Oglekļa uzkrājums zemsegā pāraugušās egļu audzēs vidēji ir  $30 \pm 13,6 \text{ t ha}^{-1}$ , kamēr pieaugušās egļu audzēs saskaņā ar BioSoil pētījuma datiem tikai  $7,9 \text{ t ha}^{-1}$ , liecinot, ka oglekļa uzkrājums palielinās līdz ar audzes vecumu. Tomēr veco egļu audžu datu kopā konstatēta vāja ( $r = -0,37$ ), statistiski nebūtiska, bet pretēja tendence. Iegūtie rezultāti var liecināt par zemsegā uzkrātā oglekļa apjoma straujām izmaiņām, mainoties kādiem audzes parametriem vai arī par tā stabilizāciju noteiktā audzes vecumā. Diemžēl esošā paraugkopa pieaugušās egļu audzēs, kas iegūta projektā BioSoil, ir ļoti ierobežota rezultātu iegūšanai par oglekļa apjomu – norādītajā vecuma grupā ir tikai 5 audzes. Tādēļ pilnvērtīgu secinājumu izdarīšanai būtiska papildus zemsegas datu ievākšana pieaugušās egļu audzēs.

Iegūtie rezultāti nodrošina iespējas sasniegt projekta praktisko mērķi – raksturot vidējo oglekļa uzkrājumu pāraugušās egļu audzēs, kas izmantojamas oglekļa piesaistes novērtējumam LVM mērogā (pēc audžu taksācijas datiem). Tomēr ir lietderīga papildus datu ievākšana oglekļa uzkrājuma dinamikas raksturošanai meža tipos, kur egles pārstāvēta visvairāk (kā Dm, Vr kā arī papildus Dms, Vrs, As). To rekomendējams veikt, izmantojot šī pētījuma metodiku tieši blakus Meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumiem (ārpus to robežām). Izvēlētās paraugkopas apjomam vajadzētu būt līdzvērtīgam vecajās audzēs ierīkotajam. Tas nodrošinātu iespējas verificēt iegūtos secinājumus un sagatavot materiālu zinātniskai publikācijai, kas tālāk izmantojama kā reference siltumnīcefekta gāzu piesaistes aprēķinos Latvijā.

Kopumā konstatēts, ka oglekļa uzkrājums augsnē pieaugušās un pāraugušās audzēs nozīmīgi vai statistiski būtiski neatšķiras, savukārt oglekļa uzkrājuma zemsegā raksturošanai nepieciešama lielāka datu kopā nekā šobrīd pētījumā izmantotā.

Secinājums: ja saimnieciskās darbības mērķis ir maksimizēt oglekļa uzkrājumu augsnē, egļu audzēs nav rekomendējams palielināt galvenās cirtes vecumu.



## 4. Apraksta sagatavošana par krājas sadalījuma pa koku sugām un vecuma grupām izmaiņām, palielinoties audzes vecumam.

Darba uzdevuma izpilde veikta, apkopojot Meža statistiskās inventarizācijas parauglaukumu (platība >250m<sup>2</sup>) datus un salīdzinot ar šajā pētījumā iegūtajiem, rezultāti atspoguļoti 4.1. tabulā.

4.1. tabula. **Krājas (M) sadalījums pa koku sugām un vecumklasēm priedes un egles audzēs (MSI dati)**

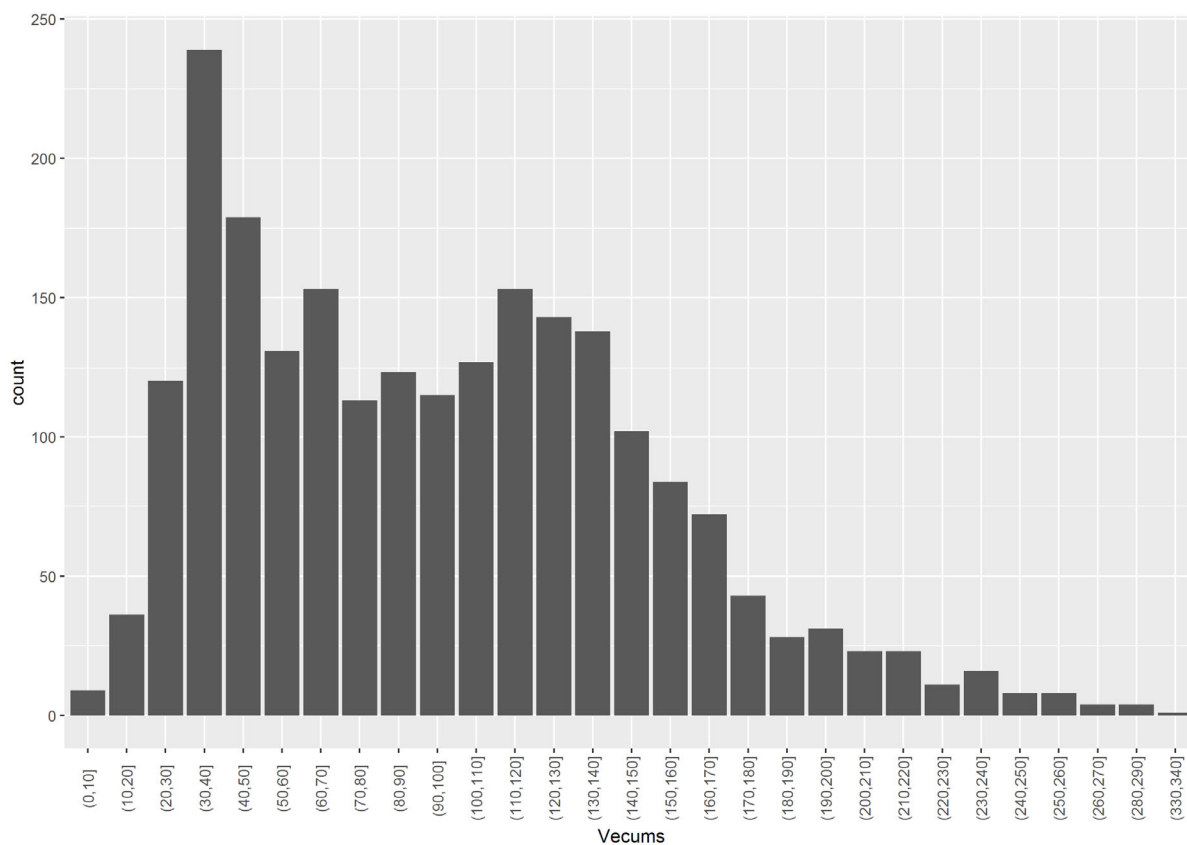
Suga, meža tips	Rādītājs	Vecums								
		1_20	21_40	41_60	61_80	81_100	101_120	121_140	141_160	161_180
Priede, damaksnis	M Priede	9	129	204	266	311	328	311	462	430
	M Egle	1	16	45	73	97	105	125	97	149
	M Bērzs	1	12	28	32	26	21	34	10	35
	M KOPĀ	12	162	294	388	445	466	489	576	617
Egle, damaksnis, vēris	M Priede	0	2	14	29	56	44	53	46	
	M Egle	14	146	228	238	276	299	298	224	
	M Bērzs	2	12	21	36	37	39	5	38	
	M KOPĀ	17	176	286	337	398	396	394	350	

Pētījuma objektos priežu audzēs kopējā krāja vidēji ir  $524,5 \pm 49,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , egļu audzēs (šī pētījuma 2016. gada starpatskaite) robežās no 212 līdz  $594 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , vidēji (mediāna)  $341 \pm 36,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Priežu audzēs kopējā krāja un priedes krāja, kas konstatēta veco audžu parauglaukumos, iekļaujas uz parauglaukumiem balstītās sakarības robežās. Egļu audzēs kopējā krāja un egles krāja saskaņā ar MSI datiem samazinās, audzēm pārsniedzot 140 gadu vecumu, veco audžu pētījuma dati liecina par tās stabilizāciju. Tomēr jāņem vērā, ka šajā pētījumā parauglaukumi mērķtiecīgi izvietoti audzēs, kur priede un egle ir valdošās koku sugas, neņemot vērā dažādu dabisko traucējumu potenciālo ietekmi.

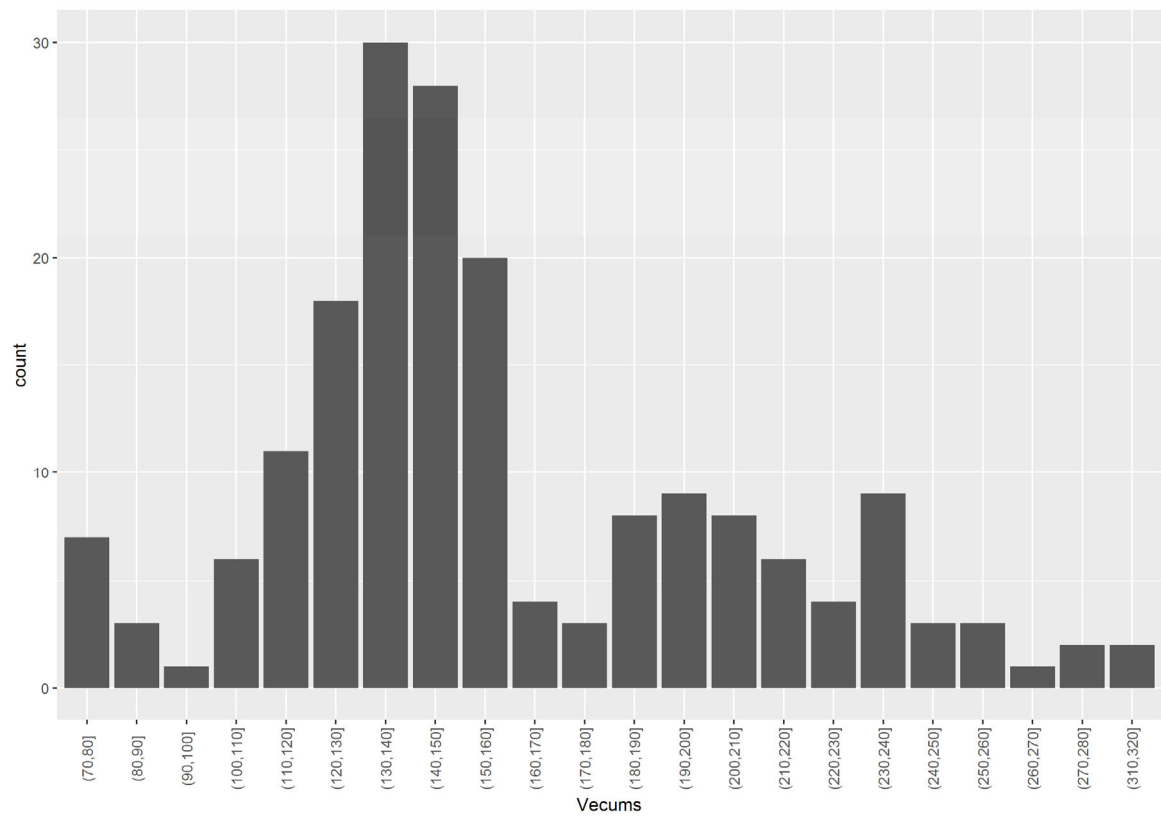
Iegūtie dati, līdzīgi kā 2. un 5. nodaļā atspoguļotie, izmantoti LVMI Silava īstenota un a/s "Latvijas valsts meži" finansēta pētījuma "Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana" realizācijai.

## 5. Pāraugušu egļu audžu pieauguma un oglekļa uzkrājuma dinamikas raksturošanai precizēti SILAVAS (J.Doņa) izstrādātie augstuma, caurmēra un šķērslaukuma augšanas gaitas modeļi, tos papildinot ar pāraugušu egļu audžu pieauguma datiem.

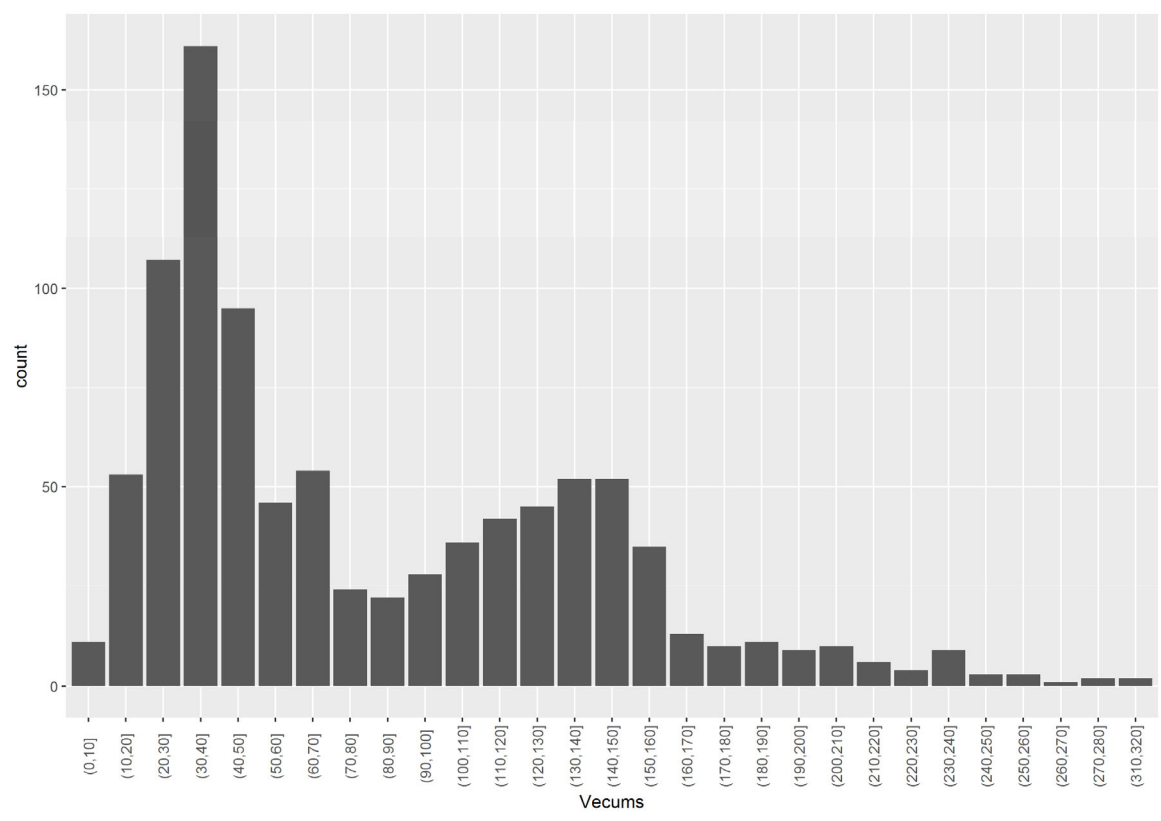
Kopumā pārskata periodā veikta 3183 pieaugumu urbumu ievākšana. Lielākā daļa uzmērīto urbumu ir egles (70%), bērza (8%) un priedes (6%). Egles maksimālais vecums paraugkopā sasniedz 338 gadus, puse no tām vecāka par 81 gadu (5.1. att.). Līdzīgs vecums konstatēts arī vecākajām priedēm; pārējo koku sugu vecums ievērojami mazāks (5.2. att.).



**5.1. attēls. Egļu urbumu vecuma sadalījums pētījuma ietvaros uzmērītajos parauglaukumos**



(a)

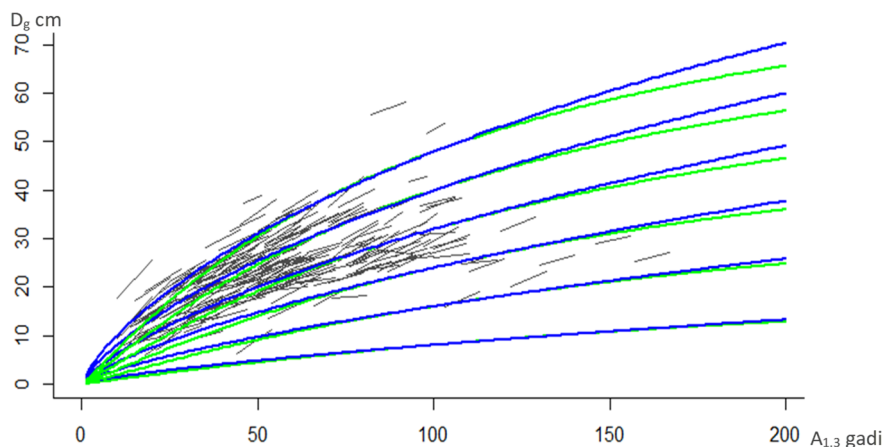


(b)

**5.2. attēls. Priežu (a) un pārējo koku sugu (b) urbumu vecuma sadalījums pētījuma ietvaros uzņēmītajos parauglaukumos**

Iegūtie dati, saskaņā ar darba uzdevumu, izmantoti a/s “Latvijas valsts meži” pasūtīta un finansēta pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” realizācijai, integrējot tos kopējā augšanas gaitas modeļu izstrādei izmantotā datu kopā. Jauniegūtie pieaugumu dati uzlabos caurmēra augšanas gaitas modeļu precizitāti, jo īpaši egļu audzēs pēc 100 gadu krūšaugstuma

vecuma sasniegšanas. Proti, precīzāk tiks raksturota caurmēra pieauguma apstāšanās jeb t.s. “iziešana plato fāzē”, kas līdz šim, veidojot modeļus tikai uz MSI datiem, mazā veco audžu skaita dēļ netika precīzi atspoguļota (5.3. att.).



Zaļā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2016. gadā ieteiktajiem koeficientiem, zilā līnija – prognozētā augšanas gaita ar 2017. gadā aprēķinātajiem koeficientiem.

**5.3. attēls. Egles uzmērītās vidējā caurmēra ( $D_g$ ) izmaiņas MSI datus atkarībā no krūšaugstuma vecuma ( $A_{1.3}$ ) un aproksimētā vidējā augstuma augšanas gaita atkarībā no caurmēra krūšaugstuma vecumā 100 gadi ( $D_{100} = 8; 16; 24; 32; 40; 48$  cm) un pie 1. stāva relatīvās biežības 0.55.**

Kopumā konstatēts, ka šī pētījuma datu izmantošana nodrošina vecu koku augšanas gaitas prognozēšanas modeļu precizitātes paaugstināšanu.

## 6. Atmirušās koksnes apjomu ietekmējošo faktoru (audzes parametru) noskaidrošana pāraugušās egļu audzēs un salīdzināšana ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem par pieaugušām egļu audzēm

### Materiāls un metodika

Analīzē izmantoti dati par 72 parauglaukumiem no 17 pāraugušām egļu audzēm (vecums uzmērīšanas brīdī 161–185 gadi) damaksnī un vērī, kas iegūti šī pētījuma ietvaros. Analīzē izmantoti tikai tie parauglaukumi, kuros:

- I stāva valdošā koku suga parauglaukumā ir egle;
- I stāva valdošās koku sugas sastāva koeficients ir vismaz pieci;
- meža tips konkrētajā parauglaukumā ir damaksnis vai vērī.

Tāpat analīzē izmantoti dati par 75 MSI trešajā ciklā (2014. – 2016. gads) uzmērītajiem parauglaukumiem, kuros

- I stāva valdošā koku suga parauglaukumā ir egle;
- I stāva valdošās koku sugas vecums ir 71 līdz 110 gadi;
- meža tips parauglaukumā ir damaksnis vai vērī
- izdalītā sektora platība ir vismaz 400 m<sup>2</sup>.

Atmirušās koksnes apjoms analizēts atkarībā no kokaudzes kopējā un pirmā stāva šķērslaukuma, izvirzot pieņēmumu, ka retākās audzēs (pie mazāka šķērslaukuma) ir lielāks atmirušās koksnes apjoms. Iespējams, ka audzes biežības raksturošanai piemērotāks rādītājs būtu mežaudzes krāja, tomēr tiek izmantots šķērslaukums, jotas ir vieglāk un precīzāk nosakāms taksācijas rādītājs.

Tāpat atmirušās koksnes apjoms analizēts atkarībā no I stāva valdošās koku sugas augstuma (audzes ražības rādītājs), izvirzot pieņēmumu, ka augstākas ražības audzēs (pie lielāka vidējā augstuma) atmirušās koksnes apjoms ir lielāks.

Apvienojot MSI un veco audžu datus atmirušās koksnes apjoms analizēts atkarībā no mežaudzes vecuma.

### Rezultāti

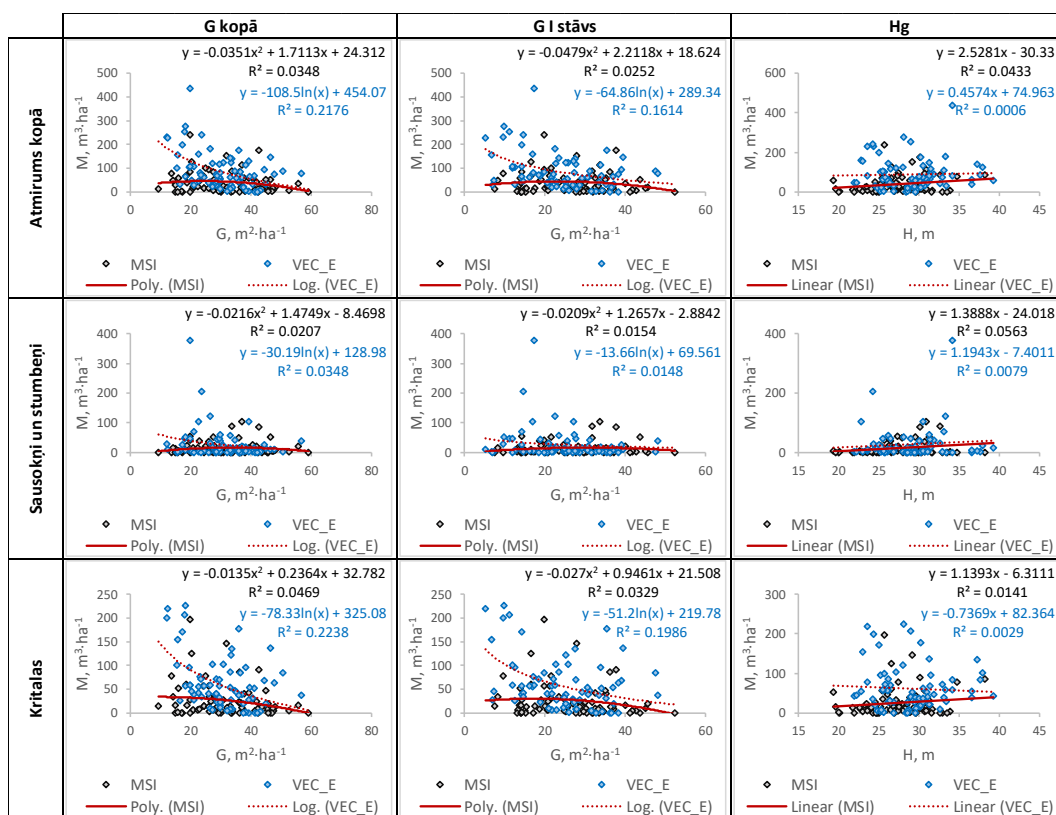
Analizētajās pāraugušajās egļu audzēs aritmētiski vidējais atmirušās koksnes apjoms ir 88,2±17,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, bet uzkrātais ogleklis atmirušajā koksnē ir 13,2±2,7 t ha<sup>-1</sup>. Savukārt MSI parauglaukumos pieaugušo egļu audzēs aritmētiski vidējais atmirušās koksnes apjoms ir 38,7±10,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, bet uzkrātais ogleklis atmirušajā koksnē ir 5,8±1,5 t ha<sup>-1</sup>.

**Pāraugušās egļu audzes** damaksnī un vērī atmirušās koksnes apjomam un atmirušās koksnes uzkrātajam ogleklim konstatētas vidēji ciešas nelineāras, negatīvas korelācijas ar kokaudzes šķērslaukumu, savukārt, atsevišķi izdalītam kokaudzes I stāva nelineāras sakarības ar atmirušās koksnes apjomu un uzkrāto oglekli ir ievērojami vājākas (6.1. un 6.2. att.). Kritalu apjomam un to uzkrātajam ogleklim ar abiem iepriekš pieminētajiem taksācijas vienību šķērslaukumiem ir konstatētas vidēji ciešas nelineāras, negatīvas korelācijas. Savukārt stāvošās atmirušās koksnes (sausokņi un stumbeņi) apjomam un līdz ar to uzkrātajam ogleklim nav korelatīvas sakarības ar kokaudzes un kokaudzes I stāva. Starp valdošās koku sugas vidējo augstumu un atmirušās koksnes apjomu nav konstatētas korelatīvas sakarības, liecinot, ka

atmirušās koksnes apjoms nav atkarīgs no audzes ražības (virsaugstuma bonitātes) izmaiņām vērtēto meža tipu ietvaros.

**Pieaugušās egļu audzēs** damaksnī un vērī atmirušās koksnes apjomam un atmirušās koksnes uzkrātajam ogleklim nav konstatētas korelatīvas sakarības ne ar kokaudzes kopējo, ne I stāva šķērslaukumu, ne arī ar I stāva valdošās koku sugas augstumu (6.1. un 6.2. att.). Likumsakarīgi nav konstatētas korelatīvas sakarības iepriekšminētajiem kokaudzes taksācijas rādītājiem arī atsevišķi izdalot stāvošo atmirušo koksni un kritalas.

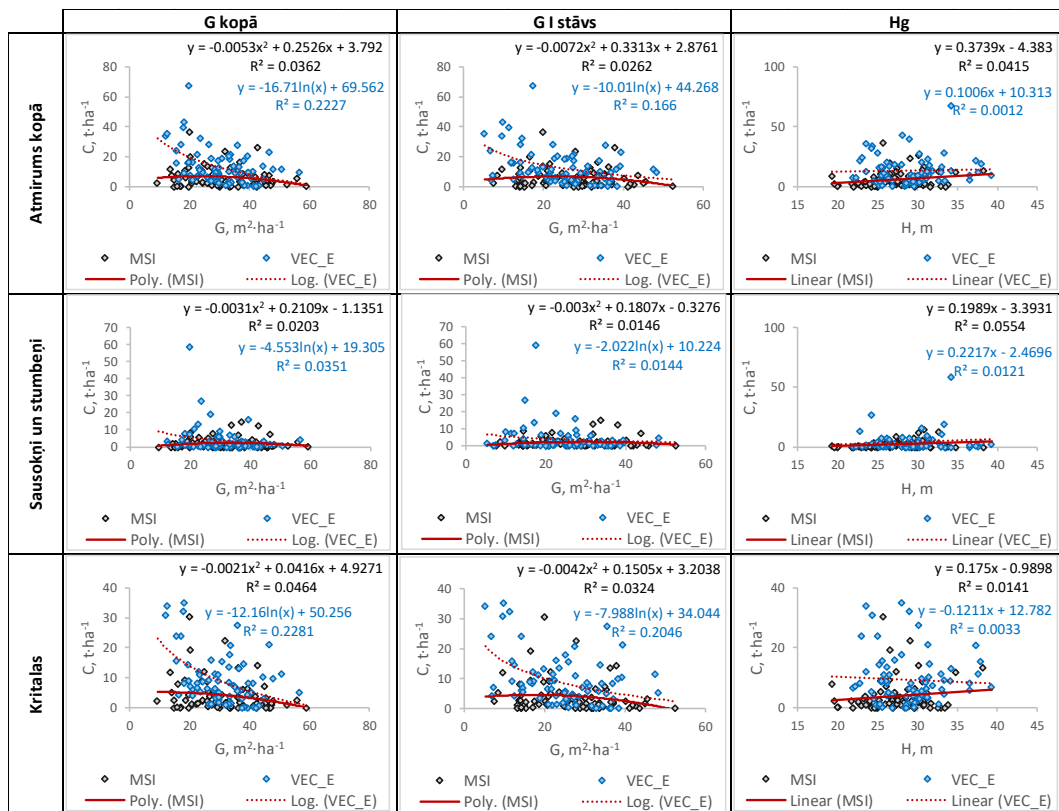
Egļu audzēs damaksnī un vērī, apvienojot pāraugušo audžu un pieaugušo audžu datus, starp atmirušās koksnes apjomu un mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vecumu konstatēta pozitīva, vidēji cieša, lineāra korelācija (6.3. att. a). Starp šiem rādītājiem ciešāku korelāciju iegūst, ja datu kopa tiek papildināta ar visiem MSI trešajā ciklā uzmērītajiem egļu audžu datiem (6.3. att. b).



Vec\_E – pāraugušās egļu audzes, šī pētījuma dati (dati zilā krāsā, izlīdzinātā līkne sarkana raustīta līnija),

MSI – pieaugušās egļu audzes, MSI dati (dati pelēkā krāsā, izlīdzinātā līkne sarkana nepārtraukta līnija)

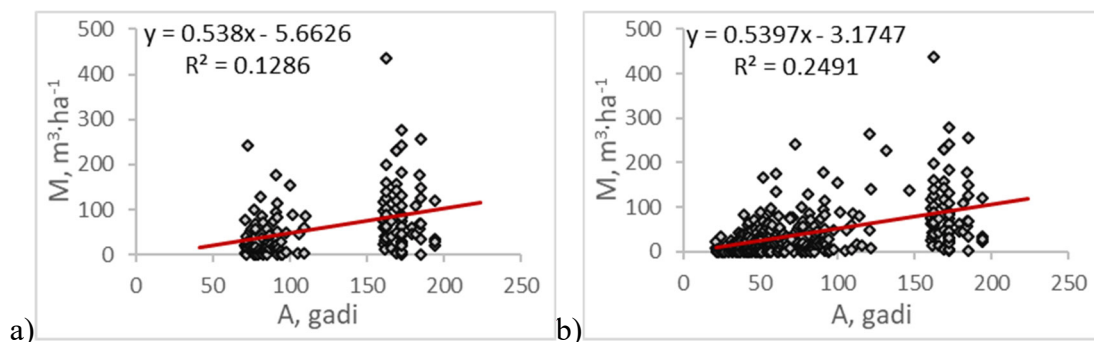
**6.1. attēls. Atmirušās koksnes apjoms dalījumā pa tās veidiem atkarībā no mežaudzes šķērslaukuma (G kopā), mežaudzes I stāva šķērslaukuma (G 1 stāvs) un valdošās koku sugas vidējā augstuma (Hg).**



Vec\_E – pāraugušās egļu audzes, šī pētījuma dati (dati zilā krāsā, izlīdzinātā līkne sarkana raustīta līnija),

MSI – pieaugušās egļu audzes, MSI dati (dati pelēkā krāsā, izlīdzinātā līkne sarkana nepārtraukta līnija)

## 6.2. attēls. Atmirušās koksnes uzkrātais ogleklis dalījumā pa tās veidiem atkarībā no mežaudzes šķērslaukuma (G kopā), mežaudzes I stāva šķērslaukuma (G 1 stāvs) un valdošās koku sugas vidējā augstuma (Hg).



## 6.3. attēls. Atmirušās koksnes apjoms (M) atkarībā no mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā vecuma (A) egļu audzēs damaksnī un vērī.

a) tikai MSI pieaugušās audzes un šī projekta pāraugušās audzes; b) visas MSI 3. ciklā uzmērītās audzes un šī projekta pāraugušās audzes.

Kompleksi novērtējot pieaugušo (MSI) un veco pāraugušo audžu (šī pētījuma) datu kopu, secināts, ka egļu audzēs damaksnī un vērī pāraugušās audzēs atmirušās koksnes apjoms ir divas reizes lielāks nekā pieaugušās audzēs. Tāpat pāraugušās audzēs atmirušās koksnes apjomam konstatēta negatīva, vidēji cieša, nelineāra korelācija ar kokaudzes šķērslaukumu (apstiprinot sākotnēji izvirzīto pieņēmumu). Pieaugušās audzēs (MSI dati) korelatīvas sakarības starp šiem rādītājiem nav konstatētas, iespējams, saimnieciskās darbības ietekmes dēļ: koptās audzēs ir mazāks ne tikai audzes šķērslaukums, bet kopšanas ciršu rezultātā audze izveidojas veselīgāka un tajā ir mazāks arī atmirušās koksnes apjoms.

Ne pieaugušās, ne pāraugušās audzēs nav konstatētas korelatīvas sakarības starp audzes augstumu un atmirušās koksnes apjomu, noraidot sākotnēji izvirzīto pieņēmumu, ka augstražīgākās audzēs atmirušās koksnes apjoms ir lielāks. Tomēr jāatzīmē, ka atlasītajos meža tipos dominē augstražīgas audzes (Ia-II bonitāte).

Egļu audzēs damaksnī un vērī, apvienojot MSI datus ar pāraugušo egļu audžu datiem, pietiekami precīzi var modelēt atmirušās koksnes apjomu atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vecuma.

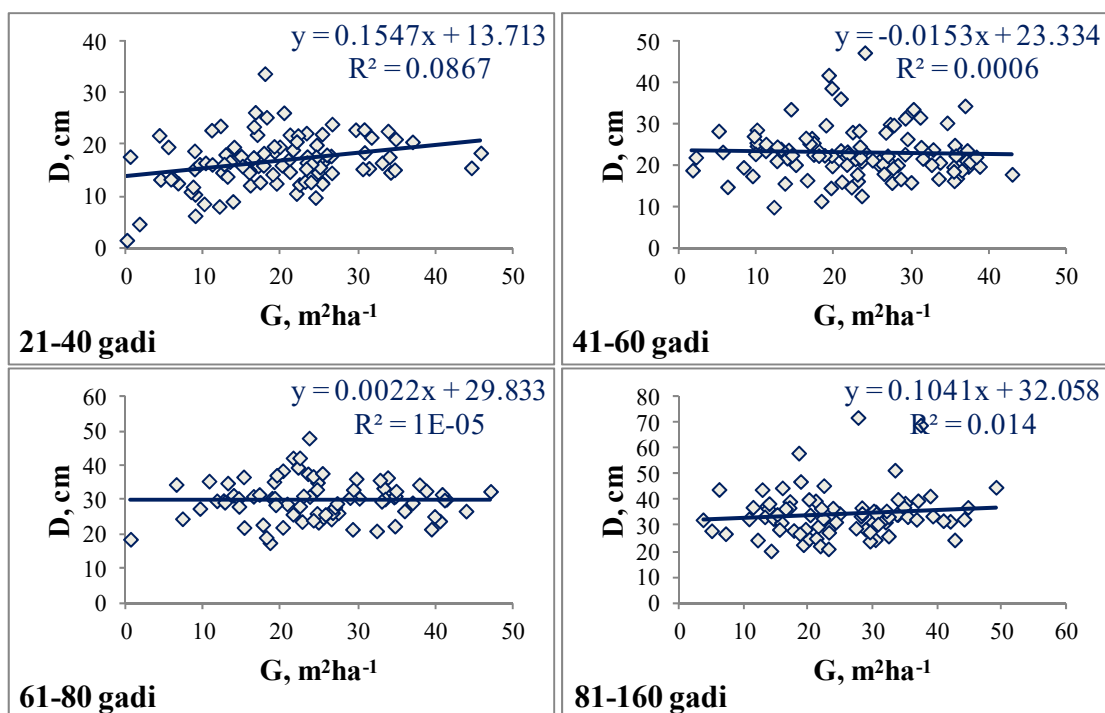


7. Apzināti dažādu koku sugu jaunās paaudzes koku ieaugšanu ietekmējošie faktori (vecās audzes taksācijas rādītāji) pāraugušās egļu audzēs un priežu audzēs, rezultāti salīdzināti ar Meža statistiskās inventarizācijas datiem.

## Egle

### Materiāls un metodika

Vidējais koku caurmērs audzē nozīmīgi atkarīgs no tās biezuma izmaiņām dažādā vecumā (sākotnējā biezuma, kopšanas, atmiruma, t.sk., dažādu biotisko un abiotisko faktoru ietekmē). Analīzē izmantojot MSI 2. cikla parauglaukumus, kuros valdošā koku suga ir egle un tās vecums ir 21–40 gadi (97 parauglaukumi), 41–60 gadi (105 PL), 61–80 gadi (80 PL), 81–160 gadi (81 PL), datus, konstatēts, ka starp kokaudzes I stāva šķērslaukumu un valdošās koku sugas (egle) vidējo caurmēru nav ciešas korelatīvas sakarības (7.1. att.). Tādēļ koku caurmērs nav izmantots kā parametrs turpmākajā analīzē, tajā ietverot tikai šķērslaukumu, vidējo augstumu un vecumu.



7.1. attēls. Kokaudzes valdošās koku sugas vidējais caurmērs atkarībā no kokaudzes I stāva šķērslaukuma egļu audzēs.

Darba uzdevuma izpildei analīzē izmanto datus par 363 Meža statistiskās inventarizācijas (turpmāk MSI) otrā cikla uzmērītajiem parauglaukumiem, kuros:

- parauglaukums nav sadalīts sektoros (līdz ar to var uzskatīt, ka viss parauglaukums atrodas vienā audzē);
- meža tips ir damaksnis vai vēris;
- I stāva valdošā koku suga ir egle;

- I stāva valdošās koku sugas vecums ir lielāks par 20 gadiem.

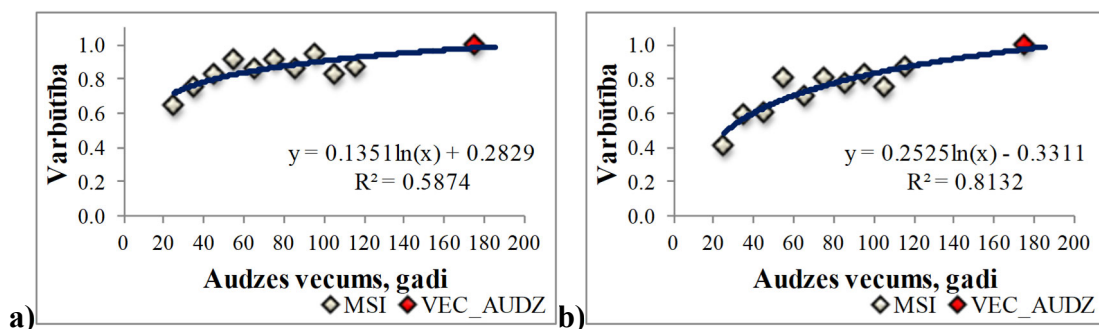
Tāpat analizē izmanto datus par pāraugušām egļu audzēm (vecums uzmērīšanas brīdī 161–185 gadi, informācija par parauglaukumiem ietverta šī pētījuma 2016. gada starpatskaitē) damaksnī un vērī, kas ievākti projekta iepriekšējā posmā (86 parauglaukumi).

Abās datu bāzēs pie paaugas ir pieskaitīti Latvijas likumdošanā noteikto meža atjaunošanai un meža ieaudzēšanai izmantojamo koku sugu koki (MK noteikumi Nr. 308 – Meža atjaunošanas, meža ieaudzēšanas un plantāciju meža noteikumi), kas nav sasnieguši 2,1 cm krūšaugsstuma caurmēru.

Paaugas rādītāji analizēti atkarībā no kokaudzes vecuma desmitgades un šķērslaukuma grupas. Atsevišķi no visas paaugas tiek izdalīta un analizēta egles paauga.

MSI datus konstatētas ciešas nelineāras sakarības mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vecumam ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks, kā arī ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki. Turklāt otrajā gadījumā šī sakarība ir ciešāka (7.2. att.).

No MSI datiem iegūtās sakarības starp audzes vecumu un paaugas esamību ekstrapolējot lielākā vecumā, nav konstatētas ievērojamas atšķirības no uzmērītajiem datiem pāraugušajās egļu audzēs (7.2. att.). Visās pāraugušajās egļu audzēs tika konstatēta paauga (varbūtība 1.00) un visās audzēs tā bija vairāk nekā 1000 koki uz hektāra (varbūtība 1.00), bet ar vienādojumu aprēķinātās varbūtības attiecīgi ir 0.98 un 0.97.



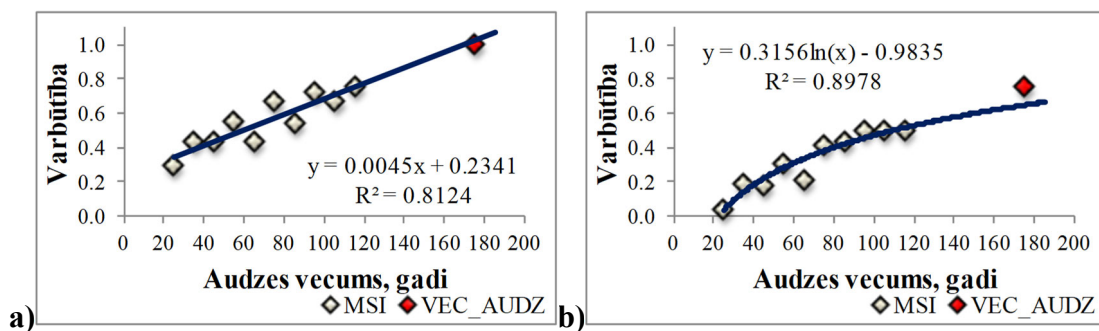
7.2. attēls. Paaugas varbūtība egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no mežaudzes vecuma

a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks; b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

Secināms, ka ar iegūtajiem vienādojumiem atkarībā no mežaudzes vecuma var prognozēt varbūtību, ar kādu egļu audzēs ir sastopama paauga, kā arī to, ar kādu varbūtību ir vismaz 1000 paaugas koki uz hektāra.

Līdzīgas sakarības no MSI datiem ir aprēķinātas arī atsevišķi egles paaugai, turklāt iegūtās sakarības ir pat ciešākas. Vēl jāatzīmē, ka mežaudzes vecumam ir konstatēta lineāra sakarība ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens egles paaugas koks, bet nelineāra sakarība – ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 egles paaugas koki (7.3. att.). Pāraugušajās egļu audzēs egļu paauga ir konstatēta visās 12 audzēs (varbūtība 1,00), bet egļu paauga vairāk nekā 1000 koki uz hektāra ir konstatēta 9 audzēs (varbūtība 0,75), savukārt ar vienādojumu aprēķinātās varbūtības attiecīgi ir 1,02 un 0,65.



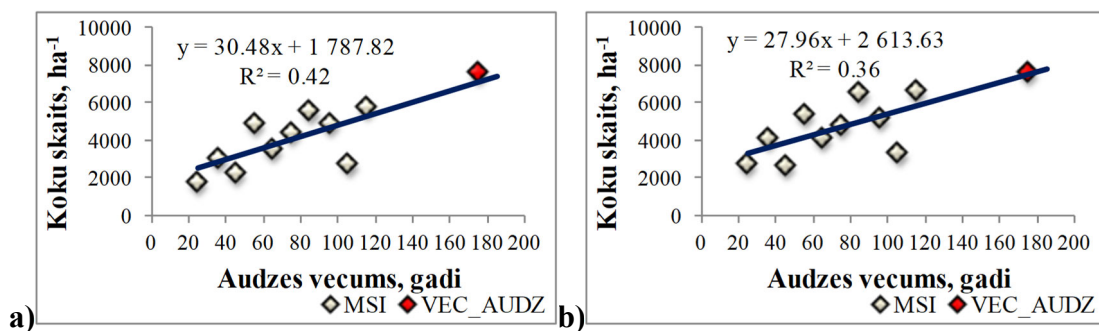
**7.3. attēls. Egles paaugas varbūtība egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no mežaudzes vecuma**

a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens egles paaugas koks; b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

Secināms, ka ar iegūtajiem vienādojumiem atkarībā no mežaudzes vecuma var prognozēt varbūtību, ar kādu egļu audzēs ir sastopama egļu paauga, kā arī to, ar kādu varbūtību egļu paauga ir vismaz 1000 koki uz hektāra.

No MSI datiem iegūtās sakarības starp paaugas koku skaitu un mežaudzes vecumu ir ievērojami vājākas, nekā tās bija paaugas esamības varbūtībai. Lai gan ar vienādojumu no MSI datiem var pietiekami precīzi prognozēt paaugas koku skaitu arī pāraugušās egļu audzēs (attiecīgi prognozētais 7507 koki uz hektāra un uzmērītais 7666 koki uz hektāra), MSI datu izkliede liecina par to, ka mežaudzes vecums nav vienīgais paaugas koku skaita ietekmējošais faktors (7.4. att.).

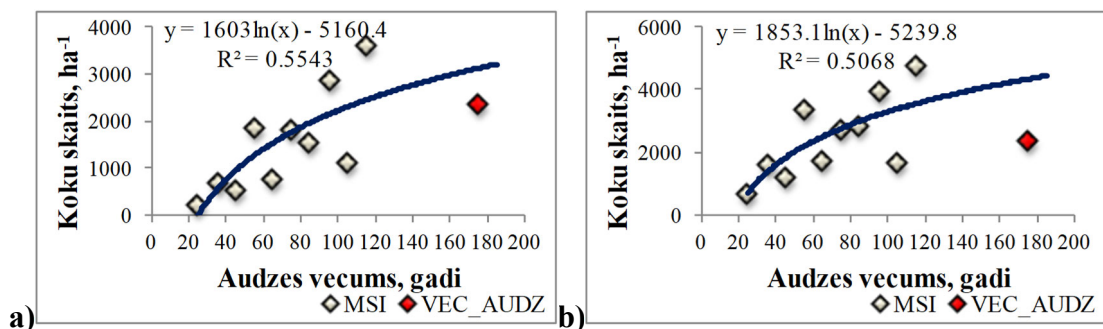


**7.4. attēls. Paaugas koku biežums egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no mežaudzes vecuma**

a) aritmētiski vidējais koku biežums visos parauglaukumos; b) aritmētiski vidējais koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta paauga;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

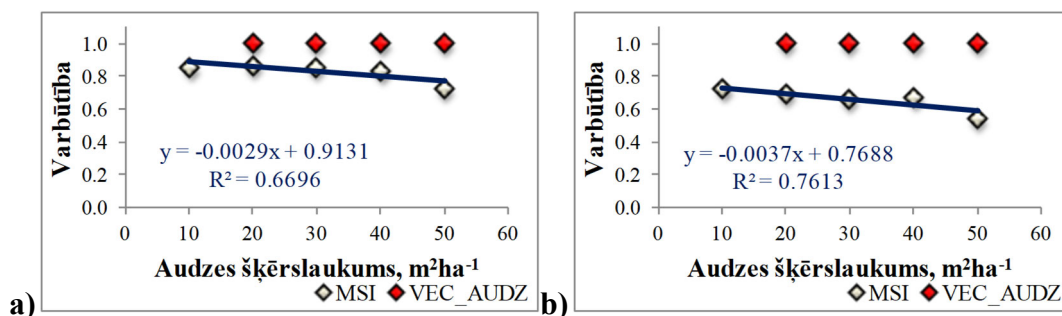
No MSI datiem iegūtās nelineārās sakarības starp egļu paaugas koku skaitu un mežaudzes vecumu ir ciešākas, tomēr, ekstrapolējot tās līdz pāraugušo egļu audžu vecumam, iegūtie rezultāti ievērojami atšķiras – uzmērīts 2340 koki uz hektāra, bet prognozēts 4331 koki uz hektāra (7.5. att.). Tas arī norāda, ka ir papildus faktori, kas ietekmē paaugas koku skaitu.



**7.5. attēls. Egles paaugas koku biežums egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no mežaudzes vecuma**

a) aritmētiski vidējais koku biežums visos parauglaukumos; b) aritmētiski vidējais koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta egles paauga;  
MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

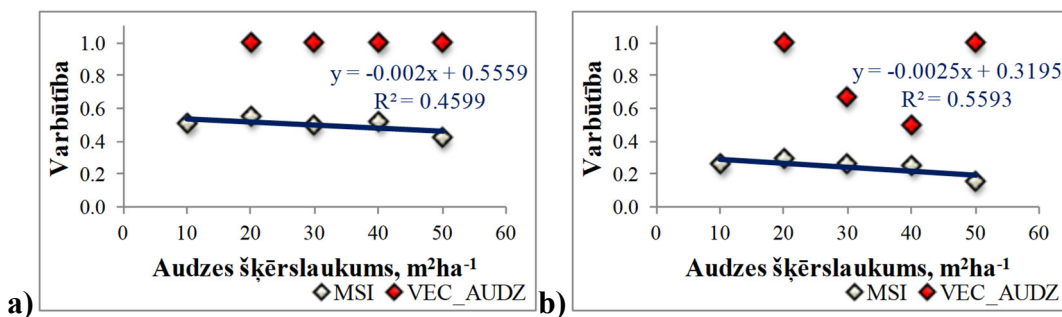
MSI datos konstatētas ciešas lineāras sakarības starp kokaudzes šķērslaukumu un varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks, kā arī ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki (7.6. att.). Tomēr no MSI datiem iegūtās sakarības starp kokaudzes šķērslaukumu un paaugas esamību nav ekstrapolējamas vecajās pāraugušajās egļu audzēs, jo šajā kopā paauga ir konstatēta visās uzņēmējajās audzēs, turklāt visās audzēs tā ir vismaz 1000 koki uz hektāra.



**7.6. attēls. Paaugas varbūtība egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes šķērslaukuma**

a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks;  
b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki;  
MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

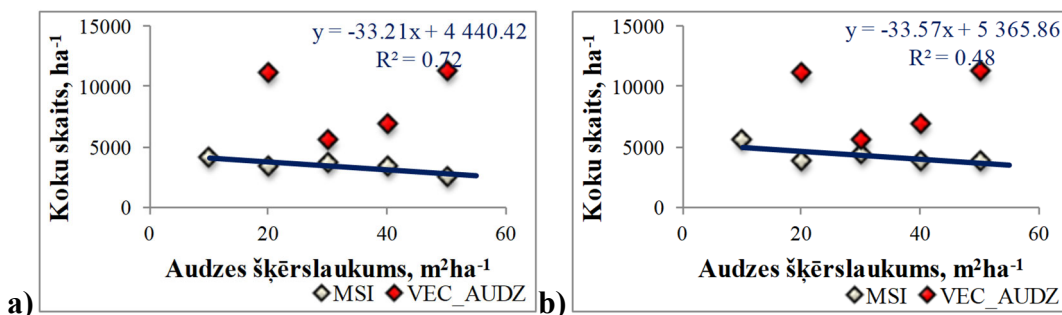
Līdzīgi kā visu koku sugu paaugai, arī egles paaugai MSI datos konstatētas ciešas lineāras sakarības starp kokaudzes šķērslaukumu un varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens egles paaugas koks, kā arī ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 egles paaugas koki (7.7. att.). Tomēr arī šajā gadījumā no MSI datiem iegūtās sakarības starp kokaudzes šķērslaukumu un egles paaugas esamību nav ekstrapolējamas vecajās pāraugušajās egļu audzēs, jo šajā kopā egles paauga ir konstatēta visās uzņēmējajās audzēs, un egles paauga vismaz 1000 koki uz hektāra ir ievērojami biežāk.



**7.7. attēls. Egles paaugas varbūtība egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes šķērslaukuma**

- a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens egles paaugas koks;  
 b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 egles paaugas koki;  
 MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

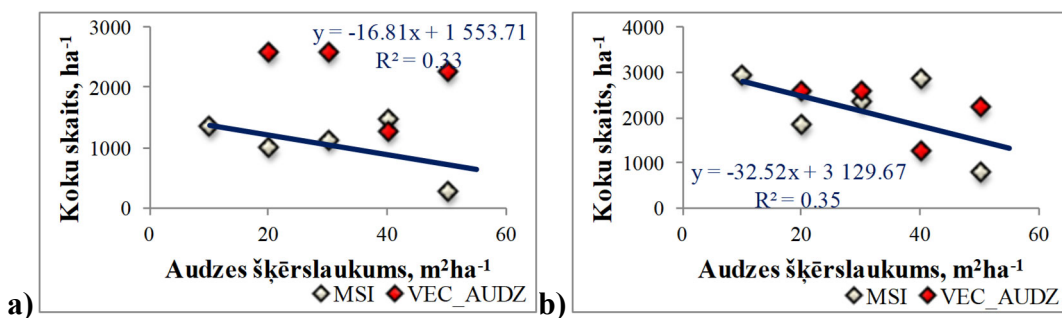
MSI datus starp kokaudzes šķērslaukumu un paaugas koku skaitu ir konstatētas ciešas, lineāras, negatīvas sakarības (7.8. att.). Tomēr atkal jāatzīmē, ka šīs sakarības nav ekstrapolējamas vecajās pāraugušajās audzēs, jo tajās ir konstatēts ievērojami lielāks koku biežums.



**7.8. attēls. Paaugas koku biežums egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes šķērslaukuma**

- a) aritmētiski vidējais paaugas koku biežums visos parauglaukumos;  
 b) aritmētiski vidējais paaugas koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta paauga;  
 MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

MSI datus starp kokaudzes šķērslaukumu un egles paaugas koku skaitu ir konstatētas vidēji ciešas, lineāras, negatīvas sakarības (7.9. att.). Jāatzīmē, ka šīs sakarības ir ekstrapolējamas arī vecajās pāraugušajās audzēs, jo tajās egles paaugas koku biežums ir līdžīgs.



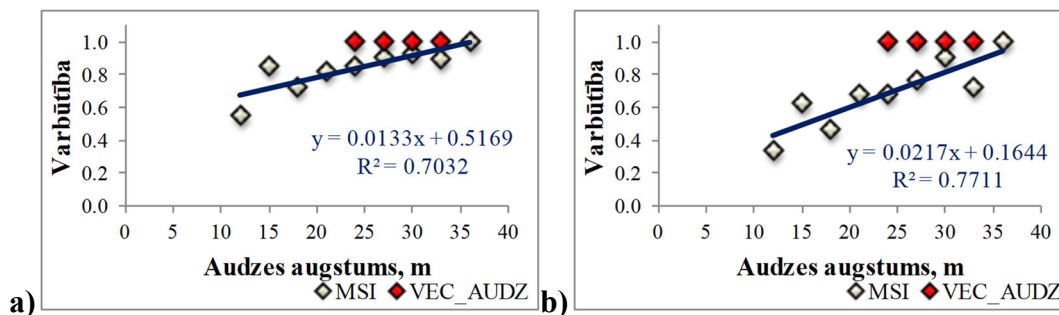
**7.9. attēls. Egles paaugas koku biežums egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes šķērslaukuma**

- a) aritmētiski vidējais egles paaugas koku biežums visos parauglaukumos;  
 b) aritmētiski vidējais egles paaugas koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta egles paauga;



MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

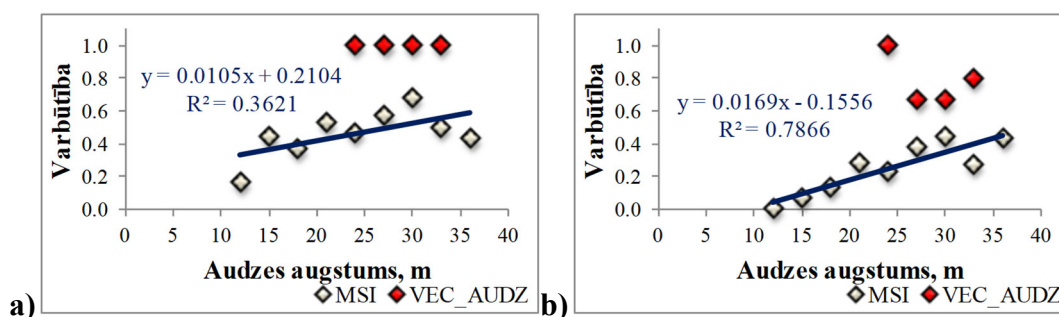
Vērtējot paaugu atkarībā no mežaudzes augstuma, MSI datos konstatētas ciešas lineāras sakarības starp kokaudzes I stāva valdošās koku sugas augstumu un varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks, kā arī ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki (7.10. att.). Tomēr no MSI datiem iegūtās sakarības starp kokaudzes augstumu un paaugas esamību nav ekstrapolējamas vecajās pāraugušajās egļu audzēs, jo šajās audzēs paauga ir konstatēta visās uzmērītajās audzēs, turklāt visās audzēs tā ir vismaz 1000 koki uz hektāra.



**7.10. attēls. Paaugas varbūtība egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma**

- a) varbūtība, ka audzē ir vismaz viens paaugas koks;
  - b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki;
- MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

Egles paaugai MSI datos konstatētas vidēji ciešas lineāras sakarības starp kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo augstumu un varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens egles paaugas koks, un ciešas lineāras sakarības starp kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo augstumu un varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 egles paaugas koki (7.11. att.). Tomēr arī šajā gadījumā no MSI datiem iegūtās sakarības starp kokaudzes augstumu un egles paaugas esamību nav ekstrapolējamas vecajās pāraugušajās egļu audzēs, jo šajās audzēs egles paauga ir konstatēta visās uzmērītajās audzēs, un egles paauga vismaz 1000 koki uz hektāra ir ievērojami biežāk.

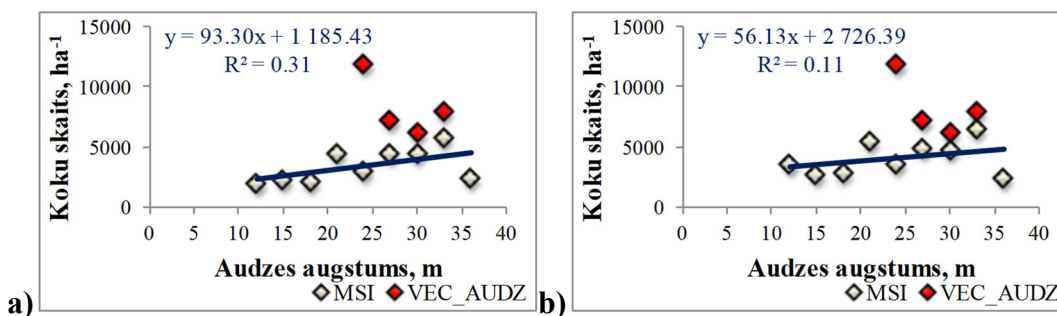


**7.11. attēls. Egles paaugas varbūtība egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma**

- a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens egles paaugas koks;
  - b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 egles paaugas koki;
- MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

MSI datos starp kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo augstumu un paaugas koku skaitu ir konstatētas vidēji ciešas, lineāras, pozitīvas sakarības (7.12. att.). Tomēr atkal

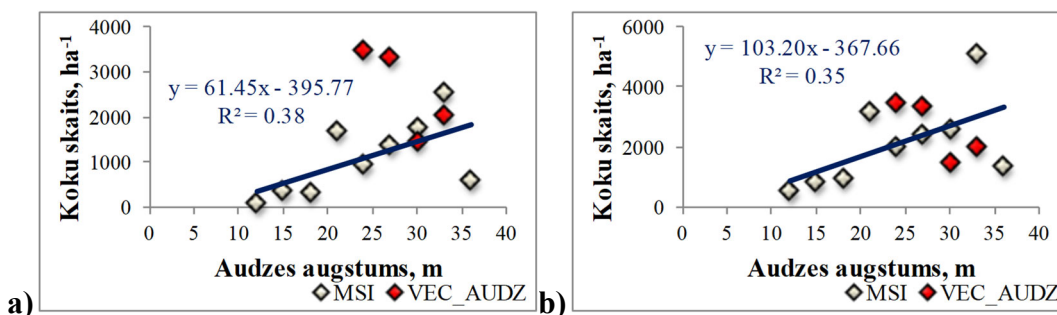
jāatzīmē, ka šīs sakarības nav ekstrapolējamas vecajās pāraugušajās audzēs, jo tajās ir konstatēts ievērojami lielāks koku biežums.



**7.12. attēls. Paaugas koku biežums egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma**

- a) aritmētiski vidējais paaugas koku biežums visos parauglaukumos;  
 b) aritmētiski vidējais paaugas koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta paauga;  
 MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

MSI datus starp kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējo augstumu un egles paaugas koku skaitu ir konstatētas vidēji ciešas, lineāras, pozitīvas sakarības (7.13. att.). Šīs sakarības ir ekstrapolējamas arī vecajās pāraugušajās audzēs, jo tajās egles paaugas koku biežums ir līdzīgs.



**7.13. attēls. Egles paaugas koku biežums egļu audzēs damaksnī un vērī atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma**

- a) aritmētiski vidējais egles paaugas koku biežums visos parauglaukumos;  
 b) aritmētiski vidējais egles paaugas koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta egles paauga;  
 MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

Kompleksi novērtējot MSI un veco audžu (šī pētījuma) datu kopu, secināts, ka egļu audzēs damaksnī un vērī paaugas un egļu paaugas esamība cieši pozitīvi korelē ar mežaudzes vecumu, bet egļu paaugas biežums ar I stāva valdošās koku sugas vidējo augstumu un kokaudzes šķērslaukumu.

## Priede

### Materiāls un metodika

Darba uzdevuma izpildei analizē izmanto datus par 477 Meža statistiskās inventarizācijas (turpmāk MSI) otrā cikla uzmērītajiem parauglaukumiem, kuros:

- parauglaukums nav sadalīts sektoros (līdz ar to var uzskatīt, ka viss parauglaukums atrodas vienā audzē);
- meža tips ir damaksnis;

- I stāva valdošā koku suga ir priede;
- I stāva valdošās koku sugas vecums ir lielāks par 20 gadiem.

Tāpat analīzē izmanto datus par 27 pāraugušām priežu audzēm (vecums uzņēmēšanas brīdī 161–220 gadi) damaksnī, kas ievākti šī projekta izstrādes laikā (178 parauglaukumi).

Abās datu bāzēs pie paaugas ir pieskaitīti Latvijas likumdošanā noteikto meža atjaunošanai un meža ieaudzēšanai izmantojamo koku sugu koki (MK noteikumi Nr. 308 – Meža atjaunošanas, meža ieaudzēšanas un plantāciju meža noteikumi), kas nav sasnieguši 2,1 cm krūšaugsstuma caurmēru.

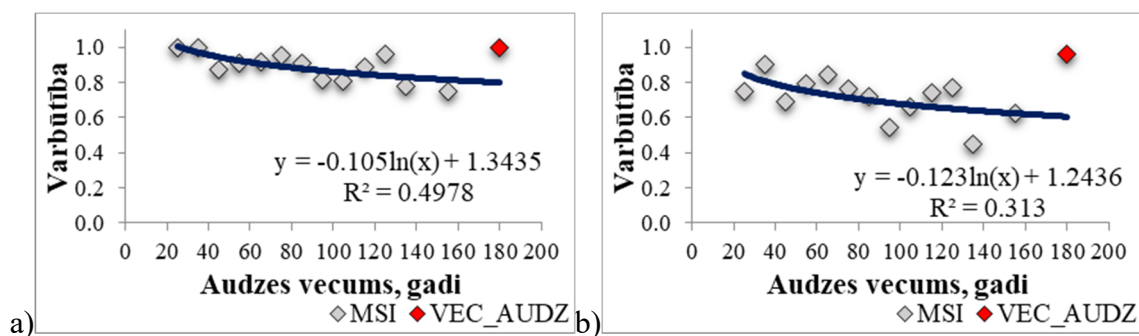
Paaugas rādītāji analizēti atkarībā no kokaudzes vecuma desmitgades un šķērslaukuma grupas. Atsevišķi no visas paaugas tiek izdalīta un analizēta priedes paauga.

### Rezultāti

MSI datus priežu audzēs damaksnī konstatētas ciešas nelineāras sakarības mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vecumam ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks, kā arī ar varbūtību, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki. Pie tam abos gadījumos šīs sakarības ir negatīvas – pie lielāka mežaudzes vecuma paaugas varbūtība ir mazāka (7.14. att.).

No MSI datiem iegūtās sakarības starp audzes vecumu un paaugas esamību ekstrapolējot lielākā vecumā, konstatētas ievērojamas atšķirības no uzņēmētajiem datiem pāraugušajās priežu audzēs (7.14. att.). Visās pāraugušajās priežu audzēs tika konstatēta paauga (varbūtība 1.00) un tikai vienā audzē tā nebija vairāk nekā 1000 koki uz hektāra (varbūtība 0.96), bet ar vienādojumu aprēķinātās varbūtības attiecīgi ir 0.80 un 0.60.

Secināms, ka uz MSI datu bāzes izstrādātie vienādojumi paaugas varbūtības aprēķināšanai atkarībā no mežaudzes vecuma nav ekstrapolējami lielākā vecumā.



**7.14. attēls. Paaugas varbūtība priežu audzēs damaksnī atkarībā no mežaudzes vecuma**

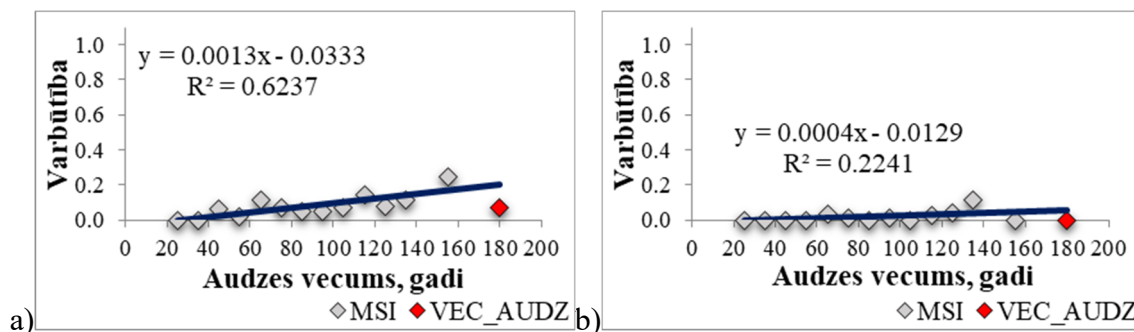
a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks; b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

MSI datus priežu audzēs damaksnī konstatēta cieša pozitīva lineāra sakarība starp mežaudzes vecumu un priedes paaugas esamības varbūtību (7.15. att.). Diemžēl iegūtais vienādojums nav izmantojams, lai prognozētu priedes paaugu vecākās audzēs, jo vienādojuma aproksimētā vērtība (0.20) ir ievērojami lielāka nekā vecajās priežu audzēs konstatētā (0.07), savukārt, MSI datus neatkarīgi no audzes vecuma konstatētā vidējā varbūtība sakrīt ar vecajās audzēs konstatēto. Nevienā no vecajām audzēm priedes paaugas koku skaits nav lielāks par 1000 kokiem uz ha, bet MSI datu bāzē varbūtība, ka priedes paaugas koku skaits sasniegs vismaz 1000 kokus uz ha, ir 0.01. Tātad arī priedes paaugas varbūtību atkarībā no mežaudzes



vecuma priežu audzēs damaksnī nav iespējams prognozēt ar uz MSI datiem izveidotajiem vienādojumiem.

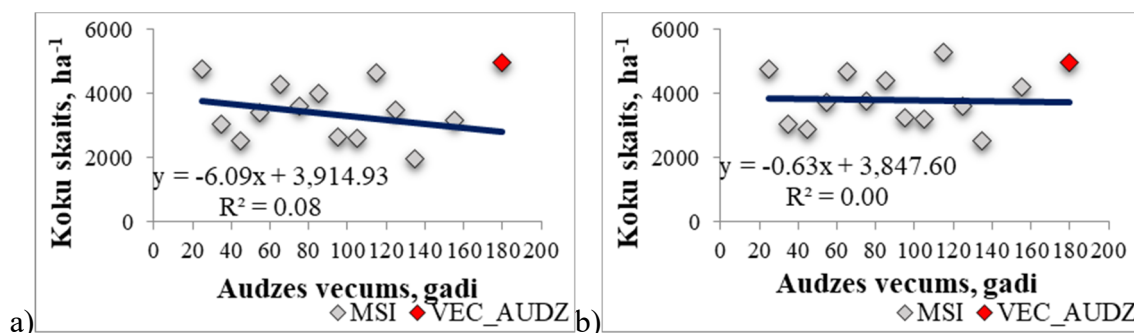


**7.15. attēls. Priedes paaugas varbūtība priežu audzēs damaksnī atkarībā no mežaudzes vecuma**

a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens priedes paaugas koks; b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 priedes paaugas koki;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

Paaugas koku skaits jeb biežums priežu audzēs damaksnī nav atkarīgs no mežaudzes vecuma, jo uz MSI datiem aproksimētās lineārās korelācijas ir vājas (7.16. att.). Principā paaugas koku biežums atkarībā no mežaudzes vecuma haotiski mainās robežās no diviem līdz sešiem tūkstošiem koku uz ha, šajā diapazonā iekļaujas arī aritmētiski vidējais konstatētais paaugas koku skaits vecajās priežu audzēs (4949). Priedes paaugas koku skaits audzē MSI datos ir vidēji 88 koki uz ha, bet vecajās audzēs 12. MSI datos priedes paaugas koku skaits lielāks par 1000 kokiem uz ha ir konstatēts tikai 7 (1.5%) parauglaukumos, bet vecajās audzēs nevienā. Līdz ar to secināms, ka priežu audzēs damaksnī zem mātes audzes dabiski neveidojas pietiekami bieza priedes paauga, līdz ar to tālākajā analizē atsevišķi priedes paauga netiek analizēta.



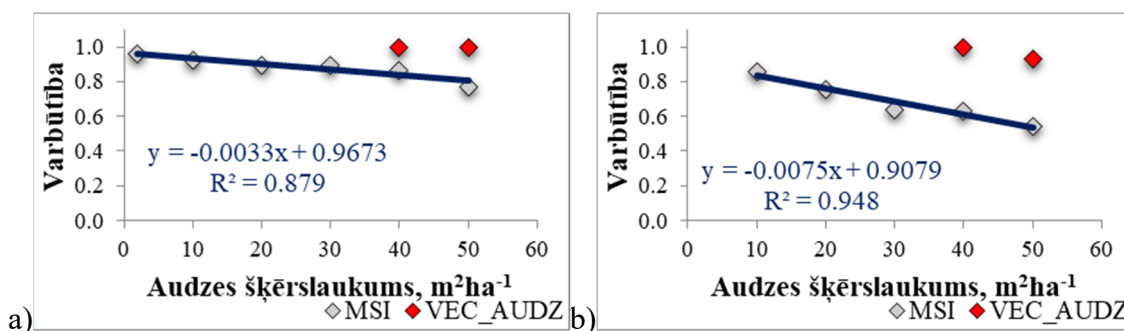
**7.16. attēls. Paaugas koku biežums priežu audzēs damaksnī atkarībā no mežaudzes vecuma**

a) aritmētiski vidējais koku biežums visos parauglaukumos; b) aritmētiski vidējais koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta paauga;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

MSI datos priežu audzēs damaksnī konstatētas ciešas negatīvas lineāras sakarības starp audzes šķērslaukumu ar paaugas varbūtību un varbūtību, ka paauga ir vismaz 1000 koki uz ha

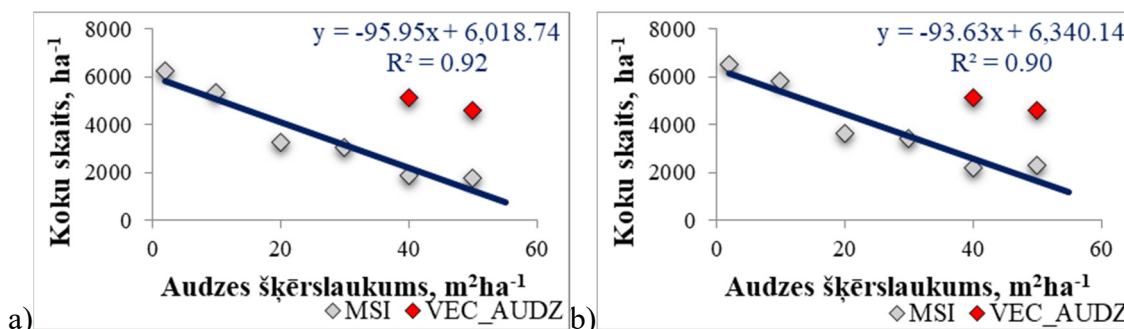
(7.17. att.). Diemžēl šī varbūtība nav ekstrapolējama uz vecajām audzēm, jo šajās audzēs konstatētās paaugas esamības varbūtības ir lielākas.



**7.17. attēls. Paaugas varbūtība priežu audzēs damaksnī atkarībā no kokaudzes šķērslaukuma**

a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks; b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki; MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

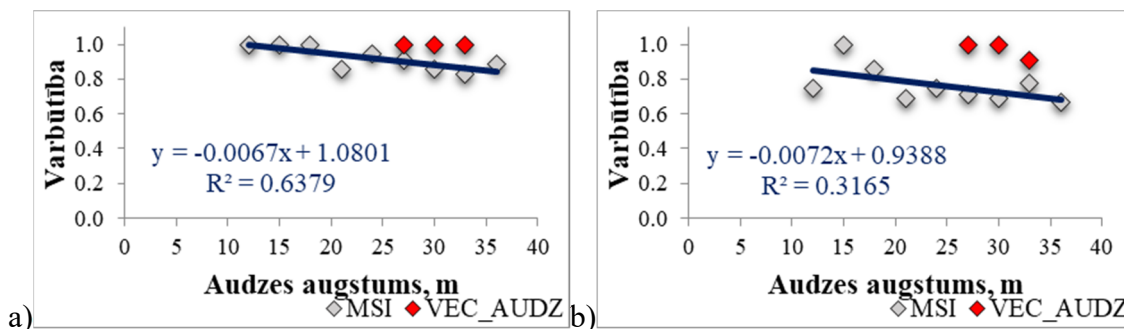
Tāpat MSI datus priežu audzēs damaksnī konstatētas ciešas negatīvas lineāras sakarības starp paaugas koku skaitu un mežaudzes šķērslaukumu (7.18. att.). Tomēr iegūtais vienādojums nav ekstrapolējams uz vecajām audzēm, jo šajās audzēs ir konstatēti ievērojami lielāks paaugas koku skaits.



**7.18. attēls. Paaugas koku biežums priežu audzēs damaksnī atkarībā no kokaudzes šķērslaukuma**

a) aritmētiski vidējais koku biežums visos parauglaukumos; b) aritmētiski vidējais koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta paauga; MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

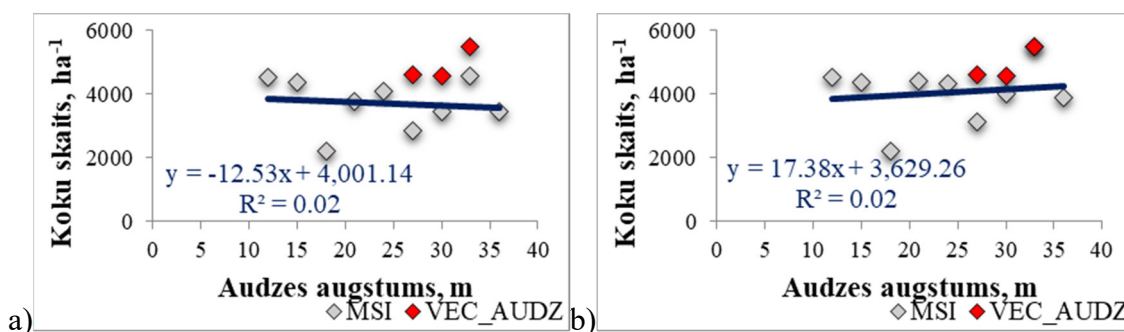
Priežu audzēs damaksnī MSI datus konstatētas ciešas vai vidēji ciešas, lineāras, negatīvas sakarības starp mežaudzes valdošās koku sugas augstumu ar paaugas esamības varbūtību un ar varbūtību, ka paauga ir vismaz 1000 koki uz ha (7.19. att.). Bet, līdzīgi kā jau iepriekš, arī šo sakarību nevar ekstrapolēt uz vecajām priežu audzēm dēļ tā, ka šajās audzēs ir ievērojami augstāka varbūtība.



**7.19. attēls. Paaugas varbūtība priežu audzēs damaksnī atkarībā no kokaudzes augstuma**

a) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz viens paaugas koks; b) varbūtība, ka audzē uz hektāra ir vismaz 1000 paaugas koki; MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

MSI datus nav konstatētas sakarības starp kokaudzes valdošās koku sugas vidējo augstumu ar aritmētiski vidējo paaugas koku skaitu (7.20. att.). Sakarības nav ne visos laukumos, ne arī laukumos, kuros ir konstatēta paauga. Vecajās priežu audzēs aritmētiski vidējais paaugas koku skaits pie vienas un tās pašas kokaudzes augstuma grupas ir lielāks.



**7.20. attēls. Paaugas koku biežums priežu audzēs damaksnī atkarībā no kokaudzes augstuma**

a) aritmētiski vidējais koku biežums visos parauglaukumos; b) aritmētiski vidējais koku biežums parauglaukumos, kuros ir konstatēta paauga;

MSI – Meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_AUDZ – veco audžu dati.

Kompleksi novērtējot MSI un veco audžu (šī pētījuma) datu kopu, secināts, ka priežu audzēs damaksnī zem mātes audzes dabiski neveidojas nozīmīga biežuma paauga, bet citas koku sugas spēj veidot biezu paaugu. Priežu audzēs damaksnī MSI datu kopā paaugas esamības varbūtība cieši negatīvi korelē ar I stāva valdošās koku sugas vecumu un augstumu, un cieši pozitīvi – ar kokaudzes šķērslaukumu, bet paaugas koku skaits cieši negatīvi korelē ar kokaudzes šķērslaukumu. Tomēr jāatzīmē, ka MSI datus konstatētas sakarības nav ekstrapolējamas vecajās priežu audzēs, jo šajās audzēs kopumā konstatēta lielāka paaugas esamības varbūtība un lielāks paaugas koku skaits.

Secinājumi: izmantojot pētījumā iegūtās sakarības, iespējams prognozēt paaugas klātbūtni skujkoku audzēs, kā arī plānot tādu apsaimniekošanas režīmu, kas nodrošina pietiekama biežuma paaugas veidošanos.

Vecās priežu audzēs (vidējais vecums  $179 \pm 37$  gadi) varbūtība, ka veidosies paauga ar biežumu vismaz 1000 koki  $ha^{-1}$ , ir mazāka par 0,1, tātad ir jāveic mērķtiecīgas darbības šīs koku sugas atjaunošanās nodrošināšanai

## 8. Manuskripta sagatavošana par oglekļa uzkrājumu vecās parastās egles audzēs (statuss: iesniegts)

Izmantojot šajā gadā veikto papildus augsnes analīžu rezultātus un pagājušā gada pētījuma etapa datus, uzsākta manuskripta sagatavošana žurnālam *Forests*. Manuskriptā analizēti koku virszemes parametri un atmiruši koksne un šajās 2 komponentēs uzkrātais ogleklis (izmantotā pieeja kā 6. darba uzdevumā).

Carbon storage of above- and below-ground biomass and amount of dead wood in old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Latvia

Jansons A., Kenina L., Senhofa S., Bigaca Z., Dzerina B, Jansons J.

International negotiations on climate action require the carbon stock estimations in forest ecosystems to limit greenhouse gas emissions. Forestry in Baltic States is largely based on clear-cut forestry thus the knowledge of carbon storage in tree biomass of managed even-aged forest stands has been greatly improved. This study was expected to continue to contribute to carbon allocation in forests for national and regional reporting systems. Therefore, the aim of our study was to assess the carbon storage of over-mature Norway spruce and Scots pine forests live above- and below-ground biomass and to report dead wood amount of over-mature stands in Latvia.

Carbon storage of live tree biomass in 44 over-mature (163 to 218 years) coniferous forest stands was determined based on tree measurements on fertile mineral soils (*Hylocomniosa* and *Oxalidosa* forest types) and tree biomass models. To assess the dead wood amount, snags and lying dead wood were measured.

The mean total tree biomass  $\pm$  95 % confidence interval of over-mature Scots pine and Norway spruce stands was  $343.1 \pm 18.9$  and  $238.4 \pm 48.2$  t ha<sup>-1</sup>. Although, in diameter in breast height (DBH) groups  $\leq 20$  cm and 21 – 40 cm, the mean tree biomass was non-significantly different, over-mature Scots pine stands comprised significantly ( $p < 0.001$ ) larger mean total tree biomass due to the significantly ( $p < 0.001$ ) higher tree biomass in  $\geq 40$  cm DBH group.

Stored carbon in above-ground biomass accounted for 79% of total stored carbon in live biomass. The mean total carbon storage in live biomass of Scots pine and Norway spruce stands was significantly different ( $p < 0.05$ ),  $171.6 \pm 9.5$  and  $119.3 \pm 24.1$  t ha<sup>-1</sup>, respectively.

Dead wood amount remained similar between both Scots pine and Norway spruce over-mature stands. The mean total volume of dead wood was  $84.7 \pm 13.3$  and  $71.2 \pm 15.0$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectively, of which 43 and 66 % was lying dead wood.

## Izmantotā literatūra

- Bijak, S., Zasada, M., Bronisz, A., Brinisz, K., Czajkowski, M., Ludwisiak, Ł., Tomusiak, R. & Wojtan, R. 2013. Estimating coarse roots biomass in young silver birch stands on post-agricultural lands in central Poland. *Silva Fenn.* 47(2), id. 962.
- Bārdulis, A., Daugaviete, M., Lazdiņš, A., Bārdule, A. & Liepa, I. 2011. Biomasas struktūra un oglekļa uzkrāšanās virszemes un sakņu biomasā baltalkšņa *Alnus incana* (L.) Moench. jaunaudzēs lauksaimniecības zemēs. *Mežzinātne* 23(56), 71–88.
- EP Lēmums Nr. 529/2013/ES. 2013. Eiropas Parlamenta un Padomes lēmums par uzskaites noteikumiem attiecībā uz siltumnīcefekta gāzu emisijām un piesaisti, kas rodas darbībās, kuras saistītas ar zemes izmantošanu, zemes izmantošanas maiņu un mežsaimniecību, un par informāciju par rīcību, kas saistīta ar šīm darbībām. ES Oficiālais Vēstnesis 165/80, 18. lpp.
- Gough, C.M., Vogel, C.S., Schmid, H.P. & Curtis, P.S. 2008. Controls on annual forest carbon storage: Lessons from past and predictions for the future. *BioScience* 58(7), 609–622.
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme”, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K eds. IGES, Hayama, Japan, pp. 4.1–4.83.
- Jain, T.B., Graham, R.T. & Adams, D. 2010. Carbon Concentrations and Carbon Pool Distributions in Dry, Moist, and Cold Mid-Aged Forests of the Rocky Mountains. In Jaun, T.B., Graham, R.T., Sandquist, J. (eds): Proceedings of the 2009 National Silviculture Workshop. Proceedings RMRS-P-61. Fort Collins, CO, Rocky Mountain Research Station, U.S. pp. 39–59.
- Jansons, Ā., Bārdulis, A., Ķēniņa, L., Lazdiņa, D., Džeriņš, E., Kāpostiņš, R. 2017. Carbon content of belowground biomass of young Scots pines in Latvia. *Agronomy Research* 15(5), 1897-1905.
- Lamlom, S.H. & Savidge, R.A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: Variation within and between 41 North American species. *Biomass Bioenergy* 25, 381–388.
- Law, B.E., Sun, O.J., Campbell, J., Van Tuyl S. & Thornton, P.E. 2003. Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. *Glob. Change Biol.* 9(4), 510–524.
- Lazdiņš, A. 2013. Atbalsts klimata pētījumu programmai. Pārskats par Meža attīstības fonda pasūtīto pētījumu. *Silava. Salaspils.* 66 lpp.
- Lehtonen, A., Palviainen, M., Ojanen, P., Kalliokoski, T., Nöjd, P., Kukkola, M., Penttilä, T., Mäkipää, R., Leppälammī-Kujansuu, J., Helmisaari, H.S. 2016. Modelling fine root biomass of boreal tree stands using site and stand variables. *For. Ecol. Manage.* 359, 361-369.
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Sievänen, R., Liski, J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *For. Ecol. Manage.* 188, 211-224.
- Liepa, I. & Blija, T. 2008. Latvijas egļu mežu koku biomasas struktūra. *LLU Raksti* 20(315), 32–37.
- Liepiņš, J., Lazdiņš, A., Liepiņš, K. 2017. Equations for estimating above- and belowground biomass of Norway spruce, Scots pine, birch spp. and European aspen in Latvia. *Scand. J. Forest Res.*, doi: 10.1080/02827581.2017.1337923.
- Liski, J., Perruchould, D., Karjalainen, T. 2002. Increasing Carbon Stocks in the Forest Soils for Western Europe. *For. Ecol. Manage.* 169(1-2), 159-175.

- 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, 213-215.
- Martin, A.R. & Thomas, S.C. 2011. A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. *PLOS ONE* 6:N8.
- Neumann, M., Moreno, A., Mues, V., Härkönen, S., Mura, M., Bouriaud, O., Lang, M., Achten, W.M.J., Thivolle-Cazat, A., Bronisz, K., Merganič, J., Decuyper, M., Alberdi, I., Astrup, R., Mohren, F. & Hasenauer, H. 2016. Comparison of carbon estimation methods in European forests. *For. Ecol. Manage.* 361, 397–420.
- Paladinić, E., Vuletić, D., Martinić, I., Marjanović, H., Indir, K., Benko, M., Novotny, V. 2009. Forest biomass and sequestered carbon estimation according to main tree components on the forest stand scale. *Per. Biolog.* 111(4), 459-466.
- Peichl, M. & Arain, M.A. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agric. For. Meteorol.* 140, 51–63.
- Pussinen, A., Karjalainen, T., Mäkipää, Valsta, L. & Kellomäki, S. 2002. Forest carbon sequestration and harvests in Scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. *For. Ecol. Manage.* 158(1-2), 103–115.
- Renvall, P. 1995. Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia* 35, 1-51.
- Ritson, P. & Sochacki, S. 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantations, south-western Australia. *For. Ecol. Manage.* 175, 103–117.
- Saatchi, S.S., Harris, N.L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E.T.A., Salas, W., Zutta, B.R., Buermann, W., Lewis, S.L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M. & Morel, A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108(24), 9899–9904.
- Sandström F., Petersson H., Krus N. & Ståhl G. (2007). Biomass conversion factors (density and carbon concentration) by decay classes for dead wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. in boreal forests of Sweden. *For. Ecol. Manage.*, 243(1), 19-27.
- Temesgen, H., Affleck, D., Poudel, K., Gray, A., Sessions, J. 2015. A review of the challenges and opportunities in estimating above ground forest biomass using tree-level models. *Scand. J. Forest Res.* 30(4), 326–335.
- Vucetich, J.A., Reed, D.D., Breymeyer, A., Degórski, M., Mroz, G.D., Solon, J., Roo-Zielinska, E. & Noble, R. 2000. *For. Ecol. Manage.* 136, 135 – 145.