



Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Latvia University of Agriculture

Meža fakultāte
Forest Faculty



Mg.silv. **Līga Liepa**

**MALAS EFEKTA IETEKME UZ VEĢETĀCIJU MELNALKŠŅA
MEŽOS ZEMGALE**

***THE INFLUENCE OF EDGE EFFECTS ON VEGETATION IN BLACK
ALDER FORESTS IN ZEMGALE***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

Dr.silv. zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY

Of the Doctoral thesis for the scientific degree of Dr.silv.

Jelgava
2017

Promocijas darba zinātniskā vadītāja:
Supervisor:

Inga Straupe
Dr.silv.

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātes, Meža fakultātes, Mežkopības katedrā laika posmā no 2011.-2016. gadam. Doktora studiju laiks Latvijas Lauksaimniecības universitātē Meža fakultātē no 2011.-2015. gadam. / *The research was carried out at Latvia University of Agriculture, Forest faculty, Department of Silviculture in the period from 2011 till 2016. The period of doctoral studies at the Forest faculty of the Latvia University of Agriculture from 2011 till 2015.*

Oficiālie recenzenti: / *Official reviewers*

Dr. silv. **Jurģis Jansons**, Latvijas Valsts mežzinātnes institūta „Silava” vadošais pētnieks, LZP eksperts / *Senior researcher of Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Expert of the Latvian Council of Science*

Dr. habil. geogr. **Māris Laiviņš**, Latvijas Valsts mežzinātnes institūta „Silava” vadošais pētnieks, LZP eksperts / *Senior researcher of Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Expert of the Latvian Council of Science*

Dr. **Vitas Marozas**, Aleksandra Stulginska universitāte, profesors, Lietuva / *Professor of the Aleksandras Stulginskis University, Lithuania*

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2017. gada 28. augustā plkst. 11:30. Salaspilī, Rīgas ielā 111, LVMI “Silava” sēžu zālē. / *To be presented for criticism in an open session of the promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvia University of Agriculture held on August 28, 2017 at 11.30 a.m. in Latvian State Forest Research Institute “Silava”, Salaspils, Rīgas street 111.*

Ar promocijas darba kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 vai http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html. Atsaukmes sūtīt LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes sekretārei Mg.silv. Sarmītei Berņikovai-Bondarei, Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija, vai **koka@llu.lv**. / *The doctoral thesis and its summary can be found at the Fundamental library of LUA: Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 vai http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html. References are welcome to be sent to Mg.silv. Sarmītei Berņikovai-Bondarei, the Secretary of the Promotion Council: Dobeles street 41, Jelgava, LV-3001, Latvia, or **koka@llu.lv**.*

DOI: 10.22616/LLUthesis/2017.013

SATURA RĀDĪTĀJS

1.	DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS.....	5
1.1.	Promocijas darba problemātika	5
1.2.	Promocijas darba mērķis	5
1.3.	Promocijas darba uzdevumi	6
1.4.	Izvirzītā darba hipotēze	6
1.5.	Promocijas darba novitāte un nozīmīgums.....	6
1.6.	Promocijas darba struktūra un apjoms	6
1.7.	Promocijas darba aprobācija	7
1.8.	Lietotie saīsinājumi	9
2.	MATERIĀLS UN METODEDES	10
3.	REZULTĀTU ANALĪZE UN DISKUSIJA	15
3.1.	Kokaudzes struktūrelementu novērtējums	15
3.2.	Veģētācijas novērtējums blakus dažāda vecuma mežaudzēm	19
3.2.1.	Staignāju mežus raksturojošās sugas.....	19
3.2.2.	Veģētācijas projektīvā seguma izmaiņas.....	20
3.2.3.	Augu ekoloģisko grupu sadalījums	21
3.3.	Retu epifītu ķērpju sugu sastopamības novērtējums	23
3.4.	Veģētācijas novērtējums blakus dažāda vecuma mežaudzēm (kopsavilkums).....	23
3.5.	Attāluma faktora ietekme uz veģētāciju melnalkšņa mežos Zemgalē.....	26
3.5.1.	Staignāju mežus raksturojošās sugas.....	26
3.5.2.	Veģētācijas projektīvais segums pa stāviem	27
3.5.3.	Augu ekoloģisko grupu sadalījums	28
3.6.	Retu epifītisku ķērpju sugu sastopamību.....	29
3.7.	Malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem Zemgalē (kopsavilkums).....	29
3.8.	Malas attāluma ietekme uz veģētāciju blakus dažāda vecuma mežaudzēm.....	31
3.8.1.	Veģētācijas sugu projektīvais segums pa stāviem.....	31
3.8.2.	Augu ekoloģisko grupu sadalījums	32
3.9.	Retu epifītisku ķērpju sugu sastopamība	35
3.10.	Malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem blakus dažāda vecuma mežaudzēm (kopsavilkums).....	36
	SECINĀJUMI.....	38
	PATEICĪBAS	39

CONTENTS

1. GENERAL DESCRIPTION	40
1.1. Topicality of theme	40
1.2. Aim of thesis	41
1.3. Objectives of the study	41
1.4. Hypothesis of the study	41
1.5. Scientific novelty and applicability of the study	41
1.6. Structure and volume of thesis	41
1.7. List of abbreviations	42
2. MATERIALS AND METHODS.....	42
3. THE ANALYSIS OF RESULTS AND DISCUSSION.....	46
3.1. The analysis and assessment of stand structural elements.....	46
3.2. Vegetation assessment in black alder forests adjacent to stands with different age	48
3.2.1. Swamp forest characteristic species	48
3.2.2. Change in projective coverage of vegetation	49
3.2.3. The distribution of plant ecological groups.....	50
3.2.4. Environmental variables.....	51
3.3. The occurrence of rare epiphytic lichen species.....	52
3.4. Vegetation assessment by the age of adjacent stand (summary)	52
3.5. The influence of distance to edge on vegetation in black alder forests in Zemgale.....	55
3.5.1. The assessment of swamp forest characteristic species.....	55
3.5.2. Vegetation projective coverage by layers.....	55
3.5.3. The distribution of plant ecological groups.....	56
3.6. The occurrence of rare epiphytic lichen species.....	57
3.7. Distance to edge influence on black alder forests in Zemgale (summary).....	57
3.8. The influence of distance to edge on vegetation adjacent to stands with different age	59
3.8.1. Species projective coverage by vegetation layer	59
3.8.2. The distribution of plant ecological groups.....	60
3.9. The comparison of environmental variables	61
3.10. The occurrence of rare epiphytic lichen species.....	61
3.11. The influence of edge distance on black alder forests adjacent to stands with different age (summary).....	62
CONCLUSIONS	64
ACKNOWLEDGEMENTS.....	65

1. Darba vispārīgs raksturojums

1.1. Promocijas darba problemātika

Ilgstoša antropogēnā slodze uz meža ekosistēmām Eiropā (Esseen et al., 1997) un Latvijā ir ietekmējusi sugu sastāvu un hidroloģisko režīmu. Līdz ar intensīvo meža apsaimniekošanu un lauksaimniecības zemju apgūšanu ir palielinājusies mežu fragmentācija, kas ietekmē biotopu izolāciju, un daudzas sugas ir pakļautas izzušanai (Andrén, 1994). Termins „mala” ekoloģijā ir definēta kā pārejas josla starp divām ekosistēmām. Tādējādi meža ekosistēmās izšķir gan dabīgi veidojušās malas, piemēram, mežmalas vai malas, kas veidojušās dabisko traucējumu rezultātā, gan arī antropogēni izveidotas malas (angļu val. – *human-induced edges*), kuras izveidojušās cilvēka saimnieciskās darbības rezultātā, piemēram, infrastruktūras objektu izveides vai mežizstrādes rezultātā. Izmaiņas malu tuvumā, kas krasi atšķiras no valdošajiem apstākļiem audzē un šādu ietekmi sauc par malas efektu, un tas var izpausties organismu un struktūru, kā arī to sastāva pozitīva, negatīva vai neitrāla atsauce (Harper et al., 2005).

Lai nodrošinātu ilgtspējīgu mežsaimniecību un dzīvotnes retām sugām fragmentētajā mežu ainavā, gan Skandināvijā, gan Baltijas valstīs saimnieciskos mežos 21. gadsimta sākumā izveidoja dabisko meža biotopu tīklu (Gjerde et al., 2007; Timonen et al., 2011), kuru galvenie noteikšanas kritēriji bija mežaudzes vecums un kokaudzes struktūrelementu daudzveidība (Ericsson et al., 2005). Lielākā daļa šo mežu biotopu atbilst Eiropas nozīmes prioritāri aizsargājamam meža biotopam “Stagnāju mežs” (9080*) (Noteikumi par īpaši..., 2000; Auniņš et al., 2013; Laiviņš, 2014). Tā kā tās ir samērā nelielas teritorijas (0.1-10.0 ha), tāpēc īpaši nozīmīgi ir veikt malas efekta ietekmes pētījumus (Aune et al., 2005), kas palīdz novērtēt biotopu kvalitāti un prognozēt šādu biotopu attīstību nākotnē. Līdz šim veikts samērā maz pētījumu par malas ilgtermiņa ietekmi uz veģetāciju boreo-nemorālās joslas mežos un kopumā (Marozas et al., 2007; Baker et al., 2016). Maz pētiņa ir arī epifītisko ķērpju atsauces reakcija laika gaitā, kā arī reti sastopami pētījumi par zemesaugu daudzveidību, kas detalizēti raksturo struktūru izmaiņas malu tuvumā (Moen, Jonsson, 2003; Pellissier et al., 2013; Baker et al., 2016). Par promocijas darba pētījuma objektu izvēlēti melnalkšņa meži. Vēsturiski melnalkšņa mežu galvenais degradācijas iemesls bija intensīvas hidrotehniskās meliorācijas izveide un praktizēšana, kas aizsākās 20. gadsimta 50-tajos gados (Priedītis, 1997), līdz ar to būtiski samazinājās melnalkšņa mežu platības sugas dabiskajā izplatības reģionā, un ir reti sastopamas visā Eiropā.

1.2. Promocijas darba mērķis

Noskaidrot melnalkšņa mežu veģetācijas attīstību malas efekta ietekmē Zemgalē.

1.3. Promocijas darba uzdevumi

1. novērtēt malas ilgtermiņa ietekmi uz melnalkšņa mežiem blakus dažāda vecuma mežaudzēm;
2. novērtēt malas ietekmes attālumu melnalkšņa mežos;
3. raksturot un salīdzināt malas attāluma un malas ilgtermiņa mijiedarbību melnalkšņa mežos.

1.4. Izvirzītā darba hipotēze

Saimnieciskā darbība blakus melnalkšņa mežaudzēm ietekmē tās, veicinot izmaiņas veģetācijā – malas efektu, kas laika gaitā samazinās.

1.5. Promocijas darba novitāte un nozīmīgums

Promocijas darbā pirmo reizi Latvijā kompleksi vērtēta malas ietekme uz veģetāciju. Darbā noskaidrotas veģetācijas izmaiņas, kas radušās pēc saimnieciskās darbības blakus audzēs, malas ietekmes ilglaicība, malas attāluma ietekme un to mijiedarbība melnalkšņa mežos Zemgalē. Iegūtais rezultātu kopums ir būtisks ieguldījums malas efekta pētījumos boreo-nemorālās joslas mežos, kā arī iegūtie rezultāti par sūnu sastāva izmaiņām, zemsedzes augu ekoloģisko grupu sastāvu un epifītisko ķērpju sastopamību ir būtisks papildinājums malas ietekmes pētījumu salīdzinājumiem pasaules mērogā.

1.6. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darba pirmajā nodaļā apkopotas līdzšinējo pētījumu atziņas par melnalkšņa *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. mežiem: sniegts melnalkšņa bioloģiskais raksturojums, izplatība, Eirosibīrijas melnalkšņa mežu raksturojums, aizsardzības statuss un raksturotas melnalkšņa mežu augu sabiedrības, kā arī meža apsaimniekošanas ietekme uz melnalkšņa mežiem. Otrajā nodaļā aprakstīti pētījuma objekti, lauka darbu un kamerālo darbu metodika. Trešajā nodaļā analizēti pētījuma rezultāti un salīdzināti ar citu pētījumu datiem (diskusija): melnalkšņa mežu kokaudzes struktūrelementu un veģetācijas novērtējums blakus dažāda vecuma mežaudzēm, malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem Zemgalē, malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem blakus dažāda vecuma mežaudzēm. Darba nobeigumā ietverti secinājumi.

Promocijas darbs sastāv no 122 lapaspusēm, informācija apkopota deviņās tabulās un 50 attēlos, ietverti 12 pielikumi, izmantoti 340 informācijas avoti.

1.7. Promocijas darba aprobācija

Pētījuma publikācijas:

Liepa L., Straupe I. (2016). Edge effects on stand structural characteristics in unmanaged black alder forest stands in Southern Latvia. **In:** Proceedings of 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, Volume III, Vienna, Austria, pp. 409-414. (Indeksēts datu bāzē: Web of Science).

Liepa L., Straupe I. (2015). Edge effects on epiphytic lichens in unmanaged black alder stands in Southern Latvia. **In:** Proceedings of 21st Annual ISC „Research for Rural Development 2015”. Z. Gaile, A. Zvirbule-Bērziņa, I.Arhipova, G. Assouline, I. Ciproviča, S. Bāliņa, A. Kaķītis, A. Dumbrauskas, Ā. Jansons, J. Žukovskis (eds.). Volume No.2 pp. 44-49. (Indeksēts datu bāzēs: SCOPUS, EBSCO, Academic Search Complete, CAB Abstracts,CABI electronic resource).

Liepa L., Straupe I. (2012). The assessment of vegetation diversity in black alder woodland key habitats in Zemgale. **In:** Proceedings of 18th Annual ISC „Research for Rural Development 2012”. Z. Gaile, A. Zvirbule-Bērziņa, I.Arhipova, G. Assouline, I. Ciproviča, S., A. Kaķītis, A. Dumbrauskas, Ā. Jansons, J. (eds.). Volume No.2, pp. 37-43 (Indeksēts datu bāzēs: SCOPUS, EBSCO, Academic Search Complete, CAB Abstracts, CABI electronic resource).

Ziņojumi starptautiskajās konferencēs un publicētās tēzes:

1. **Liepa L.,** Straupe I. „Edge effects on stand structural characteristics in unmanaged black alder forest stands in Southern Latvia”. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016, Vīne, Austrija (02.11.-05.11.2016).

2. **Liepa L.,** Straupe I. „The persistence of edge effects on unmanaged Fennoscandian deciduous swamp woods in Southern Latvia”. IUFRO Landscape ecology conference „Sustaining Ecosystem Services in Forest Landscapes”, Tartu, Igaunija (23.-30.08.2015).

3. **Liepa L.,** Straupe I. „An assessment of edge effects on Fennoscandian deciduous swamp woods in Southern Latvia”. International conference „Adaptation and Mitigation: Strategies for Management of Forest Ecosystems”, Rīga, Latvija (23.-24.04.2015).

4. **Liepa L.,** Straupe I. 2015. „Amount, structure and dynamics of dead wood on black alder woodland key habitats in Southern Latvia”. 4th International conference for PhD students „Multidirectional Research in Agriculture and Forestry”, Krakova, Polija (21.-22.03.2015).

5. **Liepa L.,** Straupe I. „Edge effects on vegetation, forest structural elements and epiphytic lichens in black alder woodland key habitats in Southern Latvia”. The Macrotheme Conferences BSS Paris 2013, Parīze, Francija (19.-22.12.2013).

6. **Liepa L.,** Straupe I. „Edge effects and forest plant species diversity in unmanaged black alder swamp woods in southern Latvia: Preliminary results”, 4th International conference “Forest & Water”, Smardzewice, Polija (16.-18.10.2013).

7. **Liepa L.**, Straupe I. "Evidence for edge effects on black alder woodland key habitats in Latvia", 56th Annual symposium of the international association of vegetation science "Vegetation Pattern and their Underlying Processes", Tartu, Igaunija (26.-30.06.2013).
8. Zeltiņa A., **Liepa L.** „Vegetation diversity in black alder woodland key habitats”, 8th International conference „Students on Their Way to Science”, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija (24.05.2013).
9. **Liepa L.**, Straupe I. „The magnitude of edge effects on vegetation in black alder woodland key habitats in southern Latvia”, Daugavpils Universitātes starptautiskā zinātniskā konference „Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic region”, Daugavpils Universitāte, Daugavpils (25.-27.04.2013).
10. **Liepa L.**, Straupe I. „Black alder woodland key habitat relevance in Zemgale”, 7th International conference „Students on Their Way to Science”, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija (25.05.2012).
11. **Liepa L.**, Straupe I. „Assessment of vegetation diversity in black alder woodland key habitats in Zemgale”, 18th International conference „Research for Rural Development 2012”, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija (16.-18.05.2012).

Ziņojumi Latvijas konferencēs un publicētās tēzes:

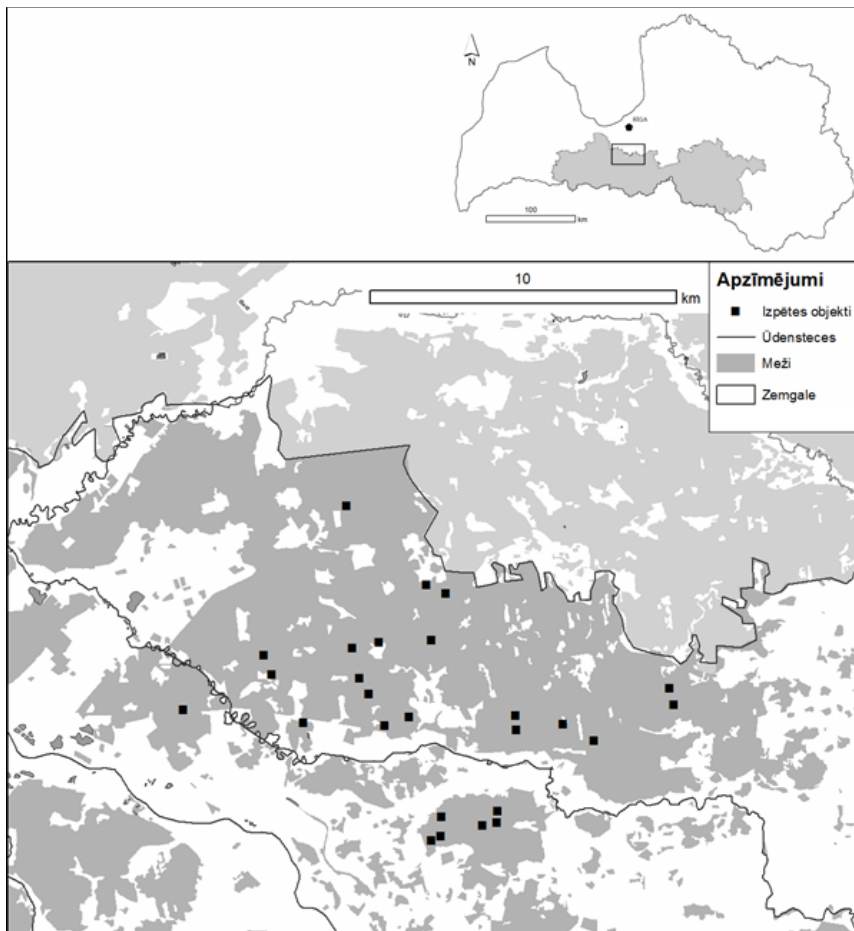
1. **Liepa L.**, Straupe I. „, Malas ietekme uz dabiskajiem meža biotopiem „Staignāju meži” Zemgalē”. Latvijas Universitātes 72. konference sekcija: „Biodaudzveidība un ainavu ekoloģija”, Latvijas Universitāte, Rīga (31.01.2014).
2. **Liepa L.**, Straupe I. „Malas ietekmes pētījumi melnalkšņu dabiskajos meža biotopos”, Latvijas Universitātes 71. konference sekcija: „Biodaudzveidība un ainavu ekoloģija”, Latvijas Universitāte, Rīga (30.01.2013).
3. **Liepa L.**, Straupe I. „Melnalkšņu dabisko meža biotopu raksturojums Zemgalē”, Zinātniskā konference „Bioloģiskā daudzveidība NATURA 2000 vietā – Moricsalās dabas rezervātā”, Ventspils Augstskola, Ventspils, Latvija (01.06.2012).
4. **Liepa L.**, Straupe I. „Augu daudzveidība melnalkšņu dabiskajos meža biotopos Zemgalē”, Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference „Mežzinātne un prakse nozares attīstībai”, Jelgava, Latvija (12.-16.03.2012).
5. **Liepa L.**, Straupe I. „Melnalkšņu dabisko meža biotopu nozīmīgums Latvijā”, Latvijas Zinātņu akadēmijas, Latvijas Universitātes, Rīgas Tehniskās universitātes un Rīgas Latviešu biedrības rīkotais apvienotais pasaules latviešu zinātnieku 3. un Letonikas 4. kongress, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija (24.-27.10.2011).

1.8. Lietotie saīsinājumi

A	– austrumi
C	– konkurenti
CS	– konkurenti-strestoleranti
CSR	– konkurenti-strestoleranti-ruderāļi
D	– dienvidi
E0	– sūnu stāvs
E1	– lakstaugu stāvs
E2	– krūmu stāvs
E3	– koku stāvs
LLU	– Latvijas Lauksaimniecības universitāte
NMS	– Nemetriskā daudzdimensiju mērogošana (angļu val. – <i>Nonmetric Multidimensional Scaling</i>)
R	– rietumi
SR	– strestoleranti-ruderāļi
St.	– stumbenis
AS	– akciju sabiedrība
vs.	– kā otrādi (latīņu val. - versus)
Z	– ziemeļi

2. MATERIĀLS UN METODES

Pētījumu objekti atrodas Zemgales ģeobotāniskajā rajonā, Zemgales līdzenumā (Ramans, 1975), Ozolnieku un Iecavas novadā (2.1. att.).



2. 1. att. Pētījumu objektu atrašanās vietas Zemgalē (mērogs: 1:10000)

Fig. 2.1. Location of the study plots in Zemgale (scale: 1:10000)

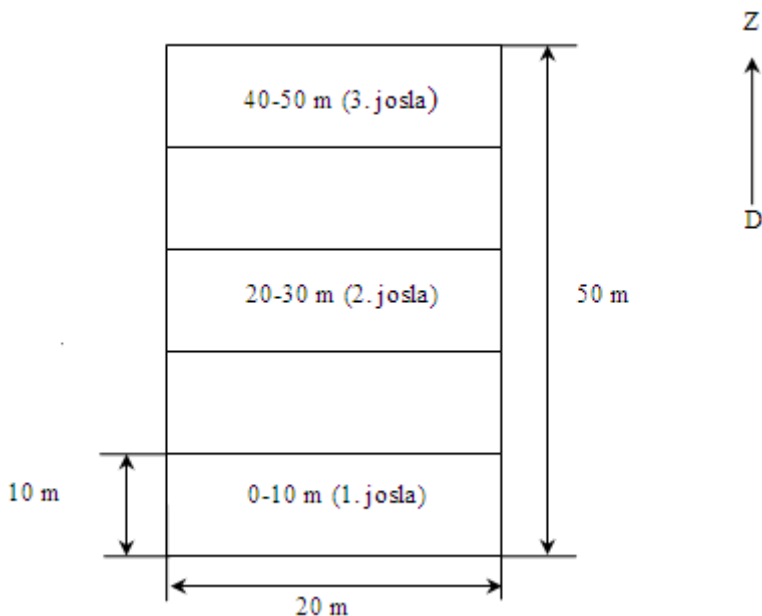
Pētījuma 30 objekti atrodas AS “Latvijas Valsts meži” apsaimniekotos mežos. Pētījuma parauglaukumi ierīkoti melnalkšņa mežos, kas atbilst Eiropas nozīmes aizsargājamā meža biotopa „Staignāju meži” kritērijiem, un dominējošā

kokaugu suga ir melnalksnis. Pētījumā iekļauto audžu vecums ir ≥ 81 gadu. Parauglaukumi ierīkoti dumbrājā *Dryopterioso-caricosa*, lieknā *Filipendulosa* un platlapu kūdrēnī *Oxalidososa* turf. mel.

Pētījuma objektu mežaudzes atbilst trīs grupām: audzes, kurām D-DR pusē mežsaimnieciska ietekme (atjaunošanas cirte) bijusi līdz 10 gadiem, pirms 20-40 gadiem un ≥ 41 gadu.

Lauka darbu metodika. Parauglaukumi izveidoti 2008. un 2012. gadā, bet empiriskie dati ievākti 2012. gada un 2013. gada veģetācijas periodā.

Malas ietekmes vērtēšanai katrā objektā D-Z vai DR-ZA virzienā ierīkots pastāvīgs taisnstūrveida parauglaukums, kura izmēri ir 20×50 metri (1000 m²), katrs parauglaukums sadalīts piecās 10 m platās joslās (joslas izmērs 10×20 m, katras joslas platība 0.02 ha) (2.2. att.).



2.2. att. Parauglaukuma shēma

Fig. 2.2. The schematic design of sample plot

Kokaudzes struktūrelementu uzmērīšana. Katrā parauglaukumā (20 × 50 m) veikta augošu koku, sausokņu, stubeņu un kritalu uzskaitē, sākot ar caurmēru 6 cm 1.3 m augstumā. Uzmērītajai atmirušajai koksnei vai to daļām (sausokņiem, stubeņiem un kritālām) noteiktas arī sadalīšanās pakāpes no I-V (Stokland, 2001).

Veģetācijas datu ievākšana. Katrā parauglaukuma 0-10 m (turpmāk – 1. josla), 20-30 m (turpmāk – 2. josla) un 40-50 m (turpmāk – 3. josla) attāluma joslā no

audzes malas veikta veģetācijas uzskaitē, izmantojot Brauna – Blankē pierakstu formu (Pakalne, Znotiņa, 1992): uzskaitītas visas vaskulāro augu un sūnaugu sugas, kā arī novērtēts katras sugas un veģetācijas stāva kopējais projektīvais segums (%):

- koku stāvs E3 (koki, kuri augstāki par 7.0 m);
- krūmu stāvs E2, kurā ietilpst krūmi un paaugas koki (0.5 – 7.0 m augsti koki un krūmi);
- lakstaugu stāvs E1 (iekļauti lakstaugi un sīkkrūmi, kā arī jaunie koki un krūmi, kuri nepārsniedz 0.5 m augstumu);
- sūnu stāvs E0 (Pakalne, Znotiņa, 1992).

Sugu nomenklatūra: vaskulārajiem augiem – Gavrilova, Šulcs (1999), sūnām – Āboliņa et al. (2015).

Epifītu ķērpju sugu uzskaitē. Parauglaukumu 0-10 m (1. josla), 20-30 m (2. josla) un 40-50 m (3. josla) joslās uz augošajiem melnalkšņiem veikta reto epifītisko ķērpju sugu (Lārmanis et al., 2000; Auniņš et al., 2013) uzskaitē divos augstumos: 0.5 m un 1.5 m augstumā virs sakņu kakla, atzīmējot „+” – suga ir sastopama; „-” – sugas klātbūtne nav konstatēta. Ķērpju sugu nomenklatūra – Āboliņa et al. (2015).

Kokaudzes struktūrelementi. Dendrometrisko rādītāju aprēķināšanai ir izmantoti parauglaukumos iegūtie dati.

Audzes šķērslokuma aprēķināšanai izmantota šāda formula:

$$G = g_v \cdot N \quad (2.1.)$$

g_v - audzes vidējā koka šķērslokums;
 G - audzes šķērslokums, $m^2 ha^{-1}$;
 N - koku skaits, $gab. ha^{-1}$.

Augošu koku stumbra tilpuma aprēķināšanai izmantota šāda formula:

$$v = \psi L^\alpha d^{\beta 1} g^{L+\varphi} \quad (2.2.)$$

L - stumbra garums, m;
 d - caurmērs 1.3 m no sakņu kakla, cm;
 $\psi, \alpha, \beta, \varphi$ - katrai koku sugai piemēroti koeficienti (Liepa, 1996).
 Izmantoti sekojoši koeficienti:

- melnalkšņim: $\psi = 0.7950 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.77095$, $\beta = 0.13505$, $\varphi = 1.80715$;
- eglei: $\psi = 2.3106 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.78193$, $\beta = 0.34175$, $\varphi = 1.18811$;
- bērzam: $\psi = 0.9090 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.71677$, $\beta = 0.16692$, $\varphi = 1.75701$;
- priedei: $\psi = 1.6541 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.56582$, $\beta = 0.25924$, $\varphi = 1.59689$.

Koku sugām, kurām nav norādīti koeficienti, stubra tilpuma aprēķināšanai izmantotas melnalkšņa koeficientu noteiktās vērtības, jo šī suga uzrāda vidējās vērtības (Liepa, 1996).

Kritalu krāja (V , m^3) aprēķināta, pielietojot F. Hubera salikto viduslaukuma formulu (Liepa, 1996).

$$v = l \sum_j \gamma_j + \frac{l'}{3} g_k, i = 1, 2, \dots, k, \quad (2.3.)$$

- l -sekcijas garums, m;
- l' -galotnes konusa garums, m;
- γ_j -j-tās sekcijas viduslaukums, m^2 ;
- k -pilno sekciju skaits (Liepa, 1996).

Veģetācija. Katrai kokaugu, vaskulāro augu un sūnaugu sugai aprēķināts sastopamības koeficients (R) pēc Raunkiēra formulas, kas rāda konkrētās sugas pārstāvniecības biežumu parauglaukumos.

$$R = 100 \cdot \frac{a}{n}, \quad (2.4.)$$

- R -sugu sastopamības koeficients;
- a -parauglaukumu skaits, kuros uzskaitīta attiecīgā suga;
- n -kopējais parauglaukumu skaits (Magurran, 1988).

Visos pētījuma parauglaukumos sugu skaitam noteikts Šēnona daudzveidības (*Shannon-Wiener diversity index*, turpmāk – Šēnona indekss) indekss, kas raksturo sugu daudzveidību parauglaukumos:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i}{N} \right] \log_2 \left[\frac{n_i}{N} \right] \quad (2.5.)$$

- H' -Šēnona daudzveidības indekss;
- N -kopējais indivīdu skaits;
- n_i -i-tās sugas parauglaukumā;
- S -kopējais sugu skaits (Magurran, 1988).

Visos pētījuma parauglaukumos noteikta malas efekta ietekmes intensitāte (Chen et al., 1995) un malas attāluma ietekmes intensitāte uz biežāk sastopamajām

sugām un melnalkšņa mežu raksturojošo sugu īpatsvaru, kas raksturo pozitīvu, negatīvu vai neitrālu atsauci (Harper et al., 2004):

$$MEI = \frac{(e-i)}{(e+i)} \quad (2.6.)$$

$$DEI = \frac{(e-i)}{(e+i)} \quad (2.7.)$$

MEI -malas efekta ietekmes intensitāte (angļu val. – *magnitude of edge influence*);
DEI -malas attāluma ietekmes intensitāte (angļu val. – *distance of edge influence*);
e -vērtība (piemēram, sugu skaits vai projektīvais segums pie malas);
i -vērtība vai parametrs audzes centrā, vai attālums tuvāk audzes centram.

Malas efekta ietekmes intensitāte (blakus audzes vecuma grupa: 0-10 gadi, 20-40 gadi attiecībā pret ≥ 41 gadu) vai malas attāluma ietekmes intensitāte (attālums: 0-10 m, 20-30 m attiecībā pret 40-50 m no audzes malas) intensitātes iegūtās vērtības variē no -1.0 (negatīva ietekme (-)) līdz +1.0 (pozitīva ietekme (+)), un var būt vienādas ar 0 (neitrāla ietekme) (Harper et al., 2004).

Visas konstatētās lakstaugu stāva sugas raksturotas pēc augu dzīvības formām (Raunkiaer, 1934; Meleciis, 2011), augu sugu stratēģijām jeb C-S-R iedalījuma (Grime, 1979), augu sēklu izplatības veida un piederības augu ekoloģiskajām grupām, kas noteikta, izmantojot brīvpieejas datu bāzes – BIOLFLORE (Klotz et al., 2002), BIDS EcoFlora (Fitter, Peat, 1994) un „Vaskulāro augu flora centrālajā Krievijā” (База данных..., 2015).

Ekoloģisko rādītāju (gaisma, temperatūra, kontinentalitāte, augsnes mitrums, augsnes reakcija un prasības pēc slāpekļa) novērtējums veikts lakstaugu stāvam, izmantojot Ellenberga standartskalas (Ellenberg et al., 1992; Namniece, 2005). Visu iepriekš minēto augu grupu raksturošanai izmantoti dati par augu sugu skaitu, bet Ellenberga vērtību aprēķināšanai izmantots katras sugas projektīvais segums (%).

Datorprogrammā PC-ORD for Windows (Version No.5) veikta NMS ordinācija, lai pētījuma objektos noteiktu sugu saistību uz vides faktoru ietekmi (atsevišķi analizēti parauglaukumi, kas ir blakus audzēm vecumā līdz 10 gadiem, no 20 līdz 40 gadiem un ≥ 41 gadu).

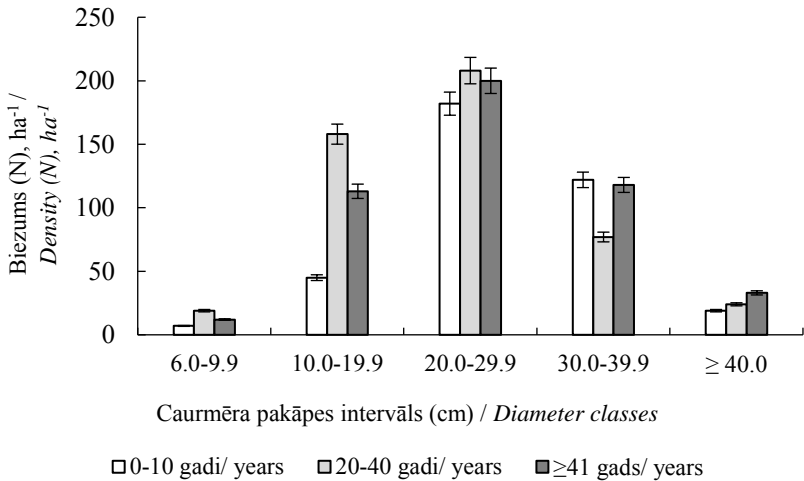
Datu statistiskā apstrāde. Iegūto kokaudzis struktūrelementu, veģetācijas un reto epifītisko ķērpju sugu datu normalitātes sadalījuma noteikšanai izmantots Shapiro-Wilk normalitātes tests. Atbilstoši iegūtajiem rezultātiem datu analīze veikta, izmantojot parametriskās statistikas metodes. Divfaktoru dispersijas analīze (ANOVA) izmantota variācijas būtiskuma noteikšanai starp blakus audžu vecuma grupas un attāluma faktoru. Gradācijas klašu salīdzināšanai starp grupām izmantots post-hoc Tukey's HSD tests. Datu statistiskā apstrāde veikta datorprogrammā R 3.1.1. (R Development core team, 2013).

3. REZULTĀTU ANALĪZE UN DISKUSIJA

3.1. Kokaudzes struktūrelementu novērtējums

Augošu koku novērtējums. Melnalkšņa mežos koku stāvā valdošā koku suga ir melnalksnis *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., bet sastopama arī parastā egle *Picea abies* (L.) H. Karst., pūkainais *Betula pubescens* Ehrh. un āra bērzs *Betula pendula* Roth. Kopējā augošo koku krāja pētījuma objektos ir samērā līdzīga, un vidējā melnalkšņu krāja ir no 277.4 līdz 329.5 m³ ha⁻¹. Lielāka kokaudzes kopējā krāja konstatēta pētījuma objektos, kas ir blakus audzēm vecumā no 20 līdz 40 gadiem (turpmāk tekstā – vidēja vecuma malas) un ≥41 gadu (turpmāk tekstā – relatīvi vecas malas), bet mazāka – parauglaukumos, kas ir blakus audzēm vecumā līdz 10 gadiem (turpmāk tekstā – jaunas malas) (p=0.04).

Pētītajos mežos dominē vidēju dimensiju caurmēra pakāpes melnalkšņi (3.1. att.) un bērzi. Visvairāk lielu dimensiju melnalkšņi sastopami mežos pie relatīvi vecām malām (vidēji 41 koks uz ha), savukārt lielu dimensiju bērzi un egles sastopami reti (attiecīgi 6 un 5 koki uz ha).



3.1. att. Melnalkšņa *Alnus glutinosa* augošu koku skaits pa caurmēra pakāpju intervāliem. Norādītas vidējās vērtības ± standartklūda
Fig. 3.1. The density of black alder *Alnus glutinosa* according to intervals of diameter class. Mean values ± standart error are shown

Konstatēts, ka blakus audzes vecums būtiski ietekmē melnalkšņa šķērslaukumu I un II stāvā. Būtiski lielāks melnalkšņa I un II stāva šķērslaukums konstatēts mežos pie jaunām un vidēji vecām malām (attiecīgi p=0.03 un p=0.04).

Pētītajos melnalkšņa mežos samērā lielu piemistrojuma īpatsvaru veido parastā egle dažādās caurmēra pakāpēs. Lielu audzes īpatsvaru veido mazu dimensiju (caurmēra pakāpēs ≤ 10 cm un 10.0-19.9 cm) parastās egles objektos pie vidējām un relatīvi vecām malām. Kopumā melnalkšņa mežos Zemgalē lielu dimensiju parastās egles (30.0-39.9 cm un ≥ 40.0 cm) sastopamas reti. Parastā egle nav izturīga pret vēju, turklāt vējgāžu risks kokaugiem palielinās, pieaugot indivīdu caurmēra dimensijām un augstumam (Valinger, Fridman, 2011). Zināms, ka parastā egle dabiskos pieauguša vecuma melnalkšņa staigņāju mežos Igaunijā vidēji ir 165 koki uz ha (Lõhmus, Kraut, 2010). Līdzīgs parastās egles biežums noteikts arī pētītajos melnalkšņa mežos Zemgalē.

Melnalkšņa mežos Zemgalē piemistrojumā sastopams gan āra, gan pūkainais bērzs. To īpatsvars ir neliels un vidējā krāja I stāvā ir $55.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ objektos pie jaunām malām, bet mazāk – blakus vidēja vecuma un relatīvi vecām malām (attiecīgi 39.2 un $38.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Pētījumā konstatētas būtiskas atšķirības starp Šēnona daudzveidības indeksu augošiem kokiem attiecībā uz koku sugām, caurmēra pakāpju intervāliem un kokaugu skaitu blakus dažāda vecuma malām. Būtiski lielāks Šēnona daudzveidības indekss ir mežos pie jaunām malām, bet mazāks – pie relatīvi vecām malām ($p=0.003$), savukārt pārējos objektos tas ir līdzīgs, un būtiskas atšķirības nav konstatētas. Šī sakarība skaidrojama ar kokaugu atjaunošanos pie malām, kur nesen bijis traucējums. Statistiski būtiski blakus audzes vecums ietekmē Šēnona daudzveidības indeksu parastajai eglei: lielāks daudzveidības indekss ir mežos blakus jaunām malām, bet mazāks – pie relatīvi vecām malām ($p=0.02$). Pēc mežizstrādes blakus audzē melnalkšņa mežos pie malām izmainītā mikroklimata rezultātā, pastiprināti attīstās līdz šim noēnotā parastā egle.

Kopējais atmirušās koksnes raksturojums. Lielākais atmirušās koksnes daudzums ir melnalkšņa mežos blakus jaunām malām (vidēji $55.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), bet mazāks pārējos objektos. Konstatēts, ka melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm kopējā atmirušās koksnes krāja ir līdzīga un statistiski būtiski neatšķiras.

Pētītajos melnalkšņa mežos Zemgalē vidējais atmirušās koksnes daudzums ir $49.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, kas ir pietiekams, lai nodrošinātu substrāta pieejamību sugām, kuras saistītas ar atmirušo koksni.

Lielākā sausokņu un stubeņu krāja konstatēta melnalkšņa mežos pie relatīvi vecām malām, bet mazāk – pie jaunām malām (vidējās vērtības ir attiecīgi 140.0 un 73.3 m^3 uz ha). Konstatēts, ka vidējais sausokņu un stubeņu skaits melnalkšņa mežos blakus jaunām malām ir no 67 kokiem uz ha līdz 153.8 kokiem uz ha pie relatīvi vecām malām (3.1. tabula). Arī Igaunijas staigņāju mežos vidējais sausokņu un stubeņu skaits ir līdzīgs – 107 koki uz ha (Lõhmus, Kraut, 2010). Visos objektos vairākumā ir mazu dimensiju (caurmērā 10.0-19.9 cm) sausokņi un stubeņi (atkarībā no blakus audzes vecuma attiecīgi vidēji 38.8, 58.0 un 78.8 koki uz ha) (3.1. tabula). Lielāks Šēnona daudzveidības indekss sausokņiem un stubeņiem pa caurmēra pakāpju intervāliem ir objektos pie relatīvi vecām

malām, savukārt mazāks – pie vidēja vecuma un jaunām malām (3.1. tabula). Pētījumā noskaidrots, ka nepastāv statistiski būtiskas atšķirības starp blakus audzes vecumu un kopējo sausokņu un stubeņu krāju, caurmēra pakāpju intervālu sadalījumu un Šenona daudzveidības indeksa vērtībām melnalkšņa mežos Zemgalē.

3.1. tabula / Table 3.1.

Sausokņu un stubeņu salīdzinājums / The comparison of snags and stems

Blakus audzes vecuma grupa / Adjacent forest stand	0-10 gadi / 0-10 years	20-40 gadi / 20-40 years	≥41 gads / ≥ 41 years
Sausokņi un stubeņi / Snags and stems			
Skaitis (N), gab. ha ⁻¹ / Total density (N) ha ⁻¹	67.0 ± 3.35	117.0 ± 5.85	153.9 ± 7.70
Krāja / Total volume (m ³ ha ⁻¹)	18.1 ± 0.80	14.9 ± 0.75	22.8 ± 1.14
Skaitis (N), gab. / Density (N) ha ⁻¹ (ø 10.0-19.9 cm)	31.0 ± 0.65	57.0 ± 2.85	78.8 ± 2.19
Skaitis (N), gab. / Density (N) ha ⁻¹ (ø 20.0-29.9 cm)	12.0 ± 1.55	23.0 ± 1.15	25.0 ± 3.94
Skaitis (N), gab. / Density (N) ha ⁻¹ (ø ≥ 30.0 cm)	11.0 ± 0.55	4.0 ± 0.20	6.3 ± 0.32
Krāja I sadalīšanās pakāpe / Volume of decay stage I (m ³ ha ⁻¹)	12.0 ± 0.60	10.0 ± 0.50	18.0 ± 0.90
Krāja II un III sadalīšanās pakāpe / Volume of decay stage II, III (m ³ ha ⁻¹)	6.1 ± 0.30	4.9 ± 0.25	4.8 ± 0.24
Šenona daudzveidības indekss / Shannon diversity index	0.7 ± 0.04	0.8 ± 0.04	1.0 ± 0.05

Norādītas vidējās vērtības ± standartkļūda / Mean values ± standart error are shown

Kopumā noskaidrots, ka melnalkšņa mežos blakus jaunām malām pieaug mazu dimensiju sausokņu un stubeņu skaits, kas būtiski palielina kopējo atmirušās koksnes krāju dažādās sadalīšanās pakāpēs. To apliecina arī citi pētījumi, kuros pierādīts, ka pēc traucējuma blakus audzē, piemēram, kailcirtes, pēfīto mežaudžu malās būtiski pieaug atmirušās koksnes daudzums (Harper, Macdonald, 2002; Harper et al., 2015). Laika gaitā pēc traucējuma melnalkšņa mežos Zemgalē palielinās arī sausokņu un stubeņu daudzums. Līdzīgi rezultāti iegūti arī citos pētījumos (piemēram, Chen et al., 1992; Young, Mitchell, 1994), kur pierādīts, ka pie malām, kas izveidotas pirms 10 līdz 15 gadiem, konstatēts ievērojami lielāks sausokņu daudzums nekā mežaudzē. Šāda tendence ir skaidrojama ar mikroklimata izmaiņām, kas radušās pēc traucējuma blakus audzē, kas izsauc atsevišķu koku bojāeju, līdz ar to palielinot kokaudzes struktūrelementu daudzveidību. Melnalkšņa mežos Zemgalē dominē mazu (līdz 20 cm caurmērā – vidēji 59 koki uz ha) un vidēju (līdz 30 cm caurmērā – vidēji 25 koki uz ha) dimensiju sausokņi un stubeņi, un to

skaitis līdzinās Igaunijas datiem par staignājiem, kur dominē mazu un vidēju dimensiju atmiruši koki (attiecīgi vidēji 57 un 23 koki uz ha) (Lõhmus, Kraut, 2010).

Pētītajos melnalkšņa mežos dominē mazu dimensiju parastās egles sausokņi. Novērots, ka parastās egles īpatsvars palielinās parauglaukumos pie jaunām un relatīvi vecām malām, bet laika gaitā tās atmirst dabiskā noēnojuma rezultātā. Aizsargājamo biotopu apsaimniekošanas vadlīnijās norādīts, ka ieteicams veikt II stāva parastās egles izvākšanu, lai mazinātu skuju nobiru ietekmi uz augsnes reakciju melnalkšņa mežos (Johansson, 2005).

3.2. tabula / Table 3.2.

Kriticalu novērtējums / An assessment of downed logs and pieces

Kriticalas / <i>Downed logs and pieces</i>	Blakus esošās audzes vecuma grupa / <i>Adjacent forest stand</i>		
	0-10 gadi / <i>0-10 years</i>	20-40 gadi / <i>20-40 years</i>	≥41 gads / <i>≥41 years</i>
Skaits (N) / <i>Total density of logs, (N) ha⁻¹</i>	361.0 ± 18.05	368.0 ± 18.06	395.0 ± 19.25
Kopējā krāja / <i>Volume of logs (m³ ha⁻¹)</i>	37.5 ± 1.88	30.5 ± 1.53	25.0 ± 1.25
Krāja / <i>Volume of logs (m³ ha⁻¹), ø 10.0-19.9 cm</i>	16.7 ± 0.84	15.1 ± 0.76	16.1 ± 0.81
Krāja / <i>Volume of logs (m³ ha⁻¹), ø 20.0-29.9 cm</i>	16.3 ± 0.82	12.9 ± 0.65	7.8 ± 0.39
Krāja / <i>Volume of logs (m³ ha⁻¹) ≥ ø 30.0 cm</i>	4.5 ± 0.23	2.5 ± 0.13	1.1 ± 0.06
I sadalīšanās pakāpe, krāja / <i>Volume of decay stage I (m³ ha⁻¹)</i>	14.0 ± 0.70	6.8 ± 0.34	7.0 ± 0.35
II sadalīšanās pakāpe, krāja / <i>Volume of decay stage II (m³ ha⁻¹)</i>	17.2 ± 0.86	16.4 ± 0.82	9.6 ± 0.48
III sadalīšanās pakāpe, krāja / <i>Volume of decay stage III (m³ ha⁻¹)</i>	5.7 ± 0.29	6.1 ± 0.31	6.1 ± 0.31
IV, V sadalīšanās pakāpe, krāja / <i>Volume of decay stage IV, V (m³ ha⁻¹)</i>	1.9 ± 0.09	1.3 ± 0.07	2.2 ± 0.11
Šēnona daudzveidības indekss / <i>Shannon diversity index</i>	0.7 ± 0.04	0.8 ± 0.04	1.0 ± 0.05

Norādītas vidējās vērtības ± standartkļūda / *Mean values ± standart error are shown*

Melnalkšņa mežos Zemgalē lielāko īpatsvaru veido kriticalas II, I un III sadalīšanās pakāpēs (attiecīgi 45%, 26% un 21%), bet mazāku – kriticalas IV un V sadalīšanās pakāpēs (attiecīgi 7% un 1%). Savukārt pētītajos mežos pie jaunām un vidēja vecuma malām lielākais kriticalu skaits ir sastopams II sadalīšanās pakāpē: lielākā kriticalu krāja II sadalīšanās pakāpē konstatēta objektoos pie jaunām malām

(vidēji 17.2 m³ ha⁻¹), bet mazāku īpatsvaru veido kritalas III, IV un V sadalīšanās pakāpēs (3.2. tabula). Šēnons daudzveidības indekss kritalu caurmēra pakāpju intervāliem un sadalīšanās pakāpēm ir līdzīgs visos objektos (3.2. tabula). Konstatēts, ka melnalkšņa mežos nepastāv statistiski būtiskas atšķirības starp blakus audžu vecumu un sastopamo kritalu krāju, skaitu un Šēnons daudzveidības indeksu. Kritalu krājas daudzveidība pa sadalīšanās pakāpēm raksturo mežaudzes kontinuitāti un palielina biotopu kvalitatīvās un kvantitatīvās vērtības, kā rezultātā rodas substrāta pieejamība sugām, kuru izdzīvošanai nepieciešama nepārtraukta substrāta kolonizācija (Fritz et al., 2009).

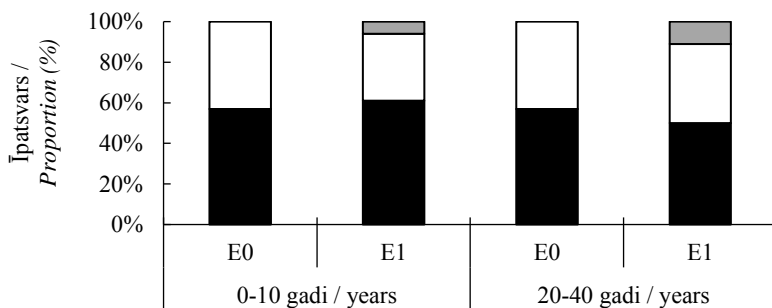
Kopumā vislielāko atmirušās koksnes īpatsvaru pēfītajos melnalkšņa mežos Zemgalē veido kritalas (vidēji 62.9%) savukārt sausokņi un stubeņi – vidēji 37.1%.

3.2. Veģetācijas novērtējums blakus dažāda vecuma mežaudzēm

Melnalkšņa mežos Zemgalē analizēts sugu skaits un projektīvais segums sūnu, lakstaugu, krūmu un koku stāvā, kur kopumā vislielākais sugu skaits ir lakstaugu stāvā – 146 sugas, sūnu stāvā – 41 sugas, krūmu stāvā – 15 sugas un koku stāvā – piecas sugas.

3.2.1. Staignāju mežus raksturojošās sugas

Atsevišķi analizēts staignāju mežus raksturojošo sugu projektīvais segums sūnu un lakstaugu stāvā (Lārmanis et al., 2000; Auniņš et al., 2013), kā arī noteikta malas efekta ietekmes intensitāte pēc K. Harperes u.c. metodes (Harper et al., 2004).



Blakus audzes vecuma grupa un veģetācijas stāvs /
Adjacent forest stand age and vegetation layer

■ Pozitīva / Positive □ Negatīva / Negative ▒ Neitrāla / Indifferent

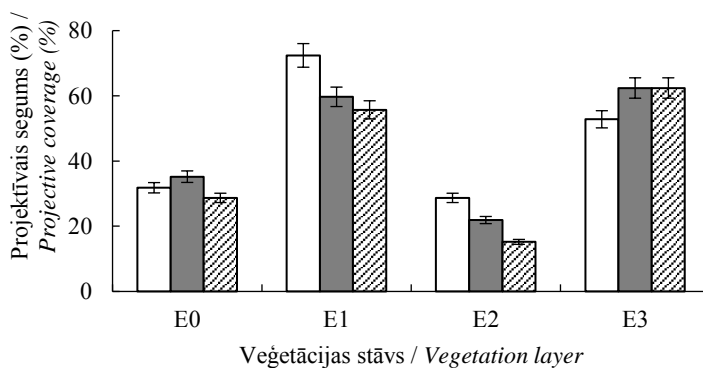
3.2. att. Malas efekta ietekmes intensitāte uz staignāju mežu raksturojošo sugu īpatsvaru

Fig. 3.2. The proportion on magnitude of edge influence on swamp forest characteristic species

Konstatēts, ka melnalkšņa mežos sastopamas 27 staignāju mežus raksturojošās sugas – deviņas sūnu un 18 sugas – lakstaugu stāvā. No tām vislielāko projektīvo segumu sūnu stāvā veido *Rhytidiadelphus triquetrus* un *Plagiomnium ellipticum* (attiecīgi vidēji 5.8% un 5.5%), bet lakstaugu stāvā – *Athyrium filix-femina* un *Scirpus sylvaticus* (attiecīgi vidēji 8.5% un 6.3%). Melnalkšņa mežos blakus jaunām un vidēja vecuma malām sugas sūnu stāvā 57% reaģē pozitīvi, bet 43% uzrāda negatīvu atsauci uz malas efekta ietekmes intensitāti (3.2. att.). Savukārt mežos pie jaunām malām minētās sugas lakstaugu stāvā reaģē sekojoši: 61% – pozitīvi, 33% – negatīvi un 6% – neitrāli, bet mežos pie vidēja vecuma malām attiecīgi 56% – pozitīvi, 39% – negatīvi un 6% – neitrāli. Kopumā secināms, ka vairāk kā 50% staignāju mežus raksturojošās sugas gan sūnu, gan lakstaugu stāvā uz malas ietekmi reaģē pozitīvi, vairāk nekā 40% sugu sūnu stāvā reaģē negatīvi, un uz 6% sugu lakstaugu stāvā traucējums neatstāj ietekmi. Arī citā pētījumā apstiprināts, ka liela daļa vaskulāro augu sugu pēc traucējuma blakus audzē reaģē pozitīvi un spēj pielāgoties straujām mikroklimata izmaiņām (Murcia, 1995).

3.2.2. Veģetācijas projektīvā seguma izmaiņas

Veģetācijas projektīvā seguma izmaiņas melnalkšņa mežos blakus jauna, vidēja vecuma un relatīvi vecām malām attēlotas 3.3. attēlā.



□ 0-10 gadi / years ■ 20-40 gadi / years ▨ ≥41 gadi / years

3.3. att. Veģetācijas projektīvais segums (%) pa stāviem

Norādītas vidējās vērtības ± standartkļūda

Fig. 3.3. Projective coverage per vegetation layers

Mean values ± standart error are shown

Melnalkšņa mežos sūnu stāva projektīvais segums ir līdzīgs, un tā vidējā vērtība variē no 28.7% līdz 35.1% (3.3. att.), kā arī konstatēts, ka blakus audžu vecums neietekmē tā projektīvo segumu. Savukārt noskaidrots, ka blakus audzes vecums mežos ietekmē projektīvo segumu lakstaugu, krūmu un koku stāvos. Lakstaugu stāvā būtiski lielāks projektīvais segums ir melnalkšņa mežos blakus jaunām, bet mazāks – blakus relatīvi vecām malām ($p=0.02$). Citos pētījumos secināts, ka lakstaugu stāva sugu projektīvo seguma pieaugumu veicina gaismas un temperatūras palielināšanās mežaudzēs pie malām, kas izveidotas pirms četriem, astoņiem un 10 gadiem (Harper, Macdonald, 2002; Harper et al., 2004). Arī melnalkšņa mežos Zemgalē pie jaunām malām būtiski pieaug lakstaugu stāva projektīvais segums, un dominē pirmās sukcesijas stadijas sugas (*Urtica dioica*, *Rubus idaeus*, *Mercurialis perennis*). Arī krūmu stāva sugu projektīvais segums būtiski lielāks ir objektos pie jaunām malām, bet mazāks – pie relatīvi vecām malām ($p=0.02$). Krūmu stāva seguma pieaugums ir saistīts ar vides apstākļu (galvenokārt apgaismojuma) izmaiņām blakus izcirtumiem, kā arī palielinās putnu sugu daudzveidība mežaudžu malās (Gates, Gysel, 1978), kas var veicināt ornitohoru sugu sastopamību. Būtiski lielāks projektīvais segums koku stāvā ir konstatēts mežos pie relatīvi vecām malām, bet mazāks – pie jaunām malām ($p=0.02$).

3.2.3. Augu ekoloģisko grupu sadalījums

Atsevišķi analizēts lakstaugu stāva sugu sastāvs pēc piederības indikatīvām grupām (Körner, 1994), sugu stratēģiju grupām (Grime, 1979; Ellenberg et al., 1992), sēkļu un sporu izplatības veidiem (Howe, Smallwood, 1982), dzīvības formām (Raunkiaer, 1934), kā arī raksturoti vides apstākļi (Ellenberg et al., 1992).

Melnalkšņa mežos lielāko īpatsvaru veido sugas no nitrofilās, boreālās, staigņāju un nemorālās indikatīvās grupas.

Melnalkšņa mežos blakus audzes vecums ietekmē sugu skaitu pa indikatīvām grupām. Visos objektos dominē nitrofilas sugas, bet būtiski lielāks šo sugu skaits ir konstatēts objektos pie jaunām malām, bet mazāks – pie vidēja vecuma ($p=0.0002$) un relatīvi vecām malām ($p=0.03$). Visbiežāk sastopamās nitrofilās sugas ir *Lysimachia vulgaris*, *Lycopus europaeus*, *Filipendula ulmaria*, *Urtica dioica* un *Alnus glutinosa*. Arī būtiski lielāks nemorālo sugu skaits ir objektos pie jaunām malām, bet mazāks – pie vidēja vecuma ($p=0.03$) un relatīvi vecām malām ($p=0.04$). Lielu īpatsvaru veido staigņāju mežu sugas objektos pie jaunām malām, bet mazāku – pie vidēja vecuma ($p=0.02$) un relatīvi vecām malām ($p=0.001$). Raksturīgākās staigņāju mežu sugas ir *Caltha palustris*, *Scutellaria galericulata*, *Galium palustre* un *Peucedanum palustre*. Lielāks adventīvo sugu skaits konstatēts objektos blakus jaunām un vidēja vecuma malām, bet mazāks – blakus relatīvi vecām malām (attiecīgi $p=0.003$ un $p=0.009$). Noskaidrots, ka traucējums blakus audzē veicina adventīvo sugu skaita

pieaugumu, un šīs sugas ir spējīgas kolonizēt un konkurēt melnalkšņa mežu malās vairākas dekādes pēc traucējuma.

Atsevišķi ir analizēts augu sugu stratēģisko grupu (Grime, 1979) sadalījums melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm. Melnalkšņa mežos lielāko sugu īpatsvaru veido augi no CS, CSR un C stratēģiju grupām. Melnalkšņa mežos blakus audzes vecums būtiski izmaina sugu stratēģisko grupu sadalījumu gan pēc skaita, gan pēc projektīvā seguma. Konstatēts, ka mežos pie jaunām malām būtiski vairāk sastopamas sugas, kas pieder C ($p=0.02$), CR ($p=0.02$) un CSR ($p=0.0009$) stratēģiju grupām. Arī lielāks C un CSR sugu projektīvais segums konstatēts objektos pie jaunām malām, bet mazāks – pie vidēja vecuma malām (attiecīgi $p=0.03$ un $p=0.04$). Arī citos pētījumos secināts, ka mežistrāde blakus mežaudzēs veicina kopējo sugu skaita palielināšanos, kā arī vaskulāro augu – konkurentu ienākšanu pētītajās mežaudzēs (Braithwaite, Mallik, 2012).

Atsevišķi novērtēta blakus audzes vecuma ietekme uz augu sugu sadalījumu pa sēklu un sporu izplatības veidiem. Melnalkšņa mežos Zemgalē lielāko īpatsvaru veido anemohori, ornitohori un autohori augi (attiecīgi vidēji 27.5%, 20.1% un 17.2%). Mežos blakus jaunām malām lielāko īpatsvaru veido anemohori, ornitohori un hidrohori augi (attiecīgi vidēji 25.2%, 21.8% un 20.5%), savukārt objektos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām lielāko sugu īpatsvaru veido anemohori, hidrohori un ornitohori (attiecīgi vidēji 29.2%, 24.8%, 17.9% un 27.9%, 20.7% un 20.2%). Kopumā konstatēts, ka vairāk sugu, kuru sēklu un sporu izplatība ir saistīta ar vēja izplatību (anemohori), ir sastopama objektos pie jaunām malām, bet mazāk – pie vidēja vecuma malām ($p=0.02$). Sugas, kam sēklu izplatība ir atkarīga no putniem (ornitohori), vairāk sastopamas objektos pie jaunām malām, bet mazāk – pie relatīvi vecām malām ($p=0.0009$). Arī autohoras sugas vairāk sastopamas objektos pie jaunām malām, bet mazāk – parējos. Ir zināms, ka malas efekts var izmainīt mežaudzes struktūru un sastāvu, piemēram, palielinās vēja ietekme un apgaismojums, izmainās augsnes mitrums un barības vielu daudzums, kas savukārt ietekmē zemeszemes augu sēklu un sporu dīgtspēju un to kolonizācijas spējas. Izmainītais mikroklimats rada iespēju pie malām attīstīties tādām sugām, kas nav raksturīgas melnalkšņa mežu augu sabiedrībām.

Atsevišķi analizēts sugu sadalījums pa augu dzīvības formām. Melnalkšņa mežos lielāko sugu īpatsvaru veido hemikriptofīti, hamefīti un helofīti. Lielāks hemikriptofītu skaits konstatēts objektos pie jaunām malām, bet mazāks – parējos objektos (attiecīgi blakus vidēja vecuma malām $p=0.0006$ un relatīvi vecām malām – $p=0.009$). Vairāk fanerofītu sastopams objektos pie jaunām un vidēja vecuma malām, bet mazāk – pie relatīvi vecām malām (attiecīgi $p=0.03$ un $p=0.02$). Vairākums ir vispārīgās sugas, kas pielāgojušās traucējumu ietekmei un vides apstākļu maiņai (*Lysimacia vulgaris*, *Iris pseudacorus*, *Lycopus europaeus* un *Carex spp.*). Arī vairākums no melnalkšņa mežos dominējošiem hemikriptofītiem ir vispārīgās sugas, piemēram, *Urtica dioica*, *Mycelis muralis* un

Geum spp. Vairākas krūmu un koku sugas spēj attīstīties pēc traucējumu ietekmes blakus audzē un spēj veiksmīgi atjaunoties pie mežaudžu malām.

Atsevišķi raksturoti vides apstākļi pēc gaismas, mitruma, augsnes reakcijas un slāpekļa koncentrācijas augsnē, kas noteikti pēc uzskaitītajiem augiem lakstaugu stāvā (Ellenberg et al., 1992). Melnalkšņa mežus raksturo pusēnas gaismas apstākļi (vidējā indikatorvērtība 4.5), mitra augsne (vidējā indikatorvērtība 6.5), mēreni skāba augsnes reakcija (vidējā indikatorvērtība 4.9) un vidēji bagāts slāpekļa daudzums (vidējā indikatorvērtība 5.2).

Konstatēts, ka blakus audzes vecuma ietekmē izmainās augsnes reakcija melnalkšņa mežos ($p=0.009$). Noskaidrots, ka mežos pie jaunām malām ir bāziskāka augsnes reakcija, bet skābāka – objektos pie vidēja vecuma malām ($p=0.008$). Palielinātu augsnes paskābināšanos melnalkšņa mežos Zemgalē var skaidrot ar *Picea abies* skaita pieaugumu objektos pie vidēja vecuma malām.

3.3. Retu epifītu ķērpju sugu sastopamības novērtējums

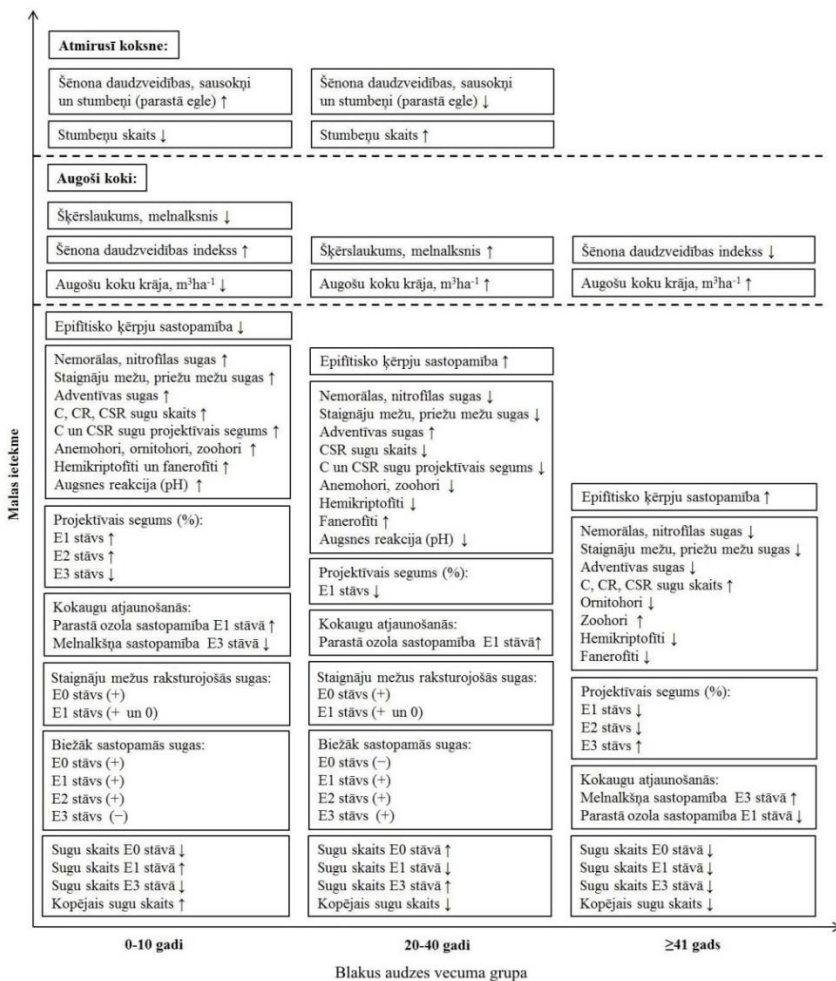
Melnalkšņa mežos konstatētas četras retas un aizsargājamas sugas – epifītiskie ķērpji. Trīs no tām ir iekļautas īpaši aizsargājamo sugu sarakstā – *Arthonia leucopellea* (Ach.) Almq, *Arthonia spadicea* Leight. un *Arthonia vinosa* Leight. (Noteikumi par īpaši aizsargājamo..., 2000). Melnalkšņa mežos šo sugu kopējo skaitu būtiski ietekmē blakus audzes vecums ($p=0.0002$). Noskaidrots, ka objektos pie jaunām malām ir konstatēts mazāk sugu, bet vairāk – pie vidēja vecuma ($p=0.0006$) un relatīvi vecām malām ($p=0.002$). Kopumā pētīto epifītisko ķērpju sugu sastopamību melnalkšņa mežos Zemgalē negatīvi ietekmē vides apstākļu izmaiņas, kas radušās pēc traucējuma blakus audzē. Jāatzīst, ka dažas no sugām ir pielāgojušās mainīgiem vides apstākļiem (piemēram, *Arthonia spadicea*) un var kolonizēt melnalkšņa stubrus, kā arī pastāvēt pie biotopu malām, tādējādi uzrādot pozitīvu atsauci uz malas ietekmi. Savukārt laika gaitā malas ietekme samazinās, un pie melnalkšņa mežu malām palielinās šo sugu sastopamība. Pēc mežistrādes blakus audzēs, pētītajās audzēs malas ietekmes rezultātā palielinās vēja izgāztu kokaugu skaits, līdz ar to būtiski samazinās substrāta pieejamība epifītu ķērpju sugām un to sastopamība (Harper et al., 2004).

3.4. Veģetācijas novērtējums blakus dažāda vecuma mežaudzēm (kopsavilkums)

Būtiskākās kopsakarības par veģetācijas izmaiņām melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm apkopotas 3.4. att.

Malas ilgtermiņa ietekme uz augošiem kokiem. Salīdzinot augošu koku kopējo krāju objektos, kas ir blakus dažāda vecuma audzēm, noskaidrots, ka būtiski mazāka augošu koku krāja ir objektos blakus jaunām malām. Arī kopējais šķērslaukums melnalkšnim ir mazāks objektos pie jaunām malām, salīdzinot ar

pārējiem objektiem. Šēnona daudzveidības indekss augošiem kokiem liecina par lielāku daudzveidību melnalkšņa mežos blakus jaunām malām.



3.4. att. Veģetācijas novērtējums melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma mežaudzēm (kopsavilkums)

Malas ilgtermiņa ietekme uz atmirušās koksnes dinamiku. Kopējo atmirušās koksnes sadalījumu un tās daudzveidību melnalkšņa mežos Zemgalē neietekmē traucējums blakus audzē. Abiotisko faktoru ietekmē objektos pie jaunām malām būtiski samazinās stubeņu daudzums, bet šāda likumsakarība

nav vairs vērojama objektos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām. Izteikti, ka pētījuma objektos pie jaunām malām konstatēts būtiski lielāks Šēnona daudzveidības indekss parastās egles sausokņiem un stubenjiem.

Malas ilgtermiņa ietekme uz sūnu stāvu. Melnalkšņa mežos traucējums blakus audzē ir ietekmējis sastopamo sūnu sugu skaitu. Konstatēts, ka būtiski mazāk sūnu sugu sastopams objektos pie jaunām un relatīvi vecām malām, bet vairāk – pie vidēja vecuma malām. Savukārt biežāk sastopamo sūnu sugu un staigņāju mežus raksturojošo sugu projektīvais segums palielinās objektos pie jaunām un vidēja vecuma malām.

Malas ilgtermiņa ietekme uz lakstaugu stāvu. Melnalkšņa mežos Zemgalē lakstaugu stāvā būtiski pieaug sugu skaits un projektīvais segums, kas samazinās mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām. Noskaidrots, ka staigņāju mežus raksturojošās sugas uz malas ietekmi reaģē pozitīvi (palielinās sugu projektīvais segums) mežos pie jaunām un vidēja vecuma malām attiecībā pret mežiem pie relatīvi vecām malām. Arī nesens traucējums blakus audzē (līdz 10 gadiem) atstāj ietekmi, un pētījuma objektos būtiski vairāk konstatētas nemorālas, nitrofilas, priežu mežu, adventīvas un staigņāju mežu sugas, kas samazinās objektos pie vidēja vecuma malām. Līdz ar citu augu sabiedrību sugu ienākšanu objektos pie jaunām malām, būtiski palielinās C un CSR sugu skaits un to projektīvais segums, bet šāda ietekme samazinās objektos pie vidēja vecuma malām. Melnalkšņa mežos pie jaunām malām būtiski vairāk konstatēti anemohori un ornitohori, bet anemohoru sugu skaits samazinās objektos pie vidēja vecuma malām, bet ornitohoru – objektos pie relatīvi vecām malām, turklāt šīs grupas objektos konstatēts arī būtiski lielāks zoolohoru augu skaits. Noskaidrots, ka melnalkšņa mežos pie jaunām malām sastopams vairāk hemikriptofītu un fanerofītu nekā pārējos mežos.

Malas ilgtermiņa ietekme uz krūmu stāvu. Melnalkšņa mežu blakus audzes vecums ietekmē krūmu stāva projektīvā seguma izmaiņas, kur noteikts, ka mežos pie jaunām malām segums palielinās, bet samazinās – pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām. Arī biežāk sastopamo sugu projektīvais segums krūmu stāvā uz traucējuma ietekmi blakus audzēs reaģē pozitīvi mežos pie jaunām un vidēja vecuma malām.

Malas ilgtermiņa ietekme uz koku stāvu. Melnalkšņa mežos Zemgalē blakus audzes vecums ietekmē sugu skaitu un projektīvo segumu koku stāvā. Konstatēts, ka būtiski mazāks sugu skaits un to projektīvais segums ir mežos pie jaunām malām, kas savukārt palielinās laika gaitā un mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām ir lielāks. Šāda attīstība ir saistīta ar abiotisko faktoru ietekmi mežos, kur blakus audzēs traucējums ir bijis nesen. Būtiski samazinās arī melnalkšņa sastopamība mežos pie jaunām malām, turklāt noskaidrots, ka biežāk sastopamās sugas samazinās (reaģē negatīvi) melnalkšņa mežos pie jaunām malām.

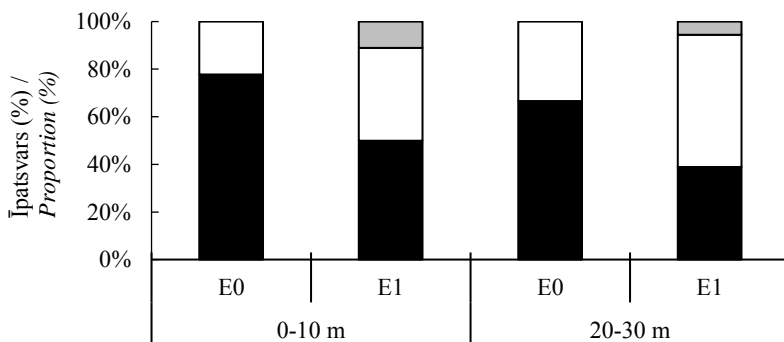
Malas ilgtermiņa ietekme uz reto epifītisko ķērpju sastopamību. Ir zināms, ka epifītiskās ķērpju sugas negatīvi reaģē uz abiotisko faktoru maiņu, ko izsauc

traucējums blakus audzēs. Arī melnalkšņa mežos konstatēta šāda likumsakarība, kur noskaidrots, ka objektos, kuros traucējums bijis nesen (līdz 10 gadiem), sastopams būtiski mazāk reto epifītisko ķērpju sugu nekā pārējos objektos.

3.5. Attāluma faktora ietekme uz veģetāciju melnalkšņa mežos Zemgalē

3.5.1. Staignāju mežus raksturojošās sugas

Atsevišķi analizēta malas attāluma ietekmes intensitāte pēc K. Harperes u.c. metodikas (Harper et al., 2004) uz staignāju mežus raksturojošo sugu projektīvā seguma izmaiņām sūnu un lakstaugu stāvos (Lārmanis et al., 2000; Auniņš et al., 2013). Novērtēts, ka malas attāluma ietekmes intensitāte uz minēto sugu projektīvā seguma izmaiņām sūnu un lakstaugu stāvos ir pozitīva (vidēji 58%), negatīva (vidēji 39%) un neitrāla (3%). Konstatēts, ka 1. joslā vairākums sugu sūnu un lakstaugu stāvos reaģē pozitīvi (attiecīgi 78% un 50%), mazāk – negatīvi (attiecīgi 22% un 39%) vai neitrāli (attiecīgi 0% un 11%). Savukārt 2. joslā vairākums sugu sūnu stāvā reaģē pozitīvi (67%) (3.5. att.). Pretēji tam, vairākums lakstaugu stāva sugas šajā joslā reaģē negatīvi (56%), bet mazāk – pozitīvi (39%) vai neitrāli (6%) (3.5. att).



Attālums no audzes malas uz centru un veģetācijas stāvs /
Distance from stand edge and vegetation layer

■ Pozitīva / Positive □ Negatīva / Negative ▒ Neitrāla / Indifferent

3.5. att. Malas attāluma ietekmes intensitāte uz staignāju mežus raksturojošo sugu īpatsvaru

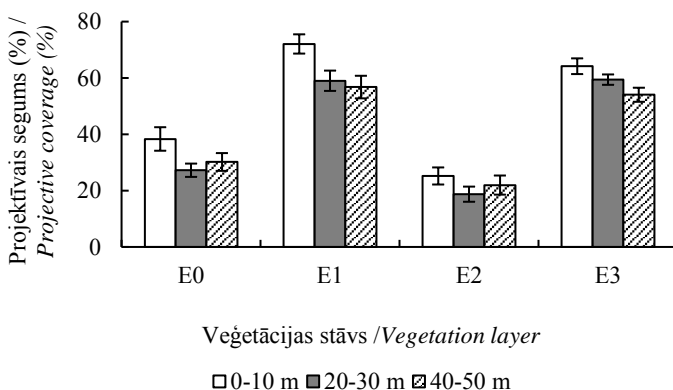
Fig. 3.5. The distance of edge influence on proportion of black alder swamp forest characteristic species

Kopumā secināms, ka vairākums staignāju mežus raksturojošo sugu sūnu stāvā uz malas attālumu reaģē pozitīvi, bet mazāku īpatsvaru veido sugas,

kas reaģē negatīvi un neitrāli. Pozitīva ietekme uz sūnu sugu sastopamību ir skaidrojama ar to, ka melnalkšņa mežos valda pastāvīgi mitruma apstākļi, kas saglabājas arī pie to malām un ir būtisks sūnu sugu pastāvēšanai. Vairākas sugas spēj eksistēt, arī strauji samazinoties relatīvajam mitrumam (Esseen et al., 1981), kas vērojams D un DR malās, salīdzinot ar *Z. Tomēr suga *Leucobryum glaucum* ar vislielāko vidējo projektīvo segumu konstatēta 3. joslā, un tā negatīvi reaģē uz malas attāluma ietekmi 1. un 2. joslā. Savukārt lakstaugu stāvā vairākums sugu uz malas attāluma ietekmi reaģē negatīvi un neitrāli, bet mazāk sugu reaģē pozitīvi. Piemēram, negatīvi uz malas attālumu reaģē *Athyrium filix-femina*, *Filipendula ulmaria*, *Iris pseudacorus*, *Lysimachia vulgaris* un *Solanum dulcamara*. Savukārt pozitīva malas attāluma ietekme konstatēta šādām melnalkšņa mežus raksturojošām sugām: *Lycopus europaeus*, *Galium palustre* un *Caltha palustris*. Šīm sugām projektīvais segums samazinās, attālinoties no malas.*

3.5.2. Veģetācijas projektīvais segums pa stāviem

Melnalkšņa mežos Zemgalē vislielāko vidējo projektīvo segumu veido veģetācija lakstaugu un koku stāvā, bet vismazāko – krūmu stāvā (3.6. att.).



3.6. att. Veģetācijas projektīvais segums (%) pa stāviem 0-10 m, 20-30 m un 40-50 m attālumā no audzes malas

Norādītas vidējās vērtības ± standartkļūda

Fig. 3.6. Vegetation projective coverage per layers 0-10 m, 20-30 m and 40-50 m from forest stand edge

Mean values ± standart error are shown

Konstatēts, melnalkšņa mežos lakstaugu ($p=0.009$) un koku stāva ($p=0.006$) projektīvais segums ir atkarīgs no attāluma ietekmes. Noskaidrots, ka lielāks lakstaugu stāva projektīvais segums ir 1. joslā, bet mazāks – 2. un 3. joslā

(attiecīgi $p=0.02$ un $p=0.005$). Būtiski mazāks projektīvais segums koku stāvā konstatēts 1. joslā, savukārt lielāks – 2. un 3. joslā (attiecīgi $p=0.05$ un $p=0.03$). Noskaidrots, ka attālums neietekmē sūnu un krūmu stāvu projektīvo segumu Lakstaugu stāva projektīvā seguma pieaugumu un sugu bagātību veicina apgaismojuma palielināšanās un temperatūras paaugstināšanās pie malām, kur tās robežojas ar izcirtumiem un jaunaudzēm.

3.5.3. Augu ekoloģisko grupu sadalījums

Melnalkšņa mežos augu sugu skaita sadalījums pa indikatīvām grupām būtiski mainās attāluma ietekmē. Noskaidrots, ka lielāks nemorālo sugu skaits sastopams 1. joslā, bet mazāks – 3. joslā ($p=0.02$). Pārējo indikatīvo grupu sugu skaits ir līdzīgs un statistiski būtiski neatšķiras, bet tomēr novērojama tendence, ka pie malām ir vairāk nitrofilo, boreālo, staigņāju, pļavu, priežu mežu un adventīvo sugu (*Solidago canadensis*, *Impatiens parviflora*, *Grossularia reclinata*), kā arī citas melnalkšņa mežiem neraksturīgas sugas (*Taraxacum officinale*, *Chamaenerion angustifolium* un *Solidago virgaurea*). Līdzīgā pētījumā konstatēts, ka tuvāk audžu malai būtiski pieaug invazīvo vai svešzemju sugu sastopamība, salīdzinot ar audzes centru (Brothers, Spingarn, 1992).

Melnalkšņa mežos atsevišķi analizēta lakstaugu stāva sugu stratēģisko grupu sadalījuma izmaiņas attiecībā pret malas attāluma ietekmi. Kopumā vislielāko vidējo īpatsvaru 1. joslā veido C, CS un CSR stratēģiju augi (attiecīgi 32%, 32% un 27%). Savukārt mežos 2. un 3. joslā lielāko īpatsvaru veido CS (attiecīgi 32% un 27%), CSR (attiecīgi 27% un 27%) un C augi (attiecīgi 28% un 28%), bet mazāku īpatsvaru – CR, S un SR augi. Konstatēts, ka attāluma faktors būtiski ietekmē sugu skaita stratēģisko grupu sadalījumu. Noskaidrots, ka būtiski lielāks C sugu skaits ir sastopams 1. joslā, bet mazāk – 2. un 3. joslā (attiecīgi $p=0.03$ un $p=0.0006$). Biežāk sastopamās C sugas lakstaugu stāvā ir *Rubus idaeus*, *Urtica dioica*, *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus* un *Picea abies*. Zināms, ka lakstaugu sugas *Rubus idaeus* un *Urtica dioica* strauji savairojas pēc traucējuma un spēj negatīvi ietekmēt, piemēram, augus – stresolerantus. Tomēr šīs sugas ir bieži sastopamas un raksturīgas melnalkšņa mežu augu sabiedrībām Latvijā (Priedītis, 1999).

Atsevišķi analizēta augu sugu sēklu un sporu izplatība malas attāluma ietekmē. Melnalkšņa mežos Zemgalē 1. un 2. joslā lielāko īpatsvaru veido anemohori, hidrohori un ornitohori augi. Savukārt 3. joslā lielāko īpatsvaru veido hidrohori, ornitohori un anemohori augi. Konstatēts, ka sugu sadalījums pa sēklu un sporu izplatības veidiem mainās attāluma ietekmē. Noskaidrots, ka vairāk ornitohoru ($p=0.01$) un anemohoru ($p=0.002$) sugu konstatētas 1. joslā, bet mazāk – 3. joslā. Savukārt pārējo sugu sēklu un sporu izplatība nav saistāma ar attāluma ietekmi. Lielāka anemohoru sugu sastopamība konstatēta tuvāk melnalkšņa mežu malām, jo daudzas no šīm sugām ir vispārīgās sugas, kas

samērā īsā laika periodā spēj kolonizēt jaunas teritorijas un ieviešas pēc traucējumiem. Biežāk sastopamās sugas ir *Mycelis muralis*, *Betula pubescens* un *Equisetum spp.* Zināms, ka fragmentētā meža ainavā tuvāk mežaudžu malām sēklu un sporu izplatību nodrošina vējš.

Melnalkšņa mežos atsevišķi analizēts sugu skaita sadalījums pa augu dzīvības formām attāluma ietekmē. Noskaidrots, ka melnalkšņa mežos visās joslās lielāko īpatsvaru veido hemikriptofīti (attiecīgi 38%, 36% un 33%), fanerofīti (20%, 17% un 20%) un helofīti (attiecīgi 15%, 18% un 18%), bet mazāku – ģeofīti, hamefīti un terofīti.

Atsevišķi analizēta attāluma faktora ietekme uz sugu skaitu pa augu dzīvības formām. Konstatēts, ka attāluma faktors būtiski ietekmē sugu skaitu pa augu dzīvības formām. Noskaidrots, ka būtiski vairāk hemikriptofītu sugas sastopamas 1. joslā, bet mazāk – 3. joslā ($p=0.02$). Vairāk fanerofītu sugu sastopams 1. joslā, bet mazāk – 2. ($p=0.02$) un 3. joslā ($p=0.003$). Savukārt attāluma faktors būtiski neietekmē hamefītu, ģeofītu un tereofītu sugu skaitu. Pētījumos par malas attāluma ietekmi uz zemsedzes sugu sastāvu skaidrots, ka fanerofītu daudzuma palielināšanos malu tuvumā izsauc vēja ietekme (Chen et al., 1995). Šī ietekme pētītajos melnalkšņa mežos konstatēta līdz 30 m attālumā no audzes malas. Savukārt būtiski lielāka hemikriptofītu bagātība līdz 10 m attālumam ir saistāma ar vēja ietekmi malu tuvumā. Ir zināms, ka lielākā daļa no pētījuma parauglaukumos sastopamajiem hemikriptofītiem ir anemohori (piemēram, graudzāles).

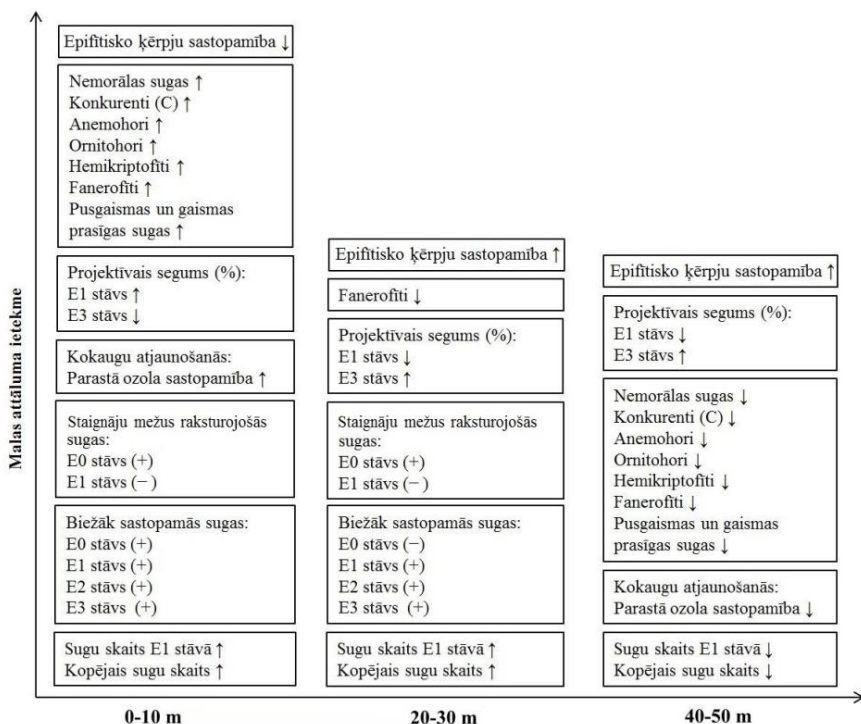
3.6. Retu epifītisku ķērpju sugu sastopamību

Melnalkšņa mežos Zemgalē mazāka reto epifītisko ķērpju sastopamība konstatēta tuvāk malai 1. joslā, bet vairāk – pārējās joslās ($p=0.02$). Konstatēts, ka vislielākā reto epifītisko ķērpju sugu sastopamība (četras sugas) konstatēta 40-50 m attālumā no malas. Līdzīgi apstiprināts arī citos pētījumos par malas ietekmi uz ķērpju un sūnu sugu daudzveidību, kas samazinās, pieaugot attālumam no malas (Murcia, 1995).

3.7. Malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem Zemgalē (kopsavilkums)

Būtiskākās kopsakarības melnalkšņa mežos Zemgalē malas attāluma ietekmē apkopotas 3.7. att.

Malas attāluma ietekme uz sūnu stāvu. Pētījumā noskaidrots, ka attālums no audzes malas būtiski neietekmē kopējo sūnu sugu skaitu un projektīvo segumu, bet ir konstatēts, ka objektos pie malām (1. un 2. josla) biežāk sastopamo sugu projektīvais segums palielinās. Arī staignāju mežus raksturojošās sūnu sugas malu tuvumā (1. un 2. josla) uzrāda pozitīvu atsaucē reakciju.



3.7. att. Malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem Zemgalē (kopsavilkums)

Malas attāluma ietekme uz lakstaugu stāvu. Kopumā secināms, ka lakstaugu stāvs indicē malas attāluma ietekmes izmaiņas melnalkšņa mežos Zemgalē. Noskaidrots, ka kopējais sugu skaits un to projektīvais segums ir būtiski lielāks malū tuvumā, bet samazinās, palielinoties attālumam no malas, un ietekme uz sugu projektīvo segumu sniedzas no 20 līdz 30 m no audzes malas, savukārt sugu skaits samazinās 40-50 m attālumā no audzes malas. Uz malas ietekmi pozitīvi reaģē biežāk sastopamās sugas (to projektīvais segums) 1. un 2. joslā, salīdzinot ar 3. joslu. Savukārt staignāju mežus raksturojošās sugas malū tuvumā reaģē negatīvi (1. un 2. josla). Arī analizējot augu sabiedrību ekoloģisko grupu pazīmes, secināts, ka kopumā tuvāk melnalkšņa mežu malai (1. un 2. josla) būtiski pieaug nemorālu sugu skaits, konkurentu (C) sugu skaits un to projektīvais segums, vērojams anemohoru un ornitohoru skaita, kā arī hemikriptofītu skaita pieaugums. Malū tuvumā (1. josla) pieaug fanerofītu sugu skaits, kā arī *Quercus robur* sastopamība. Noskaidrots, ka tuvāk malai būtiski pieaug pusgaismas un gaismas prasīgu sugu skaits, kas samazinās, palielinoties attālumam no audzes malas.

Malas attāluma ietekme uz krūmu stāvu. Attiecībā uz kopējo krūmu stāva sugu skaitu un to projektīvā seguma izmaiņām melnalkšņa mežos Zemgalē nav vērojamas izmaiņas. Noskaidrots, ka biežāk sastopamās sugas veido pozitīvu malas attāluma atsauci līdz pat 40-50 m attālumam no audzes malas.

Malas attāluma ietekme uz koku stāvu. Noskaidrots, ka būtiski mazāks kopējais koku stāva projektīvais segums ir melnalkšņa mežos tuvāk malai, bet pieaug, palielinoties attālumam no audzes malas.

Malas attāluma ietekme uz reto epifītisko ķērpju sastopamību. Kopumā noskaidrots, ka retas epifītisko ķērpju sugas uz malas attāluma ietekmi reaģē negatīvi tuvāk audzes malai (1. josla), bet, sākot ar 2. attāluma joslu to sastopamība palielinās, kur vislielākā sugu sastopamība konstatēta 3. joslā.

3.8. Malas attāluma ietekme uz veģetāciju blakus dažāda vecuma mežaudzēm

3.8.1. Veģetācijas sugu projektīvais segums pa stāviem

Melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm visās joslās vislielākais sugu projektīvais segums konstatēts lakstaugu stāvā. Pētījuma objektos pie jaunām malām sugu projektīvo segumu sūnu un lakstaugu stāvos būtiski ietekmē malas attālums, kur noskaidrots, ka lielāks sūnu stāva projektīvais segums ir 1. joslā, bet mazāks – 3. joslā ($p=0.04$). Turklāt lakstaugu stāvā lielāks projektīvais segums noteikts 1. joslā, bet mazāks – 2. un 3. joslā (attiecīgi $p=0.04$ un $p=0.003$). Savukārt šīs grupas objektos krūmu un koku stāvu projektīvo segumu malas attālums būtiski neietekmē. Secināts, ka melnalkšņa mežos, kas ir blakus audzēm vecumā līdz 10 gadiem, būtiski pieaug lakstaugu stāva projektīvais segums, un dominē pirmās sukcesijas stadijas sugas, tādējādi šīs sugas veido būtisku konkurenci, kas var negatīvi ietekmēt melnalkšņa atjaunošanos. Piemēram, melnalkšņa mežos Zemgalē pie jaunām malām lielākais lakstaugu stāva projektīvais segums – 95% konstatēts 1. joslā, kā arī vidējais projektīvais segums visās šīs grupas joslās ir vidēji 87%, kas liecina par ievērojamu dominanci zemsedzē.

Melnalkšņa mežos Zemgalē blakus vidēja vecuma un relatīvi vecām malām attālums būtiski ietekmē projektīvo segumu koku stāvā, kur konstatēts, ka mežos pie vidēja vecuma malām lielāks koku stāva projektīvais segums konstatēts 1. joslā, bet mazāks – 3. joslā ($p=0.02$). Savukārt mežos blakus relatīvi vecām malām būtiski lielāks koku stāva projektīvais segums ir 1. joslā, bet mazāks – 2. un 3. joslā (attiecīgi $p=0.04$ un $p=0.03$). Iegūtie rezultāti atšķiras no citiem pētījumiem, kur primārā malas attāluma ietekme vērojama kā kokaugu skaita un projektīvā seguma būtiska samazināšanās (Harper et al., 2004; Harper et al., 2015). Tā kā pētītie melnalkšņa meži atbilst pārauguša vecuma audzēm, tad to iekšienē notiek dabiskie traucējumi, piemēram, audzes

pašizrobošanās, kā rezultātā, kokaudzei sabrūkot, rodas atvērumi, un dabiski samazinās projektīvais segums, turklāt šādi atvērumi pielīdzināmi malām.

3.8.2. Augu ekoloģisko grupu sadalījums

Melnalkšņa mežos lielāko īpatsvaru veido nitrofilo, boreālo, nemorālo un staigņāju mežu augu sugas. Mežos pie jaunām malām visās joslās lielāko sugu skaitu veido nitrofilas sugas, no tām visbiežāk sastopamās ir *Alnus glutinosa*, *Urtica dioica*, *Athyrium filix-femina*, *Filipendula ulmaria*, *Lycopus europaeus* un *Lysimachia vulgaris*. Konstatēts, ka sugu skaita sadalījums pa indikatīvām grupām būtiski izmainās malas attāluma ietekmē, kur vairāk adventīvās, nemorālās un pļavas sugas konstatētas 1. joslā, bet mazāk – 3. joslā (attiecīgi $p=0.02$, $p=0.01$ un $p=0.01$). Vairāk meža ekosistēmām neraksturīgas sugas sastopamas vietās, kur ainavā dominē lauksaimniecības zemes un mežos, kuros pārsvarā ir sastopamas pirmās pionierfāzes sugas, kas spēj pielāgoties straujām mikroklimata izmaiņām, tādējādi ātri kolonizējot atvērumus pēc mežizstrādes, gan arī blakus mežaudžu malas, kas arī Latvijā visvairāk ir ietekmētas no D un DR puses (Palik, Murphy, 1990; Harper et al., 2005). Tāpat vairākos pētījumos apstiprināts, ka mežaudžu malās pēc traucējuma pieaug invazīvo sugu skaits, kas ātri spēj pārņemt pirms traucējuma dominējošās augu sabiedrības (Yates et al., 2004; Harper et al., 2005; Honnay et al., 2005). Konstatēts, ka melnalkšņa mežos pie jaunām malām 1. joslā sastopamas šādas adventīvas sugas: *Grossularia reclinata*, *Impatiens parviflora* un *Solidago canadensis*. Noskaidrots, ka arī šīs grupas 1. joslā ir lielāks pļavas sugu skaits, kas norāda, ka arī melnalkšņa mežos pie malām spēj ieviesties sugas, kas nav raksturīgas šīm mežu sabiedrībām, bet nemorālo sugu pieaugumu var saistīt ar temperatūras un gaismas palielināšanos, kas pozitīvi veicina šo sugu sastopamības pieaugumu (pļavas sugas – *Agrostis stolonifera*, *Taraxacum officinale*, *Fragaria vesca* un *Galeopsis tetrahit*, nemorālas sugas – *Paris quadrifolia*, *Mycelis muralis*). Savukārt melnalkšņa mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām attāluma ietekme uz sugu skaita sadalījuma pa indikatīvām grupām nav statistiski būtiska. Kopumā būtisks adventīvo, pļavas un nemorālo sugu pieaugums melnalkšņa mežos pie jaunām malām vērojams 1. joslā.

Melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm atsevišķi analizēts lakstaugu stāva sugu stratēģiju grupu sadalījums pēc sugu skaita malas attāluma ietekmē. Konstatēts, ka melnalkšņa mežos pie jaunām malām sugu stratēģiju grupu sadalījumu būtiski ietekmē malas attālums, kur noskaidrots, ka 1. joslā ir būtiski lielāks C sugu skaits un projektīvais segums, salīdzinot ar 3. joslu (attiecīgi $p=0.03$ un $p=0.03$). Savukārt mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām attālums neietekmē sugu stratēģisko grupu sadalījumu. Iegūtie rezultāti parāda, ka malas attāluma ietekmei visvairāk pakļauti melnalkšņa meži pie jaunām malām (1. josla). Kā bija prognozēts, šajos melnalkšņa mežos, attālums būtiska ietekmē C sugu projektīvo segumu un skaitu. Tas ir skaidrojams

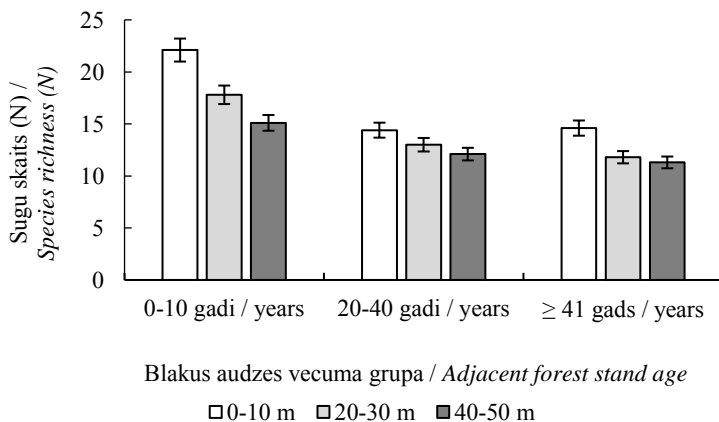
ar to, ka bieži vien C sugas ir pirmās pionierfāzes sugas, kam ir nepieciešami pusegaismas vai gaismas apstākļi, un, pieaugot vecumam pēc traucējuma ietekmētajā kokaudzē, palielinās koku stāva augstums, kas savukārt samazina apgaismojumu un vēja ietekmi pie malām, ka rezultātā pieaug noēnojums, tādējādi palielinot stresolerantu skaitu. Jāatzīmē, ka sugas ar jaukta tipa stratēģijām (piemēram, CS vai CSR), izmainoties vides apstākļiem, spēj mainīties uz citu stratēģisko tipu (Grime, 1979). Piemēram, *Impatiens parviflora* ir rudērāla suga ar CSR tipa stratēģiju, kas pieauguša vecuma mežā ir stresolerants, bet pēc traucējuma kļūst par konkurentu, strauji kolonizējot antropogēni ietekmētas vietas.

Melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm malas attāluma ietekmē atsevišķi analizētas augu sugu izmaiņas pa sēklu un sporu izplatības veidiem. Konstatēts, ka mežos pie jaunām malām sugu skaits pa sēklu un sporu izplatības veidiem būtiski mainās attāluma ietekmē. Noskaidrots, ka vairāk ornitohori un anemohori sastopami 1. joslā, bet mazāk – 3. joslā (attieciņi $p=0.03$ un $p=0.02$). Savukārt mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām sugu skaitu pa dažādiem sēklu un sporu izplatības veidiem neietekmē malas attālums. Noskaidrots, ka melnalkšņa mežos visvairāk sugas ir anemohori un ornitohori. Visbiežāk sastopamie ornitohori ir *Rubus spp.*, *Sorbus aucuparia*, *Vaccinium spp.* un *Picea abies*. Putniem šo sugu augļi un sēklas ir barības avots. Šāda ornitohoru dominance melnalkšņa mežos liecina par to, ka šie meži funkcionē kā malu biotopi ainavā. To apliecina arī citi pētījumi, kur novērtēta aizsargājamo meža biotopu funkcionalitāte un kvalitatīvās vērtības saimnieciskos mežos Skandināvijā, kas apliecina, ka šajās teritorijās iztrūkst kodolzonas, kas neveicina to funkcionalitāti ainavas līmenī (Aune et al., 2005; Timonen et al., 2011). Palielinoties malu biotopiem meža ainavā, rodas jaunas ekoloģiskās nišas vairākām organismu grupām, kas palielina sēklu izplatības iespējas, tādējādi radot izmaiņas veģetācijas sastāvā, piemēram zoolohorija (Sekgororoane, Dilworth, 1995). Noskaidrots, ka ziemeļu sukujokoku mežos putni mežaudžu malas izmanto kā barības meklēšanas un vairošanās vietas daudz aktīvāk nekā kodolzonā (Andrén, 1995).

Atsevišķi analizēts augu sugu skaits pēc augu dzīvības formu sadalījuma. Noskaidrots, ka melnalkšņa mežos pie jaunām malām augu sugu skaits pa augu dzīvības formām būtiski mainās attāluma ietekmē. Noskaidrots, ka vairāk hemikriptofītu ir sastopami 1. joslā, bet mazāk – 2. un 3. joslā (attieciņi $p=0.03$ un $p=0.006$). Arī pētījuma objektos vairāk hemikriptofīti ir sastopami 2. joslā, bet mazāk – 3. joslā ($p=0.03$). Vairums no melnalkšņa mežos dominējošiem hemikriptofītiem ir vispārīgās sugas, piemēram, *Urtica dioica*, *Mycelis muralis* un *Geum spp.* Savukārt mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām sugu skaita sadalījums pa augu dzīvības formām attāluma ietekmē būtiski nemainās. Kopumā secināts, ka melnalkšņa mežos Zemgalē dominē hemikriptofīti, fanerofīti un helofīti. Vairākums ir vispārīgās sugas, kas pielāgojušies traucējumu ietekmei un vides apstākļu maiņai. Piemēram, vairumam helofītu piemīt hidrofitu īpašības, kas nodrošina sugu

eksistenci ilgstoši pārmitros apstākļos (Hérault, Honnay, 2007). Šajā aspektā izplatītākās melnalkšņa mežu sugas ir *Lysimacia vulgaris*, *Iris pseudacorus*, *Carex spp.* un *Lycopus europaeus*. Vairākas krūmu un kokaugu fanerofītu sugas spēj attīstīties pēc traucējumu ietekmes blakus audzē un spēj sekmīgi atjaunoties tuvāk melnalkšņa mežaudžu malām, bet būtiskas atšķirības attiecībā uz fanerofītu sugu skaitu pie melnalkšņa malām nav konstatētas. Biežāk sastopamie fanerofīti ir *Alnus glutinosa*, *Picea abies*, *Sorbus aucuparia* un *Frangula alnus*, kas ir raksturīgi melnalkšņa mežiem. Lielākai daļai sugu augļi un sēklas ir liela izmēra un smagi, un šo to izplatību veicina putni vai mazie grauzēji.

Atsevišķi analizēta sugu bagātība augiem lakstaugu stāvā, kuru pastāvēšana ir atkarīga no pusgaismas un gaismas apstākļiem (3.8. att.).



3.8. att. Pusgaismas un gaismas prasīgo sugu skaits lakstaugu stāvā blakus dažāda vecuma audzēm 0-10 m, 20-30 m un 40-50 m attālumā no audzes malas
Norādītas vidējās vērtības ± standarkļūda

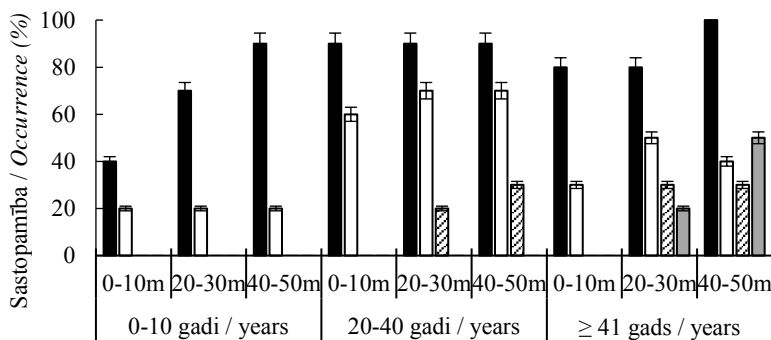
Fig. 3.8. The species richness of light demanding species in herb layer adjacent to different stand age with distance 0-10 m, 20-30 m and 40-50 m from forest stand edge

Mean values ± standar error are shown

Konstatēts, ka melnalkšņa mežos pie jaunām malām attālums ietekmē pusgaismas un gaismas sugu skaitu lakstaugu stāvā, kur tās vairāk sastopamas 1. joslā (vidēji 22.1 sugas), bet mazāk – 3. joslā (vidēji 15.1 sugas) ($p=0.02$) (3.8. att.). Savukārt pētījuma objektos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām attālums neietekmē pusgaismas un gaismas prasīgo sugu skaitu lakstaugu stāvā. Kopumā secināts, ka pēc traucējuma blakus audzē melnalkšņa mežos tuvāk malai (1. josla), būtiski pieaug pusgaismas un gaismas prasīgo sugu skaits (piemēram, *Lysimachia vulgaris*, *Rubus idaeus*, *Urtica dioica*), kas mainās laika gaitā pēc traucējuma.

3.9. Retu epifītisku ķērpju sugu sastopamība

Melnalkšņa mežos reto epifītisko ķērpju sastopamība blakus dažāda vecuma audzēm ar dažādu attālumu no audzes malas attēlota 3.9. att. Melnalkšņa mežos pie jaunām un vidēja vecuma malām reto epifītisko ķērpju sugu sastopamība ir samērā neliela un attālums neietekmē to. Savukārt melnalkšņa mežos pie relatīvi vecām malām būtiska ir attāluma ietekme uz reto epifītisko ķērpju sugu sastopamību. Noskaidrots, ka būtiski mazāk sugu sastopams 1. joslā, bet vairāk – 2. un 3. joslā (attiecīgi $p=0.02$ un $p=0.03$).



Blakus audzes vecuma grupa un attālums no audzes malas uz centru / *Adjacent forest stand age and distance from forest edge*

■ *Arth spad* □ *Grap scri* ▨ *Arth leuc* ▩ *Arth vino*

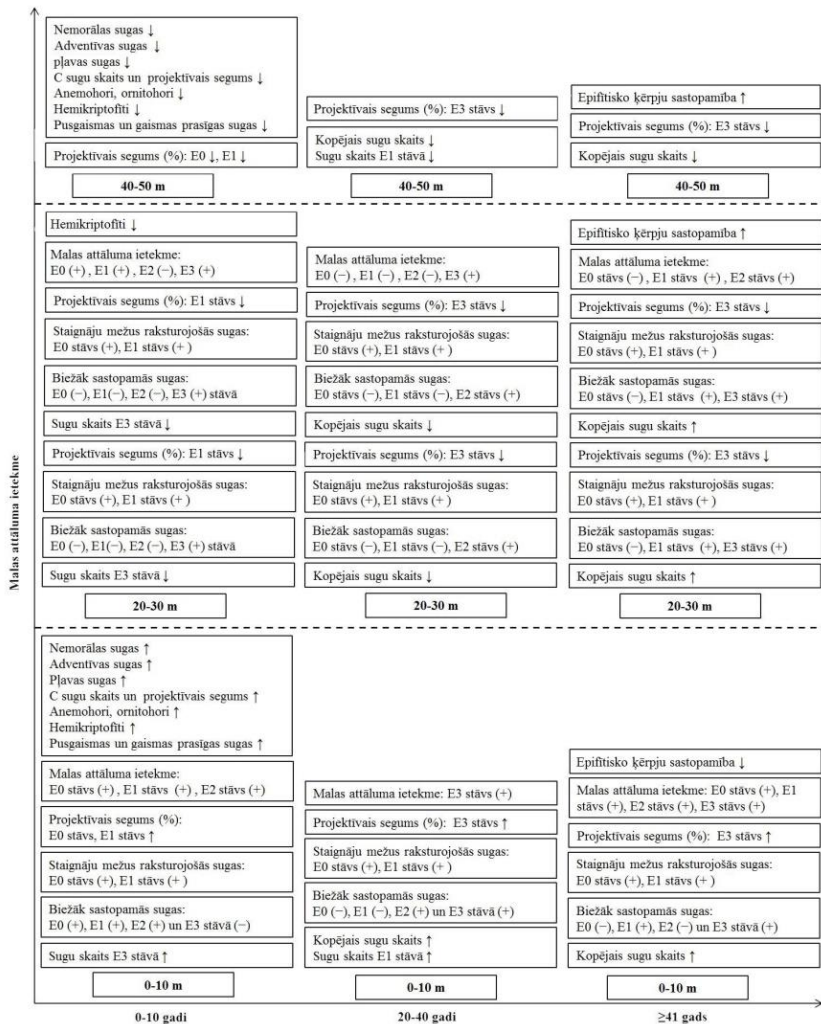
3.9. att. Retu epifītisko ķērpju sugu sastopamība (%) blakus dažāda vecuma audzēm 0-10 m, 20-30 m un 40-50 m attālumā no audzes malas
Fig. 3.9. The occurrence (%) of rare species epiphytic lichens adjacent to different stand age with distance 0-10 m, 20-30 m and 40-50 m from forest stand edge

Atrastas liecības, ka epifītiskie ķērpji mazāk kolonizē substrātus pie mežaudžu malām (Hilmo et al., 2005). Savukārt negatīvs epifītu populācijas pieaugums ir saistīts ar izmainīto mikroklimatu malu tuvumā, kur visbiežāk šo atsauci rada pieejamā subtstrāta izžūšana, kas notiek pastiprinātā vēja ietekmē un saules radiācijas pieauguma rezultātā (Chen et al., 1995). Lai samazinātu malas attāluma ietekmi uz retu epifītu sastopamību, ieteicama buferjoslu izveide gar D vai DR malām, kas samazinātu traucējuma ietekmi un nodrošinātu tām pieejamu substrātu. Jāuzsver, ka retu epifītu sugu sastopamību var noteikt arī citi faktori, kas šī pētījuma ietvaros nav analizēti. Ir nepieciešami tālāki pētījumi, kas apliecina, vai melnalkšņa mizas lobīšanās atstāj negatīvu ietekmi uz krevju ķērpju sastopamību Latvijā, kā arī, vai savstarpējā sugu konkurence par substrāta pieejamību ir saistīta ar sugu izžušanu uz melnalkšņiem. Šo īpaši nozīmīgi būtu

novērtēt, lai analizētu ES aizsargājamo biotopu pastāvēšanas efektivitāti ilgtermiņā saimniecisko mežu platībās Latvijā.

3.10. Malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem blakus dažāda vecuma mežaudzēm (kopsavilkums)

Būtiskās kopsakarības par malas attāluma ietekmi apkopotas 3.10. att.



3.10. att. Malas attāluma ietekme uz melnalkšņa mežiem blakus dažāda vecuma mežaudzēm (kopsavilkums)

Malas ilgtermiņa un attāluma ietekme uz sūnu stāvu. Melnalkšņa mežos blakus dažāda vecuma audzēm būtiski lielāks projektīvais segums sūnu stāvā konstatēts tuvāk malai (1. josla), kas savukārt samazinās, pieaugot attālumam no malas. Secināts, ka staignāju mežus raksturojošās sugas, kā arī biežāk sastopamās sugas veido pozitīvu atsauci tuvāk malai (1. un 2. josla) attiecībā pret 3. joslu.

Malas ilgtermiņa un attāluma ietekme uz lakstaugu stāvu. Noskaidrots, ka lakstaugu stāva projektīvais segums palielinās melnalkšņa mežos pie jaunām malām, un attāluma ietekme uz projektīvo segumu sniedzas līdz 10 m no audzes malas (1. josla), savukārt lielāks sugu skaits šajā joslā saglabājas mežos pie vidēja vecuma un relatīvi vecām malām, kur malas attāluma ietekme sniedzas līdz 2. joslai. Secināts, ka ilglaicīga pozitīva malas ietekme uz biežāk sastopamajām sugām, ka staignāju mežu raksturīgajām sugām saglabājas arī mežos pie relatīvi vecām malām 1. un 2. attāluma joslā attiecībā pret 3. joslu. Būtiski, ka melnalkšņa mežos blakus jaunām malām 1. joslā, izmainās sugu sastāvs, piemēram, pieaug nemorālu un adventīvu sugu skaits, konkurentu sugu skaits un to projektīvais segums, kā arī pusgaismas un gaismas prasīgu sugu skaits, turklāt būtiski palielinās anemohoru un zoohoru skaits.

Malas ilgtermiņa un attāluma ietekme uz krūmu stāvu. Kopumā secināts, ka melnalkšņa mežos arī blakus relatīvi vecām malām noteikta pozitīva atsaucē reakcija uz krūmu stāva sugu projektīvā segumu pie malām (1. josla), bet uz biežāk sastopamajām sugām – mežos pie vidēja vecuma malām līdz 2. joslai (3.10. att.).

Malas ilgtermiņa un attāluma ietekme uz koku stāvu. Noskaidrots, melnalkšņa mežos pie vidēja vecuma malām līdz 2. joslai sugu skaits un to projektīvais segums koku stāvā veido pozitīvu malas atsauci.

Malas ilgtermiņa un attāluma ietekme uz retu epifītisko ķērpju sastopamību. Attiecībā uz reto epifītisko ķērpju sastopamību, vērojama negatīva tendence: traucējums blakus audzē šīs sugas ietekmē, un tām konstatēta zema sastopamība (piemēram, *Arthonia vinosa* un *Arthonia leucopella*). Melnalkšņa mežos pie relatīvi vecām malām būtiska ir attāluma ietekme uz šo sugu sastopamību, kur mazāk sugu ir 1. joslā, bet vairāk – 2. un 3. joslā.

SECINĀJUMI

1. Malas ietekme uz melnalkšņa kokaudzi saglabājas līdz 10 gadiem pēc traucējuma blakus mežaudzē – abiotisko faktoru izmaiņu rezultātā samazinās augošu koku krāja un melnalkšņa šķērslaukums, koku stāva projektīvais segums, kā arī stubeņu skaits.
2. Melnalkšņa mežos 20-40 gadus pēc traucējuma sūnu stāvā konstatēta pozitīva malas atsauces reakcija, ko izskaidro abiotisko faktoru izmaiņas: augsnes virskārtas izzūšana nodrošina substrāta pieejamību, bet gaismas daudzuma palielināšanās veicina fotosintēzi, kas labvēlīgi ietekmē sūnaugu sastopamību un to projektīvā seguma palielināšanos.
3. Melnalkšņa mežos pie jaunām malām būtiski izmainās lakstaugu stāvs, turklāt ietekme saglabājas vairāk nekā 41 gadu pēc traucējuma blakus audzē un sniedzas 20-30 m attālumā no audzes malas. Malas ietekmē melnalkšņa mežos mainās vaskulāro sugu sastāvs lakstaugu stāvā – pieaug adventīvu (*Grossularia reclinata*, *Impatiens parviflora*, *Solidago canadensis*) un pļavas augu (*Agrostis stolonifera*, *Taraxacum officinale*, *Fragaria vesca* un *Galeopsis tetrahit*) sugu skaits un sastopamība.
4. Malas ietekmē melnalkšņa mežos līdz 10 gadiem pēc traucējuma blakus mežaudzē būtiski palielinās krūmu stāva sugu skaits un to projektīvais segums, turklāt saglabājas malās līdz 10 m arī vairāk nekā 41 gadu pēc traucējuma blakus audzē. Krūmu stāva izveidošanās melnalkšņa mežu malās mazina izmainīto abiotisko faktoru pastiprinātu ietekmi, līdz ar to samazinot malas efekta ietekmi uz melnalkšņa mežiem kopumā.
5. Retu epifītisko ķērpju sugu sastopamību saimnieciskā darbība blakus audzēs ietekmē vismaz 20 gadus pēc traucējuma, turklāt būtiski mazāk šo sugu sastopams 0-10 m attālumā no malas. Savukārt malas attāluma ietekme uz retu epifītisko ķērpju sugu sastopamību konstatēta arī 41 gadu pēc traucējuma blakus audzēs. Šo sugu retā sastopamība malu tuvumā skaidrojama ar substrāta nepieejamību, ko nosaka pastiprināta melnalkšņa bojāeja tuvāk malām, kā arī ekoloģisko faktoru mijiedarbības ietekme.
6. Malas efekta ietekme melnalkšņa mežos saglabājas arī vairāk kā 40 gadus pēc traucējuma blakus audzē, turklāt kopumā visuzskatāmāk to indicē sugas lakstaugu stāvā.
7. Relatīvi nelielās melnalkšņa mežu platības saimnieciskos mežos nodrošina aizsargājamo biotopu kvalitatīvās vērtības, tomēr šīs teritorijas ietekmē malas efekts, ko veicina mežsaimnieciskā darbība blakus audzēs. Lai samazinātu saimnieciskās darbības ietekmi un nodrošinātu melnalkšņa mežu raksturīgās veģetācijas saglabāšanos ilgtermiņā, nepieciešami tālāki pētījumi ainavas līmenī.

PATEICĪBAS

Autore personīgi pateicas promocijas darba vadītājai profesorei Dr. silv. Ingai Straupei par iedrošinājumu izzināt melnalksnājus, par atbalstu darba izstrādes gaitā, par pacietību, ticību un vērtīgajiem padomiem. Autore izsaka pateicību profesoram (Emeritus) Dr. habil. biol. Imantam Liepam, profesorei Dr. silv. Olgai Miezītei, pētniekam PhD. Torbjörn Josefsson par zinātniskajām konsultācijām studiju un darba izstrādes gaitā. Tāpat autore izsaka pateicību Dr.sc. ing. Inesei Melderei, Dr. silv. Aināram Grīnvaldam, Dr. sc. ing. Lilai Ozolai, Mg. envir. sc. Jānim Vugulim par kopīgām diskusijām un uzmundrinājumu doktora studiju laikā. Tāpat autore personīgi pateicas Ivetai Liepai, Amandai Zumbergai, Skaidrītei Tawkulei, Līgai Kurakinai un Kristapam Vilkam par atbalstu lauku darbu veikšanas gaitās.

Par atbalstu darba īstenošanas gaitā autore pateicas LLU Studiju centra galvenajai speciālistei Nadeždai Karpovai-Sadigovai, LLU zinātniskai sekretārei Tatjanai Tabunovai un LLU Meža fakultātes Mežkopības katedras kolēģiem. Autore personīgi pateicas A/S “Latvijas Valsts meži” par sadarbību un datu tehnisko nodrošinājumu.

Visbeidzot autore sirsnīgi pateicas par ticību un nenovērtējamo atbalstu Zigmāram Rendeniekam, Ilvai Liepai, Lindai Zalānei, Aivaram Liepam, Vijai Liepai, Aldai Bemberei un Zandai Bemberei.

1. GENERAL DESCRIPTION

1.1. Topicality of theme

Large woodlands in Europe have been intensively utilized and influenced by human activity, especially in recent past (Esseen et al., 1997). All these anthropogenic loads have altered species composition and hydrological regime (Esseen et al., 1997). Due to intensive forest management and utilization of agriculture lands, forest fragmentation and habitat loss have increased in landscape, which in turn increases the risk of isolation and extinction of species (Andrén, 1994). Edge is defined as an abrupt transition between two habitats. Therefore in forested ecosystems two types of edges are distinguished: natural forest edges and human-induced edges, which have been developed from silvicultural practices. This alters changes by the edges, which significantly differ from conditions in forest interior. These changes are defined as edge effects which can affect species and structures negatively, positively or have indifferent response for many organism groups (Harper et al., 2005).

To provide sustainable forest management by taking conservation of biodiversity into account and preserved many habitat specialists and indicator species, including rare and threatened species in many organism groups the woodland key habitat concept has been created in Baltic and Scandinavian countries (Gjerde et al., 2007; Timonen et al., 2011). WKHs should be identifiable on the basis of stand age, the diversity of structural elements and occurrence of IS (Ericsson et al., 2005). Since abovementioned areas are small forest patches in highly fragmented forest landscape, they are strongly influenced by changes in abiotic and biotic conditions which are caused by human-induced activities. It is known, that WKHs are small parcels in production forests (average 0.1-10.0 ha) therefore strongly influenced by edge effects. The studies of edge effects are essential to assess habitat quality values and to help predict rare and threatened species dynamics and their persistence in WKHs (Aune et al., 2005).

Until now, relatively few studies have assessed edge effects in terms of persistence and distance of edge influence on vegetation in boreo-nemoral forests (Marozas et al., 2007), especially due to the lack of information on studies of swamp forests. The lacking studies on following organism groups: ground layer mosses (Baker et al., 2016), little is known about habitat specialists and indicator species epiphytic lichens response adjacent to recent created edges. Also few studies investigate herb layer functional changes in response to plant functional traits, which describes consequences of created edges (Moen, Jonsson, 2003; Pellissier et al., 2013; Baker et al., 2016). In this regard this study contributes to these fields. Studied black alder swamp woodland key habitat sites are overlapping with priority EU habitat type "Fennoscandian deciduous swamp woods" (code: 9080*) (Noteikumi par īpaši..., 2000; Auniņš et al., 2013; Laiviņš, 2014).

1.2. Aim of thesis

The aim of the thesis is to investigate and evaluate the influence of edge effects on vegetation dynamics in black alder forests in Zemgale.

1.3. Objectives of the study

1. To assess edge influence on black alder forests adjacent to different stand ages;
3. To assess the distance of edge influence on black alder forests;
4. To compare the distance of edge influence adjacent to different stand ages and its interaction on black alder forests.

1.4. Hypothesis of the study

Forest harvesting in stands adjacent to black alder forests creates edge effects which alter the vegetation, but this influence diminishes over time.

1.5. Scientific novelty and applicability of the study

In this study for the first time in Latvia edge influence on forest stands is investigated in relation to vegetation response. In this thesis changes in vegetation have been studied after harvesting in adjacent stands in terms of persistence of edge influence, distance of edge influence and their interactions in black alder forests in Zemgale. The main results of doctoral thesis give substantial contribution in the research of edge influence on vegetation in boreo-nemoral forests. The main results and conclusions of this doctoral thesis on changes in composition of mosses, plant functional traits in herb layer and habitat specialists on epiphytic lichens provide a major contribution in the research of edge effects at the global level.

1.6. Structure and volume of thesis

Thesis chapter 1 contains a summary of early studies, related to description of black alder swamp forests: biological description of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., description of Eurosiberian *Alnus glutinosa* forests, criteria of woodland key habitat type "Fennoscandian deciduous swamp woods", nature conservation status of black alder swamp woods, description of plant communities in black alder woods and the assessment of influence of forest management activities on black alder swamp woods. Chapter 2 contains the description of study area as well as methods of field data collection and data analyses. Chapter 3 contains results and discussion: the edge influence on stand structural elements and assessment of vegetation regarding to different ages of adjacent forests, the distance of edge influence on vegetation and their

interaction. The conclusions and implications for further studies are included at the end of thesis.

This thesis contains 122 pages, information has been summarized in 9 tables and 50 figures, 12 appendices, and 340 literature references have been used.

1.7. List of abbreviations

C	– competitors
CS	– competitors-stress tolerators
CSR	– competitors-stress tolerators-ruderals
DBH	– diameter breast height
E	– east
E0	– moss layer
E1	– herb layer
E2	– shrub layer
E3	– tree layer
IS	– indicator species
JSC	– Joint Stock Company
LUA	– Latvia University of Agriculture
N	– north
R	– ruderals
S	– stress tolerators
SR	– stress tolerators-ruderals
WKH	– woodland key habitat

2. MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in Latvia. Studied sites were located in Southern Latvia (Zemgale geobotanical region) (Ramans, 1975), particularly in Ozolnieki and Iecava municipalities (Fig. 2.1.). In total 30 study sites were chosen for analysis. Study sites represents balck alder swamp WKHs with age of 84-129 years. Study sites were established in three forest types: *Dryopterioso-caricosa*, *Filipendulosa* and *Oxalidososa* turf. mel. *Alnus glutinosa* was dominant tree at all sites. Study plots representing edges with south or south west exposition were chosen: 10 with up to 10 years old cut edges (0-10 years), 10 with 20-40 years old cut edges and 10 with ≥ 41 year old cut edges.

Field data collection. During the season of 2008 and 2012 a string of permanent sample plots was established in each WKH from stand edge towards the interior. The field data measurements were made during vegetation seasons of 2012 and 2013. The size of sample plots was 20×50 m (1000 m^2) and each plot was divided into five subplots (zones) with respective distance from edge: 0-10 m, 10-20 m, 20-30 m, 30-40 m and 40-50 m (each subplot had an area of 0.02 ha) (Fig. 2.2.).

Forest stand structural elements. Trees (≥ 6 cm DBH), snags and stems (≥ 10 cm DBH) were measured in all sample plots within size 20×50 m. Also downed logs and pieces were measured (≥ 10 cm diameter at intersection point). Decay stages was evaluated for all dead wood (snags, stems and downed logs and pieces) (decay classes I-V) (Stokland, 2001).

Vegetation data survey. The vegetation was surveyed 0-10 m (further – 1st zone), 20-30 m (further – 2nd zone) and 40-50 m (further – 3rd zone) zones with distance from stand edge. The Braun-Blanquet approach has been used to survey and describe plant communities: the total projective coverage of moss, herb, shrub and tree layers as well as coverage of each separate species was evaluated in the each zone as percentage (%):

- tree layer (E3) (tree species from height 7.0 m);
- shrub layer (E2), (shrub and tree species at height from 0.5 to 7.0 m);
- herb layer (E1) (including plants, dwarf shrubs, shrub and tree species up to height 0.5 m);
- moss layer (E0) (Pakalne, Znotiņa, 1992).

The nomenclature for vascular plants follows Gavrilova, Šules (1999), that for mosses Āboliņa et al. (2015).

Rare epiphytic lichen species and WKH IS. In all sample plots 1st, 2nd and 3rd zone for the occurrence of rare epiphytic lichens and WKH IS on randomly chosen black alder trees at the height of 0.5 m and 1.5 m from the ground were surveyed (“+” – the presence of species and “-” – the absence of species). The nomenclature for lichens follows Āboliņa et al. (2015).

Forest stand structural elements. For the calculation of dendro-metric parameters the measured field data have been used.

The basal area of stand, m²:

$$G = g_v \cdot N \quad (2.1.)$$

g_v -average basal area of single tree;

G -basal area of the stand m² ha⁻¹;

N -number of trees per ha⁻¹.

Volume of tree stem, including bark, m³:

$$V = \psi L^\alpha d^{\beta 1} g^{L+\varphi} \quad (2.2.)$$

L -stem length, m;

D -stem diameter at height 1.3 m (with bark), cm;

$\Psi, \alpha, \beta, \varphi$ -empirically estimated ratios (Liepa, 1996).

The following ratios have been used:

- black alder: $\psi = 0.7950 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.77095$, $\beta = 0.13505$, $\varphi = 1.80715$;
- *Picea abies*: $\psi = 2.3106 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.78193$, $\beta = 0.34175$, $\varphi = 1.18811$;
- birch: $\psi = 0.9090 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.71677$, $\beta = 0.16692$, $\varphi = 1.75701$;
- Scots pine: $\psi = 1.6541 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0.56582$, $\beta = 0.25924$, $\varphi = 1.59689$.

Volume of downed logs and pieces (V, m³):

$$V = l \sum_j \gamma_j + \frac{l'}{3} g_k, i = 1, 2, \dots, k, \quad (2.3.)$$

- l -length of logs or pieces, m;
l' -the length of apical cone, m;
 γ_j -j-th average intersection surface, m²;
k -numbers of sections (Liepa, 1996).

Vegetation data. The calculation of occurrence for each surveyed species (E0, E1, E2 and E3 layer) have been calculated according to Raunkiaer formula. The occurrence coefficient (R) represents the frequency of particular species in sample plots.

$$R = 100 \cdot \frac{a}{n}, \quad (2.4.)$$

- R -occurrence coefficient of species;
a -number of sample plot where species surveyed;
n -total number of sample plots (Magurran, 1988).

Species diversity was calculated as a number of all species and in terms of Shannon-Wiener diversity index in all sample plots.

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i}{N} \right] \log_2 \left[\frac{n_i}{N} \right] \quad (2.5.)$$

- H' -Shannon-Wiener diversity index;
N -total number of individuals
 n_i -i-the number of individuals of the *i*th species;
S -total species richness (Magurran, 1988).

In all sample plots the magnitude of edge influence (MEI) and the distance of edge influence (DEI) have been calculated on most common species,

WKH indicator species and characteristic species, which determines positive, negative or indifferent response (Chen et al., 1995; Harper et al., 2004).

$$MEI = \frac{(e-i)}{(e+i)} \quad (2.6.)$$

$$DEI = \frac{(e-i)}{(e+i)} \quad (2.7.)$$

MEI -magnitude of edge influence;

DEI -distance of edge influence;

e -value (for instance, species richness (N) or projective coverage (%)) or parameter by edge;

i -value or parameter in interior forest.

The magnitude of edge influence (adjacent forest stand: 0-10 years, 20-40 years compare to ≥ 41 year) or distance of edge influence (distance from edge: 0-10 m, 20-30 m compare to 40-50 m). This metric ranges from -1.0 (negative edge influence (-)) to +1.0 (positive edge influence (+)) and 0 (indifferent edge influence (0)) (Harper et al., 2004).

All species in herb layer were characterized by life history forms (Raunkiaer, 1934; Melecis, 2011), plant strategy groups (C-S-R) (Grime, 1979), dispersal types of plant seeds and spores, preferable habitat indicative groups were obtained mostly from the following databases: BIOLFLOR (Klotz et al., 2002), BIDS EcoFlora (Fitter, Peat, 1994) and “Flora for vascular plants in Central Russia” (База данных..., 2015). The plant trait groups were characterized using numbers of species (N). Division was also made for CSR strategy groups using projective coverage for each species.

Plant indicator values for abiotic conditions (light, moisture, soil reaction (pH) and N for soil nitrogen) were estimated from Ellenberg indicator scales (Ellenberg et al., 1992; Namniece, 2005). Division was also made for light demanding species (indicator value ≥ 6). The indicator values were calculated using projective coverage for each species.

The environmental factors of herb layer data adjacent to different stand age (0-10 years, 20-40 years and ≥ 41 year) were assessed using Non Metric Multidimensional Scaling (NMS) in software PC-ORD for Windows (Version No. 5).

Statistical methods. In this study descriptive methods was used for data of forest stand structural elements, vegetation and epiphytic lichens (mean, standard error with confidence interval 95%). Statistical distributions was assessed graphically (histograms) and analytically (Shapiro-Wilk test of normality). According to the results (symmetrical distribution of data) parametrical methods were chosen. ANOVA test was used to estimate the significant variations between gradation classes (adjacent forest stand,

distance from forest stand edge) and Tukey's HSD test. A risk level of 5% ($p < 0.05$) was used to define statistical significance. Data statistical calculation were made in R version 3.1.1. (R Development core team, 2013).

3. THE ANALYSIS OF RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The analysis and assessment of stand structural elements

The assessment of living trees. In all sample plots black alder *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Picea abies* (L.) H. Karst., *Betula pubescens* Ehrh. and *Betula pendula* Roth dominates the tree level. Total trunk volume was similar in all sample plots – for instance it was 277.4-329.5 m³ ha⁻¹ for black alder. Larger total trunk volume was found in sample plots adjacent to stands with age of 20-40 years (further – medium edges) and ≥ 41 years (further – old edges), but the smallest – for plots adjacent to stands younger than 10 years (further – young edges) ($p=0.04$).

Higher stand density was found in studied sites in medium edges however the total trunk volume is not the largest in this group. Furthermore, in these above mentioned plots smaller dimension black alder trees are more common (average tree density – 160 trees per ha⁻¹) and birch tree density also is higher (average tree density - 56 trees per ha⁻¹) (Fig. 3.1.).

In black alder forests in Zemgale medium dimension (in terms of diameter class) black alder trees dominate (Fig. 3.1.). Most large-dimension black alder trees occur in studied sites in old edges (on average 41 trees on ha⁻¹), but large dimension birch and *Picea abies* trees are rare (on average 6 and 5 trees on ha⁻¹, respectively). Average basal area of black alder trees at the tree level I was 22.5 m² ha⁻¹ in forests in young edges and 26.9 m² ha⁻¹ for forests adjacent to old edges. However in stand level II average black alder basal are for black alders was 0.8 m² ha⁻¹, but in studied sites in medium and old edges – 1.7 m² ha⁻¹. Significantly higher basal area for black alder at stand levels I and II was found in black alder forests in medium edges compared to young edges ($p=0.04$ and $p=0.03$ respectively).

In all study plots *Picea abies* constituted considerable admixture at different basal areas. In black alder forests in medium and old edges small dimension *Picea abies* trees (diameter classes' ≤ 10 cm and 10.0-19.9 cm) constitute large amount of stands. *Picea abies* is vulnerable to wind damage and this risk increases with the growth on trees – larger diameter and height (Valinger, Fridman, 2011). The average density of *Picea abies* trees in natural mature black alder swamp forests in Estonia 165 trees on ha⁻¹ (Lõhmus, Kraut, 2010). This study found similar density in black alder stands in Zemgale.

Birch species (*Betula pubescens* and *Betula pendula*) are found as admixture in black alder forests in Zemgale. The proportion of birch is low and

average standing volume at stand level I is 55.4 m³ ha⁻¹ in young edges, and even lower for forest stands in medium and old edges (39.2 and 38.0 m³ ha⁻¹ respectively).

Study found that the age of adjacent stand influences Shannon diversity index for living trees regarding tree species, diameter classes and number of trees. Shannon index is significantly higher in stands in young edges compared to medium and old edges (p=0.003). In the remaining plots Shannon index is similar without significant differences. This relation is explained by tree regeneration on edges with recent disturbances. Statistically significant influence from adjacent stand on Shannon index was found for *Picea abies* – index was higher in forest stands in young edges stands compared to stands in old edges (p=0.02). After harvesting in a stand adjacent to black alder swamps previously shaded *Picea abies* starts to grow faster.

General assessment of dead wood. The largest amount of dead wood was found in black alder forests adjacent to young edges (on average 55.6 m³ ha⁻¹) compared to forests with medium and old edges (on average 46.1 m³ ha⁻¹). There are no significant differences between total volume of dead wood and age group of adjacent forest stand.

Average volume of dead wood in studied forests in Zemgale is 49.2 m³ ha⁻¹ which is sufficient for the maintenance of habitat quality. The largest volume of stems and snags was found in black alder stands in old edges but the lowest in plots adjacent to young (on average 140.0 and 73.3 m³ ha⁻¹ respectively).

Average number of stems and snags in black alder forests is 67 trees per ha (adjacent to young edges) and 153.8 trees per ha in black alder forests in old edges (Table 3.1.). All studied forest stands were dominated by small-dimension dead wood (Table 3.1.). Results showed that there is no statistically significant differences between the age of adjacent stand and the total number, volume, diameter class distribution and Shannon index values for stems and snags in black alder forests in Zemgale. Also results showed that there is no statistically significant differences between the age of adjacent stand and total number of stems and snags and their volume by decay classes.

The diversity of stems and snags in black alder forests was assessed by the factor of the age of adjacent stand. In studied black alder forests in young and medium edges the number of small-dimension stems and snags is increasing and this also increase the total volume of dead wood in various classes of decay. The number of stems and snags in black alder forests in Zemgale increases with time. Other studies report similar results (Chen et al., 1992; Young, Mitchell, 1994). This tendency is explained by change in microclimate which was caused by disturbance in adjacent stand, resulting in the death of individual trees thus increasing the structural diversity in the stand. Black alder forests in Zemgale are dominated by small and medium dimension stems and snags and their number is similar to Estonian data, where small (<20 cm DBH) and medium

(<30 cm DBH) dimension dead wood dominates (on average 57 and 23 pieces on ha⁻¹) (Löhmus, Kraut, 2010).

The natural regeneration of trees after disturbance is one attribute natural continuity of a forest stand (Stokland, 2001). For instance, studied black alder stands are dominated by small-dimension *Picea abies* stems. It is known that the proportion of *Picea abies* increases in forest stands in young and medium edges, but with time they dies due to shading. WKH management guidelines prescribe the removal of level II *Picea abies* to decrease soil acidification from decomposing needle detritus in swamp forests (Johansson, 2005) and thus this management action is necessary to carry out in edges with recent harvests.

In black alder forests the largest portion of dead wood is made up by downed logs and pieces at II, I and III decay stages (45%, 26% and 21% respectively) but lower portion – by downed logs and pieces at IV and V decay stages (7% and 1% respectively). In forest stands in young edges (169.0 pieces per 1 ha) the largest number of dead wood pieces belonged to II decay stage. The majority of dead wood volume at II decay stage was found in forest stands in young and old edges (on average 17.2 and 16.4 m³ ha⁻¹ respectively). Minor portion is made up by dead wood in III, IV and V decay stages (Table 3.2.). Shannon diversity index for dead wood diameter classes and decay classes is similar in all black alder forests adjacent to different age of edges (Table 3.2.). Results show no significant differences in the age of adjacent stand, number and volume of dead wood and Shannon index between black alder stands. The diversity of dead wood volume by decay stages characterizes the continuity of natural forest stand and increase the quality and forest habitat thus providing a substrate to species requiring continuous colonization of substrate (Fritz et al., 2009).

In general the majority of dead wood volume in black alder forests is made up by downed logs and pieces (on average 62.9%) but stems and snags on average – 37.1% .

3.2. Vegetation assessment in black alder forests adjacent to stands with different age

The species number of moss, herb, shrub and tree layers was analyzed in all study plots. In total the largest number of species was found in herb layer – 146; for mosses – 41 species, for shrubs – 15 and for trees – five.

3.2.1. Swamp forest characteristic species

In all studied sites swamp forest characteristic species (Lārmanis et al, 2000; Auniņš, 2013) were analyzed by projected coverage in moss an herb layers. The magnitude of edge influence was assessed using the method by Harper et al. (2004).

Results showed that 27 swamp forest characteristic species was found in black alder forests – nine at the moss layer and 18 at herb layer. From these species *Rhytidiadelphus triquetrus* and *Plagiomnium ellipticum* has the largest coverage (on average 5.8% and 5.5% respectively) but in herb layer – *Athyrium filix-femina* and *Scirpus sylvaticus* (on average 8.5% and 6.3%). In black alder forests adjacent to young and medium edges 57% of species from moss layer showed positive response and 43% - negative to the magnitude of edge influence. In forests stands adjacent to young edges at herb layer 61% of species showed positive response, 33% – negative and 6% – indifferent but in forest stands in medium edges response was 56% positive, 39% negative and 6% indifferent. In general the conclusion is that more than 50% of swamp forest characteristic species at moss and herb layers show positive response to edge influence, more than 40% at moss layer show negative response and 6% of species are indifferent to edge influence (Fig. 3.2.).

3.2.2. Change in projective coverage of vegetation

Fig. 3.3 shows changes in projective coverage of vegetation in black alder forests adjacent to young, medium and old stands.

Results showed that age group of adjacent edges does not affect projective cover at moss layer in black alder forests in Zemgale. It is concluded that age group of adjacent stand is a significant factor, affecting the projective coverage of herb, shrub and tree layers. At herb layer projective coverage is significantly higher in young edges than in medium ($p=0.001$) and in old edges ($p=0.02$). Positive factors that increase projective cover at herb layer is temperature at the edges (Harper, Macdonald, 2002; Harper et al., 2004). In black alder stands, adjacent to young edges, projective cover in herb layer significantly increases, and pioneer species of successional stage dominates (e.g. *Urtica dioica*, *Rubus idaeus*, *Mercurial perennis*), which can inhibit the regeneration of black alder. Results show that greater shrub projective cover is in black alder stands in young edges, but significantly less in stands in old edges ($p=0.02$). At the tree layer significantly higher projective cover is found in forests, adjacent to old edges, but less – for stands adjacent to young edges ($p=0.02$). Projective cover at shrub layer is greater in black alder forests in young edges and gradually decreases with increasing age in adjacent stands. Shrub layer coverage increase is related to environmental conditions (mainly lighting) changes next to clear-cuts, and bird species diversity at forest edges also increases (Gates, Gysel, 1978). In black alder forests in Zemgale it is found that the tree layer projective cover is smaller in young edges.

3.2.3. The distribution of plant ecological groups

In studied black alder forests herbaceous species composition was analyzed by affiliation to indicative groups (Körner, 1994), species of strategic groups (Grime, 1979; Ellenberg et al., 1992), seed and spore propagation types (Howe Smallwood, 1982), and life forms distribution (Raunkiaer, 1934), and environmental variables were described abiotic conditions using the plant standard scales (Ellenberg et al., 1992).

In studied black alder stands the largest proportion of species is consisted by nitrophilous species, boreal, swamp and nemoral indicative groups. All forest stands are dominated by nitrophilous species, but significantly higher number of these species are found in stands in young edges, while less – in stands adjacent to medium ($p=0.0002$) and old edges ($p=0.03$). The most common nitrophilous species in black alder forests in Zemgale are *Lysimachia vulgaris*, *Lycopus europaeus*, *Filipendula ulmaria*, *Urtica dioica* and *Alnus glutinosa*. Results show that significantly higher number of nemoral species is found in forest stands adjacent to young edges, compared to plots with adjacent stands to medium ($p=0.03$) and old edges ($p=0.04$). More swamp forest characteristic species found in the forest stands in young edges, but less – medium and old edges ($p=0.02$ and $p=0.001$ respectively). The most common typical swamp forest species in studied sites are *Caltha palustris*, *Scutellaria galericulata*, *Galium palustre* and *Peucedanum palustre*. Pine forest species are also found in black alder forests, and results show that significantly more of these species occur in stands in young edges, and less – adjacent to stands in medium edges ($p=0.03$). Greater number of adventive species was found in study plots adjacent to young and medium edges, but less – in stands adjacent to old edges ($p=0.003$ and $p=0.009$). It is evident that the disturbance in adjacent stand facilitates the increase of the number of adventive species because these species are able to colonize space and compete even 40 years after the disturbance.

The effect of age group of adjacent stand on the distribution of plant species life strategies (Grime, 1979) was analyzed separately. It was found that in black alder forests in Zemgale largest proportion of species is made up by plants from the CS, CSR and C strategy groups. Significantly more species belonging to C ($p=0.02$), CR ($p=0.02$) and CSR ($p=0.0009$) strategy groups are found in forest stands adjacent to young edges, but a smaller number of species was found in old edges. More species from CSR strategy groups are present in forest stands in young edges, while fewer – adjacent to medium edges. The larger projective coverage of C and CSR species was found in forest stands in young edges, compared to medium and old edges ($p=0.03$ and $p=0.03$ respectively).

Results show that increasing species richness after the disturbance in adjacent stand, species diversity of strategic groups increases significantly, which declines during the 40 years. Other studies have concluded that harvesting in adjacent

forests contributes to the overall increase in the number of species, as well as entering of vascular plants – competitors into the studied stands (Braithwaite, Mallika, 2012).

Age group of the adjacent stand was analyzed separately in relation to forms of species distribution by seeds and spores. Overall, in all studied black alder forests anemohorous, ornithorous and autohorous plants make up the largest portion (on average 27.5%, 20.1% and 17.2% respectively). Study found that plants whose seed or spore dispersal is related to wind is significantly more common in forests in young edges compared to stands adjacent to medium edges ($p=0.02$). More ornithorous plants was found in forests adjacent to young edges, but significantly less species was found in plots adjacent to old edges ($p=0.0009$). Altered microclimate at stand edges creates an opportunity for such species to develop which are not typical of black alder forest plant communities.

It was found that the factor of the age group of adjacent affected the number of species by plant life forms. In black alder forests the largest proportion of species is made up by hemicryptophytes, chamaephytes and helophytes. Greater number of hemicryptophytes was detected in forests adjacent to forest stands in young edges but less species were present in the other stands (stands adjacent to medium edges, $p=0.0006$ and old edges, $p=0.009$). More phanerophytes were present in stands in young and medium edges, but less in stands adjacent to old edges ($p=0.03$ and $p=0.02$ respectively). The majority of these are generalist species adapted to disturbances and change environmental conditions (e.g. *Lysimacia vulgaris*, *Iris pseudacorus*, *Lycopus europaeus* and *Carex spp.*). Also, the majority of hemicryptophytes dominating black alder forests are generalist species such as *Urtica dioica*, *Mycelis muralis* and *Geum spp.* A number of shrub and trees (phanerophytes) species are able to recover after a disturbance in adjacent stand and can successfully regenerate on edges of forest stands.

3.2.4. Environmental variables

Indicator value scales created by environmental characteristics of light, moisture, soil reaction and concentration of nitrogen in the soil, assessed using plant records from studied sites at herb layer (Ellenberg et al., 1992). It was found that all studied black alder forests are characterized by the medium shade conditions (average indicator value 4.5), moist soil (average indicator value 6.5), slightly acidic soil reaction (average indicator value 4.9) and the average amount of nitrogen rich (average indicator value 5.2).

Results show that the factor of the age of adjacent stand significantly influences soil pH in study plots ($p=0.009$). More alkaline soil pH is in black alder forests in young edges, but more acidic in forests in medium edges ($p=0.008$). Increased soil acidification in black alder forests in Zemgale can be explained by the increase in the number of *Picea abies* in forests adjacent stands to medium edges.

3.3. The occurrence of rare epiphytic lichen species

The study identified four WKH IS epiphytic lichen species. Three of the lichen species are included in the list of specially protected species – *Arthonia leucopellea* (Ach.) Almq (*Arth leuc*), *Arthonia spadicea* Leight. (*Arth spad*) and *Arthonia vinosa* Leight (*Arth vino*). (Noteikumi par īpaši aizsargājamo..., 2000). It is estimated that the total occurrence of rare epiphytic lichens is significantly influenced by the age group of adjacent stand ($p=0.0002$). Significantly lower number of species was found in black alder forests in young edges, but larger in forests in medium and old edges ($p=0.0006$ and $p=0.002$ respectively). In general, the occurrence rare epiphytic lichen species in black alder forests in Zemgale is negatively influenced by changes in environment occurring after the disturbance in adjacent stand. Some species have adapted to changing environmental conditions (e.g. *Arthonia spadicea* and *Graphis scripta*) and can colonize black alder trunks, as well as exist at the edges, thereby indicating a positive response to the edge influence. Overall, the study found a negative response of rare epiphytic lichens to harvesting in adjacent stands (Liepa, Straupe, 2015). However, with time the edge effect decreases, and at the edges of the black alder forests the occurrence of rare WKH IS increases. After harvesting in adjacent stands, in studied sites as a result of edge effects number of windthrows increase thus substantially reducing substrate availability for epiphytic lichen species and their occurrence (Harper et al., 2004).

3.4. Vegetation assessment by the age of adjacent stand (summary)

The influences of age group of adjacent stand on black alder forests in Zemgale are shown in Fig. 3.11.

The influence of edge persistence on living trees. After comparing the volume of trees in studied sites adjacent to stands with different ages (young, medium and old), it is concluded that standing volume in forests adjacent to young edges is significantly lower than in forests in medium and old edges. Also, the total basal area is less for black alder stands in young edges, but the relationship is no longer observed in studied forests in medium and old edges. Shannon diversity index for living trees (tree species and diameter classes) indicates a greater diversity of black alder forests in young edges, but decreases over time after the disturbance and there has not been observed more than 41 year after the disturbance.

The influence of edge persistence on the dynamics of the dead wood. The total dead wood volume and diversity in black alder forests in Zemgale is not affected by the disturbance in adjacent stand. Due to abiotic factors in studied sites that are adjacent to young edges, will substantially reduce the amount of snags, but this is not true up from 20 years after the disturbance in adjacent stand. It is pronounced that in black alder forests in young edges Shannon diversity

index for *Picea abies* stems and snags is significantly higher, but it will reduce from 20 years after the disturbance in adjacent stand.

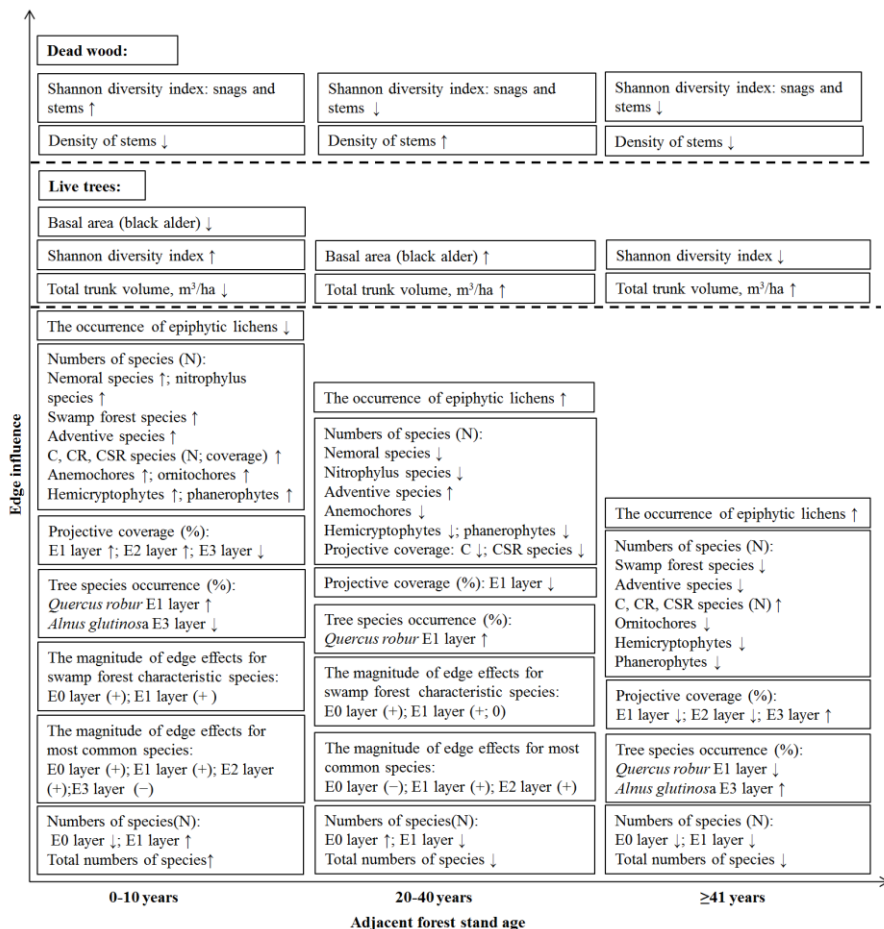


Fig. 3.11. Vegetation assessment by the age of adjacent stand (summary)

The influence of edge persistence on moss layer. Moss species are little affected by edge effect, and this is not explained only by the disturbance in adjacent stand. Results showed that significantly less moss species are found in black alder forests in young and old edges, but more species occur in forests which are adjacent to medium edges. By contrast, the most common moss species react positively in forests in young edges, but the effect is reduced from medium

edges. Also swamp forest characteristic species show positive response up to 40 years after the disturbance in adjacent stand.

The influence of edge persistence on herb layer. In black alder forests the species richness and projective coverage at herb layer increases substantially, but softens in study plots starting from 20 years after the disturbance in adjacent stand. The most common species and swamp forest characteristic species react positively impact up to 40 years after the disturbance in adjacent stand. Also, a recent disturbance in adjacent stand (up to 10 years ago) have an impact, and studied forests have significantly more nemoral, nitrophilous, pine forest, swamp forest and adventive species, which decrease during 20 years. Along with other plant species entering black alder forests in young edges, the number of C and the CSR species and their projective cover increases significantly, but such effects are reduced forests in medium and old edges. In studied sites in young edges, significantly more anemochores and ornitochores was found, but anemochores species decreases in forest stands in medium edges, but ornitochores – in stands in old edges, and even this group of black alder forests found significantly higher number of zoochores plants. Study found that in forest stands in young edges, more hemicryptophytes are found, but these species decreases in studied sites where disturbance in adjacent stand was more than 20 years ago. More phanerophytes (larger occurrence of *Quercus robur*) found forest stands adjacent to young edges, but decrease just 40 years after the disturbance in adjacent stand.

The influence of edge persistence on shrub layer. Study found that significantly higher shrub layer projective coverage is in black alder forests in young edges, while in forests in medium and old edges, this relationship has not been established. Also, the most common species of shrubs in the ground floor of the disturbance effects stands next to react positively, and it lasts up to 40 years after the disturbance in adjacent stand.

The influence of edge persistence on tree layer. Harvesting in adjacent stand influences the species richness at tree layer: results show that a smaller number of species occur in black alder forests in young edges, but it increases over time, and 20 years after the disturbance there is no difference. The occurrence of black alder is significantly lower in forests adjacent to young edges, but this effect decreases over time and is not present beyond 41 years after the disturbance in adjacent stand. The number of most common species has negative response in sites adjacent to young edges, but positive response to edges was observed in stands in medium and old edges.

The influence of edge persistence on rare epiphytic lichen species. It is known that epiphytic lichen species react negatively to change in abiotic factors caused by harvesting in adjacent stands. This is true also in black alder forests where results showed in that plots adjacent to recently disturbed stands (up to 10 years) significantly less rare and WKH IS epiphytic lichen species occur, but

this occurrence increases over time and is no longer present, ranging from 20 years after disturbance. The higher occurrence of rare species was found in black alder forests in old edges.

3.5. The influence of distance to edge on vegetation in black alder forests in Zemgale

3.5.1. The assessment of swamp forest characteristic species

The influences of distance to edge on projective cover changes of swamp forest characteristic species was assessed using methodology by Harper et al. (2004) (Harper et al., 2004). In all studied sites in the 1st zone, the majority of species at moss and herb layers react positively on edge influence (78% and 50% respectively), less species – negatively (22% and 39% respectively) or are indifferent (none and 11% respectively). In the studied sites in 2nd zones the majority of species at moss layer responds positively (67%) (Fig. 3.5.). However, the majority of herb species in this distance zone reacts negatively (56%) but less – positive (39%) or neutral (6%) to edge influence (Fig. 3.5.). The overall conclusion is that the majority swamp forest characteristic species at moss layer responds positively on edge distance factor, but fewer species show negative and indifferent responses. Positive impact on moss species occurrence is explained by the fact that there is constant moisture conditions in black alder forests, which provides a high relative humidity also at the edges, what is important for moss species existence. However WKH IS *Leucobryum glauca* with the highest average projective coverage was found at 3rd zone, and it negatively react on 1st and 2nd zone. By contrast, the majority of herbaceous species react negatively and indifferently on edge distance effects, but fewer species react positively. For example, negative response on distance to edge was found for *Athyrium filix-femina*, *Filipendula ulmaria*, *Iris pseudacorus*, *Lysimachia vulgaris* and *Solanum dulcamara*. In turn, positive response to distance to edge was found for these swamp forest characteristic species: *Lycopus europaeus*, *Galium palustre* and *Caltha palustris*. For these species projective cover decreases away from the edge.

3.5.2. Vegetation projective coverage by layers

In studied black alder forests all distances from stand edge to interior of the highest average projective coverage was at herb and tree layers, but the lowest – at shrub layer (Fig. 3.6.). Study found that projective coverage in black alder forests at herb ($p=0.009$) and tree layers ($p=0.006$) is significantly influenced by the distance factor. It is estimated that higher projective coverage at herb layer is in the 1st zone, but lower – at 2nd zone ($p=0.02$) and 3rd zone ($p=0.005$). Significantly lower projective coverage at tree layer was found at the 1st zone of the stand while the higher – at 2nd ($p=0.05$) and 3rd ($p=0.03$) zone. It is estimated that distance factor does not affect the projective coverage at moss

and shrub layers. The increase of projective coverage at herb layer and species richness is due to the increase in lighting and temperature rise at the edges adjacent to clear-cuts and young stands.

3.5.3. The distribution of plant ecological groups

Study found that the distance factor affects the distribution of total species richness in herb layer by indicative groups. Higher number of nemoral species occurs in 1st zone, while the lower – at 2nd zone ($p=0.02$). Species richness for the rest of indicative groups is similar and do not differ significantly, but there is a tendency that at the edges there is more nitrophilous, boreal, swamp, meadow, pine forests and adventive species (e.g. *Solidago canadensis*, *Impatiens parviflora*, *Grossularia reclinata*), as well as other species uncharacteristic to swamp forests (e.g. *Taraxacum officinale*, *Chamaenerion angustifolium* and *Solidago virgaurea*).

The influence of distance factor on the distribution of herb layer species strategic groups. Results show that the distance factor influences the distribution of species number by strategic groups. However, the significantly higher number of competitor species is present in the black alder forests in the 1st zone, but lower – at the 2nd and 3rd zone ($p=0.03$ and $p=0.0006$ respectively). The most common competitor species of herb layer are *Rubus idaeus*, *Urtica dioica*, *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus* and *Picea abies*. It is known that herbaceous species *Rubus idaeus* and *Urtica dioica* proliferate rapidly after disturbance and have a negative influence on, for instance, plants stress tolerators. However, these species are common and characteristic to black alder forest plant communities in Latvia (Priedītis, 1999). In black alder forests the most common stress tolerators are *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea* and *Viola palustris*, which are characteristic to boreo-nemoral zone coniferous and deciduous forest species (Priedītis, 1999; Ikaunieca et al., 2013), which do not significantly affect the occurrence of the distance from the edge.

Separate analyzes the distance factor impact on plant species distribution by seed and spore forms of distribution. The largest proportion in the 1st and 2nd zone is anemochores, hydrochores and ornitochores plants. In turn, in the 3rd zones the largest proportion is hydrochores, ornitochores and anemochores plants (an average of 22%, 21% and 18%). The distance factor affects the distribution of species by seed and spore forms of dispersal. It is estimated that more ornitochores ($p=0.01$) and anemochores ($p=0.002$) species occur in the studied sites in the 1st zone, but significantly less species occur at the 3rd zone. It was found that the distance factor does not affect seed and spore forms of dispersal for other species. Increased occurrence of anemochores species was found closer to the edges of black alder forests, because many of species are generalists, which is able to colonize new territories in a relatively short period

of time and appear after disturbances. The most common species are *Mycelis muralis*, *Betula pubescens* and *Equisetum spp.* It is known that in a fragmented forest landscape wind provides the spread of forest seeds and spores closer to edges. However, it should be stressed that higher species diversity at forest edges does not always justify high quality habitat values.

The influence of distance to edge on the number of species by plant life forms was analyzed separately. It was found that the distance factor significantly influences the number of species by plant life forms. Results showed that significantly more hemicryptophytes species occur at the 1st zones, but less – at the 3rd zones ($p=0.02$). More phanerophytes species occur at the 1st zones, but less – at the 2nd zone ($p=0.02$) and 3rd zone ($p=0.003$). In turn, in the black alder forests the distance factor does not significantly affect the number of chamaephytes, geophytes, therophytes species. Studies on edge distance effects on the composition of ground vegetation species explained that increase of phanerophytes is caused by wind effect on the edge (Chen et al., 1995). In the studied black alder forests this effect was found up to 3rd zone. In turn, significantly higher hemicryptophytes richness was found in the 1st zone, which is attributed to the effects of wind near the edge.

3.6. The occurrence of rare epiphytic lichen species

In general, less rare epiphytic lichen species were found at the 1st zones, but more – at the 2nd and the 3rd zone ($p=0.02$, $p=0.02$ respectively).

Similarly, other studies also confirmed that lichen and moss species diversity decreases with increasing distance from the edge (Murcia, 1995). Results shown that the greatest occurrence of the rare epiphytic lichen species in studied black alder forests was found at the 3rd zone.

3.7. Distance to edge influence on black alder forests in Zemgale (summary)

Significant relationships on distance to edge influence on black alder forests in Zemgale is shown in Fig. 3.12.

The influence of distance to edge on the moss layer. This study found that the distance from the edge of the stand does not significantly influence the total number of moss species and their projective coverage, but have found that in studied sites closer to edges (up to 10 meters from the edge of the stands), the most common species have positive response to 30 m (2nd zone) from the edge of the stand. Also, swamp forest characteristic moss species indicate a positive response near the edges (in the 1st and 2nd zones).

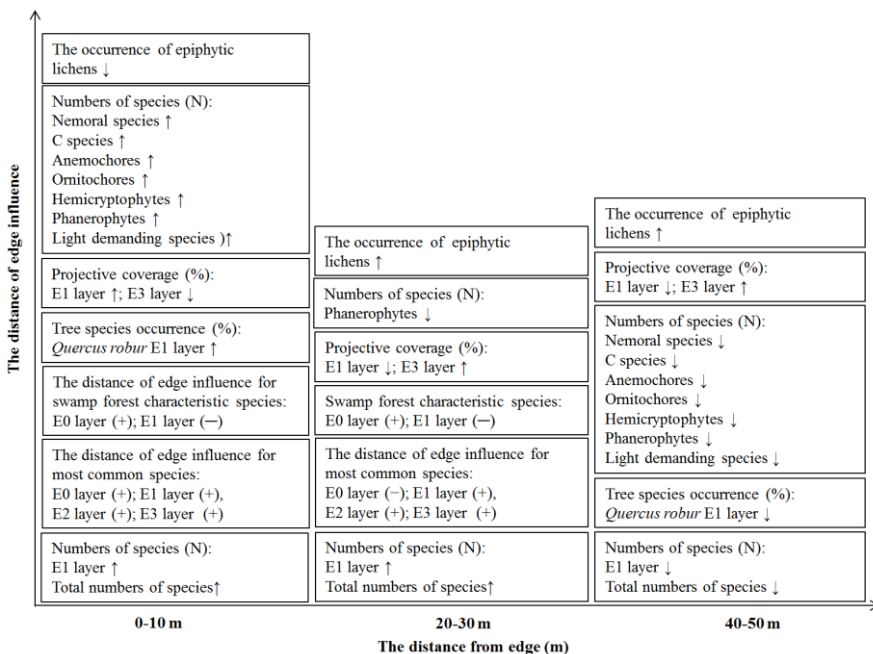


Fig. 3.12. The distance of edge influence on black alder forests in Zemgale (summary)

The influence of distance to edge on the herb layer. The overall conclusion is that the herb layer indicates the influence of distance to edge in black alder forests in Zemgale. It is estimated that the total number of species and the projective coverage is significantly higher near the edge (up to 10 m from the stand edge), but decreases with increasing distance from the edge, and the impact on species projective coverage ranges from the 2nd zone, while the number of species decreases in the 3rd zones. The most common species show positive response on the influence of the distance to edge - up to 3rd zone, while swamp forest characteristic species have negative response near the edge (up to the 2nd zone). Also, analysis of plant functional traits of species composition study concluded that in the black alder forests closer to the edge (1st zone) the number of nemoral species, competitor species and their projective cover; surveyed richness of anemochores and ornitochores, as well as hemicryptophytes increases substantially, besides the species richness in above-mentioned group remains for up to the 3rd zone. Near the edge (in the 1st zone) species richness of phanerophytes increases, as well as the occurrence of *Quercus robur*, but they will reduce at the 2nd zone, while the *Quercus robur* occurrence was observed also in the 3rd zone. It is estimated that close to the edge (in the 1st zone) the

number of medium light and light-demanding species is significantly increasing, which decreases with increasing distance from the edge.

The influence of distance to edge on the shrub layer. With regard to the total number of shrub species and changes in their projective coverage black alder forests in Zemgale does not indicate changes. By contrast, it was found that the most common species show positive response at the distance until 3rd zone. Also higher occurrence of *Quercus robur* at the shrub layer was found in the 1st zone.

The influence of distance to edge on the tree layer. Study found that the total projective coverage at tree layer is significantly lower in studied sites closer to the edge (in the 1st zone), but increases with increasing distance from the edge of the stand. By contrast, the most common species and significantly higher occurrence of *Quercus robur* was found up to 2nd zone.

The influence of distance to edge on occurrence of rare epiphytic lichen species. In general, study found that epiphytic lichens react negatively closer to the edge of the stand (in the 1st zone), but starting from the 2nd zone, but the species incidence is increasing and the total highest species richness was found in the 3rd zone.

3.8. The influence of distance to edge on vegetation adjacent to stands with different age

3.8.1. Species projective coverage by vegetation layer

Overall, from the analysis of projective coverage by vegetation layers in black alder forests adjacent to stands of different age groups (young, medium and old) and different distances from the edge (1st, 2nd and 3rd zones), it was concluded that herb and tree layers indicate statistically significant changes. Higher projective coverage was found in herb layer in black alder forests in at the 1st zone, but lower – at the 2nd zone ($p=0.04$) and 3rd zone ($p=0.003$). By contrast, in studied sites in young edges, the distance factor does not affect the projective coverage of shrub and tree layer. It was concluded that in black alder forests adjacent to young edges, projective cover at herb layer increases significantly, and is dominated by the first stage of successional species, thus these species represent a significant competition, which may adversely affect the regeneration of black alder. For example, in studied sites adjacent to young edges, the largest projective cover – 95% was found at the 1st zone, as well as the average projective coverage in all distance zones are on average 87%, which indicate a significant dominance in understory.

Results show that in black alder forests in medium edges higher projective coverage at tree layer was found at the 1st zone but less – at the 3rd zone ($p=0.02$). In studied sites adjacent to old edges, significantly higher tree layer projective coverage is found at the 1st zone, compared to the 2nd ($p=0.04$) and 3rd zone ($p=0.03$). The results are different, compared to other studies where

the primary influence of edge distance results in significant decline in the number of trees and the projective coverage (Harper et al., 2004; Harper et al., 2015). Since studied black alder forests reached the over mature stage by age, natural disturbances are observed there, such as gap dynamics as a result of the collapse of individual trees, openings emerge, and naturally reduce the projective coverage. In addition, such openings are comparable to the edge.

3.8.2. The distribution of plant ecological groups

In all study plots nitrophilous, boreal, nemoral and swamp forest plant species dominate at herb layer. Results show the influence of distance factor on the distribution of number of species by indicative groups in studied sites adjacent to young edges. More adventive, nemoral and meadow species were found at 1st zone, but lower number of species was found at the 3rd zone ($p=0.02$, $p=0.01$ and $p=0.01$ respectively). It is estimated that at the 1st zone more meadow species indicate that at edges in black alder forests are capable of harboring species which are not typical of these forest communities. Nemoral species increase can be attributed to an increase in temperature and light, which positively contributes to this species increased occurrence (meadow species: *Agrostis stolonifera*, *Taraxacum officinale*, *Fragaria vesca* and *Galeopsis tetrahit*, nemoral species *Paris quadrifolia*, *Mycelis muralis*). By contrast, in the studied sites adjacent to medium and old edges, the distance factor influence on the richness of species distribution by indicative groups was not statistically significant.

The distribution of strategic groups of herbaceous species was analyzed separately by richness of species and projective coverage. In studied sites adjacent to young edges, the distance factor is significant for the distribution of strategic groups. In studied sites in the 1st zone number of C species and projective coverage is significantly higher than in the 3rd zone ($p=0.03$ and $p=0.03$ respectively). Results show that in the studied sites adjacent to medium and old edges, the distance factor does not affect the distribution of strategic groups. Obtained results show that black alder forests are the most vulnerable to the influence of distance to edge in studied sites adjacent to young edges and in the 1st zone. As expected, in these black alder forests, the distance factor has a significant impact on the number of C species and their projective cover and in studied sites adjacent to medium and old edges, this influence was not found. Species with mixed strategies (for example, the CS or CSR) are able to change to a different type of strategy with the change in environmental conditions (Grime, 1979). For example, *Impatiens parviflora* is a ruderal species with CSR-type strategy, which functions as stress tolerators in mature forest, but after the disturbance becomes a competitor, rapidly colonizing anthropogenically affected sites.

The influence of the factor of distance to stand edge on the number of species by seeds and spore dispersal types was analyzed separately. Results show that in black alder forests in young edges significantly more ornitochores and

anemochores occur at the 1st zone, compared to the 3rd zone ($p=0.03$ and $p=0.02$ respectively). However, in studied sites adjacent to medium and old edges, the distance factor does not affect the richness of species over a variety of seeds and spores dispersal types. The most common ornitochores is *Rubus spp.*, *Sorbus aucuparia*, *Vaccinium spp.* and *Picea abies*. Fruits and seeds of these species are a source of food for birds. Such dominance of ornitochores species in black alder forests demonstrate that these habitats function as edge habitats in the landscape.

The influence of the factor of distance to stand edge on plant life form distribution was analyzed separately for plots adjacent to young, medium and old edges. In studied sites adjacent to young edges, the distance factor and the impact on the number of species by plant life forms was statistically significant. In these study plots significantly more hemicryptophytes occur at the 1st zone, compared to 2nd ($p=0.03$) and 3rd zone ($p=0.006$). Most of dominant hemicryptophytes in black alder forests are generalist species such as *Urtica dioica*, *Mycelis muralis* and *Geum spp.* By contrast, the studied sites adjacent to medium and old edges, the distance factor does not significantly affect the number of species distribution by plant life forms. For most phanerophytes species occurring in swamp forests fruits and seeds are large and heavy, and this contributes to the spread of seeds birds or small rodents.

3.9. The comparison of environmental variables

Species richness at herb layer, which depends on medium light and light conditions was analyzed separately (indicator values ≥ 6) (Fig. 3.8.).

It was found that in black alder forests adjacent to young edges, the factor of distance to edge influences the number of medium light and light-demanding species at herbaceous layer. More medium light and light-demanding species occur in the 1st zone (on average 22.1 species) but less in the 3rd zone (on average 15.1 species) ($p=0.02$) (Fig. 3.8.). The distance factor does not affect the number of medium light and light-demanding species at herb layer of studied sites adjacent to medium and old stands. After the harvest in adjacent stand, the number of medium light and light-demanding species in black alder forests significantly increases at the 1st zone. This effect tends to decrease over time, and after 20 years of such influence is no longer detectable.

3.10. The occurrence of rare epiphytic lichen species

It is estimated that with the lowest occurrence of rare epiphytic lichen are in studied sites in young edges in the 1st zone (Fig. 3.9.). In black alder forests adjacent to young, medium edges, occurrence of rare epiphytic lichen species is low and the distance factor does not affect the occurrence of the species, but in studied sites in old edges, the distance factor is significant. Results show that

significantly lower number of species occur in the 1st zone, compared to the 2nd and 3rd zone ($p=0.02$ $p=0.02$).

To reduce the impact of distance to edge on rare epiphytic lichen species and IS occurrence, it is recommended to establish buffer zones along the S or SW edges that minimize the persistence of disturbance influence and ensure the availability of available substrate for epiphytic species.

3.11. The influence of edge distance on black alder forests adjacent to stands with different age (summary)

Significant relationships on the influence of distance to stand edge on black alder forests adjacent to stands with different age is given in Fig. 3.13.

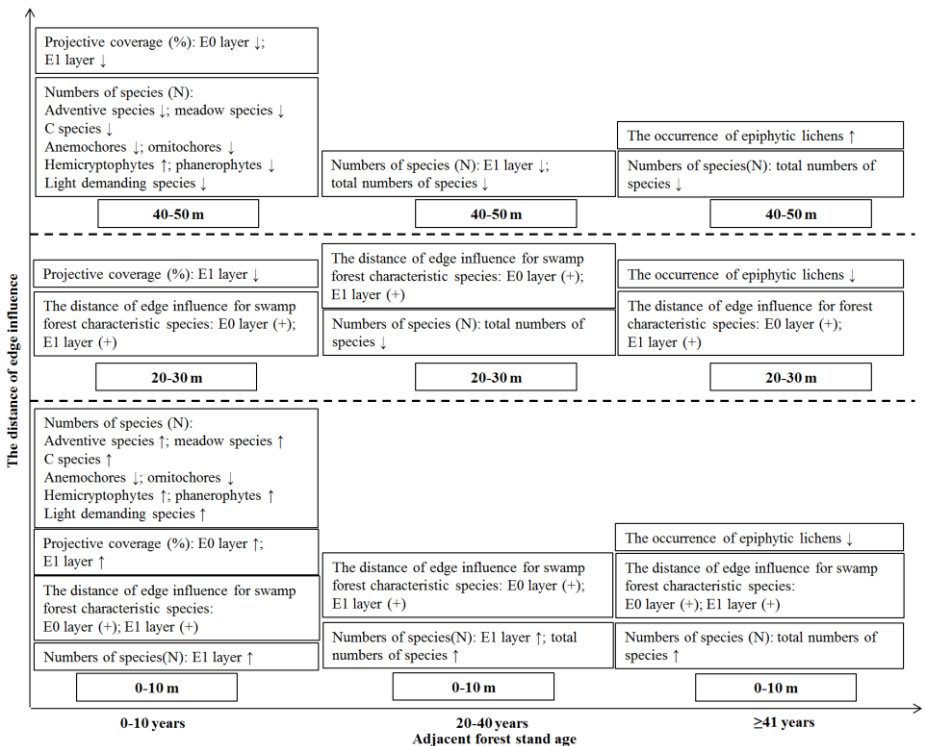


Fig. 3.13. The influence of edge distance on black alder forests adjacent to stands with different age (summary)

The influence of edge persistence on moss layer. Analyzing the impact of the distance to edge in black alder forests adjacent to young, medium and old

edges, results show that significantly higher projective cover at moss layer was found in forests adjacent to young edges and closer to the edge (in the 1st zone), which in turn decreases with increasing distance from the edge. It is concluded that swamp forest characteristic species, as well as the most common species indicate positive response closer to the edge (in the 1st zone) even for more than 41 year after the disturbance in adjacent stand.

The influence of edge persistence and distance to edge on the herb layer. Results show that projective coverage at herb layer is increasing in black alder forests where adjacent stand was recently (young edges) disturbed, and the influence of distance from stand edge on projective coverage is higher in the 1st zone, while a higher number of species of this zones persists also in medium edges and positive influence of edge distance on species projective cover was observed for more than 41 years (old edges) after the disturbance in adjacent stand, which in turn extends up to 2nd zone. It is concluded that the long-term positive edge influence on the most common species and swamp forest characteristic species persist for more than 41 years (old edges) after the disturbance in adjacent stand and reaches up to 30 m distance (2nd zone) from the edge of the stand. It is important, that in studied sites in young edges, the near the stand edge (1st zone) species composition changes, for instance increasing number of nemoral and adventive species, number of competitor species and their projective cover, as well as number of medium light and light-demanding species, and significantly increase in number of anemochores and zoochores species. Such changes were observed in studied sites in young edges and in the 1st zone (Fig. 3.13.).

The influence of edge persistence on shrub layer. In general, it is concluded that the positive response to increase of shrub layer species projective coverage persists for more than 41 years after the disturbance in adjacent stand closer to the stand edge (up to 10 m), but for most common species – 20-40 years after the disturbance up to 30 m from the stand edge (Fig. 3.13.).

The influence of edge persistence on tree layer. Results show that tree layer species, as well as the most common species and their projective coverage react positively to the influence of distance to stand edge. Positive response was also observed 20-40 years after the disturbance in adjacent stand and reaches up to 30 m from the edge of the stand (Fig. 3.13.).

The influence of edge persistence on the abundance of rare epiphytic lichen species and IS. In the case of occurrence of rare epiphytic lichen species and IS, there is a negative trend: disturbance in adjacent stand affects these species, and they have a low occurrence (e.g. *Arthonia vinosa* and *Arthonia leucopella*). In addition, the influence of distance to edge is significant even after more than 41 years (old edges) since the disturbance in adjacent stand, and in the 1st zone lower number of species occurs, which increases with increasing distance from the edge (Fig. 3.13.).

CONCLUSIONS

1. Edge influence on stand structural elements persist for up to 10 years after disturbance – standing volume, basal area, projective coverage and number of snags decreases, which shows a negative influence of abiotic factors.
2. Edge influence affects changes in moss layer even 20–40 years after disturbance in adjacent forest stands. Overall, results found a positive response, which is explained by abiotic factors, such as soil desiccation cause substrate availability, and the amount of light is enhancing the process of photosynthesis, which favorably affect the moss species. However, the edge effect demonstrates the species richness and projective coverage for mosses increases.
3. In black alder forests adjacent to young edges, herb layer had the fastest response to edge influence, and this influence persisted for more than 41 years after the disturbance in adjacent stand and reaches up to 20–30 m from the edge of the stand. The results show that species composition in black alder swamp forests is changing and increasing the occurrence of uncommon herbaceous species, for instance adventive (*Grossularia reclinata*, *Impatiens parviflora*, *Solidago canadensis*) and meadow species (*Agrostis stolonifera*, *Taraxacum officinale*, *Fragaria vesca* and *Galeopsis tetrahit*) richness.
4. Under the influence of edge effects shrub species richness and projective coverage increases significantly up to 10 years after the disturbance, and remains up to 10 m for more than 41 years after the disturbance in the adjacent stand. The development of shrub layer on edges can reduce the impact of abiotic factors, thereby reducing edge influence on the swamp forests in general.
5. The occurrence of rare epiphytic lichen species and WKH IS is affected by management actions in adjacent stands for at least 20 years after the disturbance, and significantly fewer of these species occurs 0–10 m from the edge. In addition, edge influence on the occurrence of species can be observed up to 41 years after the disturbance in the adjacent stands. Rare occurrences of epiphytic lichen species at the edges are explained by the unavailability of substrate determined by increased tree dieback closer to the edges, and the interaction of abiotic and other factors.
6. The influence of edge effects on vegetation in black alder forests in Zemgale persist for more than 40 years after the disturbance, and it is best indicated by species dynamics at herb layer.
7. The relatively small areas of black alder stands in production forests provide habitat quality values of protected habitats, although these areas are influenced by edge effects caused by management activities in adjacent stands. To alleviate the impact of management activities on EU protected habitats and provide the conservation of typical vegetation in long-term, further studies are needed at both stand and landscape levels.

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I would like to express my deepest gratitude to supervisor Prof. Inga Straupe, for her patience, help and support. I would also like to thank for the freedom she gave me during doctoral studies and writing process.

Secondly, I would like to thank to Prof. Imants Liepa, Prof. Olga Miežīte and researcher Torbjörn Josefsson for countless scientific advices, relevant comments, and discussions during the study time and writing processes. I would like to thank all my study mates for exciting study time, productive discussions and help. I especially would like to thank Inese Meldere, Ainārs Grīnvalds, Laila Ozola and Jānis Vuguls. Thanks also goes to Iveta Liepa, Amanda Zumberga, Skaidrīte Taukule and Kristaps Vilks who helped me with my fieldwork.

I am grateful for the helpful support I have received for this thesis from LUA Administrative board, especially I would like to thank Nadežda Karpova-Sadigova and Tatjana Tabunova. Also I would like to thank to all my colleagues from Department of Silviculture at Forest faculty for being helpful.

Thanks to JSC “Latvijas Valsts meži” for cooperation to provide the supplementary data on black alder forest stands.

Last, but not the least, I thank greatly to Zigmārs Rendenieks, Ilva Liepa, Linda Zalāne, Aivars and Vija Liepa, Alda and Zanda Bembere for being with me and supporting me through these years.