



Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Latvia University of Agriculture



Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"
Latvian State Forest Research Institute "Silava"



Mg. silv. LEONĪDS ZDORS

**KOKAUDZES STRUKTŪRAS UN APSAIMNIEKOŠANAS
REŽĪMU IETEKME UZ PARASTĀS PRIEDES (*PINUS
SYLVESTRIS* L.) ATJAUNOŠANOS VIENLAIDUS UN GRUPU
PAKĀPENISKAJĀS CIRTĒS**

**INFLUENCE OF FOREST STAND STRUCTURE AND
MANAGEMENT REGIME ON SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS*
L.) REGENERATION AFTER UNIFORM AND GROUP
SHELTERWOOD CUTTING**

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
Dr. silv. zinātniskā grāda iegūšanai Mežzinātnes nozarē
Meža ekoloģijas un mežkopības apakšnozarē

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

Salaspils, Jelgava, 2015

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:

Imants Liepa

Supervisor:

Prof. Dr. habil. biol.

Pētnieciskais darbs izpildīts Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava” laika posmā no 2004. līdz 2015. gadam. Doktora studiju laiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža Fakultātē no 2010. līdz 2015. gadam / *The research work was carried out at Latvian State Forest Research Institute “Silava” in the period of time from 2004 till 2014. The period of doctoral studies at the Forest Faculty of the Latvia University of Agriculture from 2010 till 2015.*

Oficiālie recenzenti: / *Official reviewers:*

- *Dr.silv. Dagnis Dubrovskis* – Latvijas Lauksaimniecības universitātes profesors, LZP eksperts / *Professor of Latvia University of Agriculture, Expert of the Latvian Council of Science;*
- *Dr.silv. Jurgis 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. Kalev Jõgiste* – Igaunijas Dabas zinātņu universitātes Mežkopības un lauku inženierzinātņu institūta profesors, vadošais pētnieks / *Professor of Estonian University of Life Sciences, Institute of Forestry and Rural Engineering, Senior Researcher.*

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā Fonda projekta Nr. 2013/0022/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/052 atbalstu. / *The Doctoral thesis has been worked out by the support of ESF project Nr. 2013/0022/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA /052*



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē **2016. gada 29. janvārī plkst. 10:00** Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē / *To be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvia University of Agriculture held on **January 29, 2016 at 10:00 a.m.** in Jelgava, Dobeles street 41.*

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā / *The thesis are available at the Fundamental Library of LUA: Lielā iela 2, Jelgava vai/ or: http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html.*

Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei Dr.silv. I. Jankovskai / *References are welcome to be sent to Dr.silv. I. Jankovska, the Secretary of the promotion Council. Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvija, vai / or: ilze.jankovska@llu.lv. ISBN 978-9984-48-210-1*

Saturs

1. Darba vispārīgs raksturojums	5
1.1. Tēmas aktualitāte	5
1.2. Darba mērķis	5
1.3. Darba uzdevumi	5
1.4. Darba hipotēze	6
1.5. Zinātniskā novitāte	6
1.6. Promocijas darba struktūra un apjoms	6
1.7. Zinātniskā darba aprobācija	6
2. Materiāls un metodes	8
3. Audzes atjaunošanās sekmīguma analīze	17
3.1. Dabiskā atjaunošanās vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no audzes šķērslaukuma un biezuma	17
3.2. Dabiskā atjaunošanās pēc vienlaidus un grupu pakāpeniskās cirtes mētrājā atkarībā no gaismas režīma	20
3.3. Dabiskā atjaunošanās grupu pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no attāluma līdz atvēruma malai	21
3.4. Dabiskā atjaunošanās grupu pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no izcirstā atvēruma lieluma	23
3.5. Stādījumu novērtējums grupu pakāpeniskajās cirtēs	25
4. Audzes paliekošās daļas atsauces reakcijas dinamika	32
4.1. Palikušo koku atsauces reakcija pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes	32
4.2. Palikušo koku atsauces reakcija grupu pakāpeniskajās cirtēs	35
Secinājumi un praktiskās rekomendācijas	39

Contents

1. General description	41
1.1. Background	41
1.2. Aim of the thesis	41
1.3. Objectives of the research	41
1.4. Proposed hypothesis.....	42
1.5. Scientific novelty	42
1.6. Structure and volume of thesis.....	42
2. Material and methods	42
3. Analysis of the success of stand regeneration.....	48
3.1. Natural regeneration in uniform shelterwood cuttings depending on the basal area and density of the stand	48
3.2. Natural regeneration in <i>Vacciniosa</i> forest type after uniform and group shelterwood cutting depending on light regime	50
3.3. Natural regeneration after group shelterwood cutting depending on distance to the gap edge	51
3.4. Natural regeneration after group shelterwood cutting depending on the gap size	52
3.5. Planting evaluation in group shelterwood cuttings	53
4. Reaction dynamics of the remaining part of the stand.....	57
4.1. Response reaction of retained trees after uniform shelterwood cutting	57
4.2. Response reaction of retained trees after group shelterwood cutting	59
Conclusions and practical recommendations	60

1. Darba vispārīgs raksturojums

1.1. Tēmas aktualitāte

Eiropā pēdējā laikā arvien plašāk izmanto meža apsaimniekošanas metodes, kas ietver dabisko traucējumu režīmu imitāciju. Šobrīd arī Latvijā pieaug diskusijas par kailciršu saimniecības izraisītajām pārvērtībām ainavā. Daudzos gadījumos no sabiedrības puses kā alternatīvais variants tiek piedāvāts cirst mežus ar nekailciršu metodēm. Pakāpenisko ciršu pielietošana savā ziņā ir ekonomisko, ekoloģisko un sociālo meža apsaimniekošanas pretrunu kompromisa risinājums.

Latvijā pakāpeniskās cirtes pēdējā laikā visbiežāk veiktas platībās, kur atbilstoši normatīvajiem aktiem bijusi aizliegta kailcirte vai arī mežaudžu masīvos ar lielu pieaugušo audžu īpatsvaru, kā arī privātajos mežos. Jāatzīmē, ka kailcirte ir aizliegta 9,9% priežu audžu, līdz ar to šīs audzes var apsaimniekot ar pakāpeniskajām cirtēm vai izlases cirtēm. Atbilstoši spēkā esošajiem normatīvajiem aktiem šobrīd reāli ir iespējama tikai otrā alternatīva. Tomēr paliek jautājums, vai ir iespējams saglabāt priedi kā valdošo sugu audzē, izmantojot izlases cirtes, it sevišķi auglīgākos meža tipos un ņemot vērā, ka priede ir gaismas prasīga suga.

Manipulējot ar audzes parametriem, var regulēt gaismas režīmu, lai sasniegtu audzes apsaimniekošanas mērķus, kas īstenojami, kontrolējot aizzēlumu un atjaunojušos kociņu augšanu. Ideālā gadījumā mežkopis varētu izvēlēties audzes atvēruma lielumu, zinot optimālos augšanas apstākļus konkrētajai koku sugai un tādējādi ietekmējot turpmāko audzes sugu sastāvu (Messier et al., 1999). Viens no lielākajiem nezināmajiem ir zaudējumi, kas rodas, samazinoties kociņu augšanai saistībā ar malas ietekmes efektu nelielos audzes atvērumos. Noskaidrojot dabiskās atjaunošanas sekmīgumu, atkarībā no izmantotās cirtes tehnoloģijas, kā arī palikušo koku papildus pieaugumu, iespējams novērtēt pakāpenisko ciršu izmantošanas efektivitāti.

Latvijā pakāpeniskās un izlases cirtes plašāk ir pētītas pagājušā gadsimta vidū (Kundziņš, 1949; Zviedris, 1949; Суха, 1957; Сүна, 1958; Zviedris, 1960; Igaunis, 1960; Igaunis, 1961). 20. gadsimta beigās LVMI „Silava” pētnieka J. Doņa vadībā uzsākti nekailciršu problemātikai veltīti pētījumi un šo promocijas darbu var uzskatīt par vienu no šo pētījumu rezultātiem.

1.2. Darba mērķis

Pētījuma mērķis ir noskaidrot vienlaidus un grupu pakāpenisko ciršu piemērotību izmantošanai priežu audzēs sausieņu meža tipos Latvijā.

1.3. Darba uzdevumi

Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši pētnieciskie uzdevumi:

- priedes atjaunošanās sekmīguma analīze pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes priežu audzēs;
- priedes atjaunošanās izvērtējums pēc grupu pakāpeniskās cirtes;
- audzes paliekošās daļas atsauces reakcijas dinamikas analīze.

1.4. Darba hipotēze

Promocijas darbā ir izvirzītas sekojošas pētnieciskās hipotēzes: 1) pie noteikta priežu audzes šķērslaukuma, koku skaita vai atvēruma lieluma pēc pakāpeniskās cirtes, var prognozēt atjaunojušos priežu skaitu un augstumu; 2) pakāpeniskās cirtes iniciē papildus pieauguma veidošanos palikušajiem kokiem.

1.5. Zinātniskā novitāte

Pēdējie nozīmīgākie pētījumi par pakāpeniskajām cirtēm Latvijā veikti pagājušā gadsimta vidū. Līdz šim plašāk nav pētīta atvēruma lieluma un attāluma līdz atvēruma malai ietekme uz dabisko un mākslīgo atjaunošanu, kā arī palikušo koku papildus pieaugums pēc pakāpeniskajām cirtēm priežu audzēs.

1.6. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darba struktūra ir pakārtota darba uzdevumiem. Pirmajā nodaļā analizēta literatūra un iepriekš veiktie pētījumi saistībā ar promocijas darba tematiku. Otrajā nodaļā aprakstītas darbā izmantotās metodes un materiāli. Trešajā un ceturtajā nodaļā izklāstīti pētījumā iegūtie rezultāti un no tiem izrietošie secinājumi. Trešajā nodaļā, kas satur piecas apakšnodaļas, analizēts priedes atjaunošanās sekmīgums pēc vienlaidus un grupu pakāpeniskās cirtes priežu audzēs. Ceturtajā nodaļā, kas satur divas apakšnodaļas, analizēta audzes paliekošās daļas atsaucis reakcijas dinamika. Darbu noslēdz nozīmīgākie secinājumi un praktiskās rekomendācijas.

Promocijas darba apjoms ir 113 lappuses, informācija apkopota 13 tabulās, 59 attēlos un 2 pielikumos, izmantoti 201 literatūras avoti. Darba noslēgumā formulēti 7 galvenie secinājumi un sniegta 4 praktiskās rekomendācijas.

1.7. Zinātniskā darba aprobācija

Publikācijas par darba tēmu

1. Zdors, L., Donis, J. (2011). Gaismas režīms vienlaidus un grupu pakāpeniskajās cirtēs. *Mežzinātne*, 57, 41.–57. lpp. (AGRIS; CAB Abstracts)
2. Zdors, L., Donis, J. (2012). Malas ietekmes novērtējums uz stādītas egles augšanu dažāda lieluma audzes atvērumos. *Mežzinātne*, 59, 20.–40. lpp. (AGRIS; CAB Abstracts)
3. Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. (2014). Dabiskās atjaunošanas novērtējums priežu audzēs atkarībā no audzes atvēruma lieluma. No: *Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference, vēlīta augstākās mežizglītības 95. un Meža fakultātes 75. gadskārtai 2014. gada martā Jelgavā. Tēzes*. Atbildīgais par izdevumu emer. profesors L. Līpiņš, Jelgava, LLU, 2014, 25.–28. lpp.
4. Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. (2014). Natural regeneration 3 years after forest fire and after uniform shelterwood cutting in pine stands. In: Kangur, A., Metslaid, M., Mose, W. K., Trei, P. (eds.) Book of abstracts: International conference Forest landscape mosaics: disturbance, restoration and management at times of global change, Tartu, Estonia 11–14 August, 2014. *Transactions of the Institute of the Forestry and Rural Engineering*, Estonian University of Life Sciences, 40. 140.

5. Zdors, L., Donis, J. Evaluating the Edge Effect on the Initial Survival and Growth of Scots Pine and Norway Spruce After Planting in Different Size Gaps in Shelterwood. *Baltic Forestry*. Izskatīts publicēšanai 2016, 22(1) (CAB Abstracts; Scopus; Web of Science, Thompson and Reuters)

Publicēšanai iesniegtie raksti

1. Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. Additional stem volume increment after group shelterwood cutting in Scots pine stands in *Myrtillosa* forest type. *Baltic forestry*. Raksts iesniegts publicēšanai 30.06.2015.

Dalība zinātniskajās konferencēs

1. Zinātniski praktiskā konference "Zinātne un prakse nozares attīstībai", 2011. gada 14.–17. martā, MF, LLU, Jelgava, Latvija. Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Dabiskās atjaunošanās un mākslīgās atjaunošanas novērtējums pēc pakāpeniskās cirtes pirmā paņēmienu priekšu audzēs.*
2. Annual 17th International Scientific Conference "Research for rural development 2011", 18–20 May, 2011, Jelgava, Latvia, Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Uniform Shelterwood Cutting Evaluation in Scots pine Stands.*
3. Zinātniski praktiskā konference "Zinātne un prakse nozares attīstībai", 2012. gada 12.–15. martā, MF, LLU, Jelgava, Latvija. Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Malas efekta novērtējums uz stādītas egles augšanu grupu pakāpeniskās cirtēs.*
4. Latvijas Universitātes 71. zinātniskā konference, Dendroekoloģijas sekcija, 2013. gada 31. janvārī, Rīga, Latvija. Referāts: Zdors, L., Donis, J. *Malas efekta novērtējums uz stādītas egles augšanu dažāda lieluma audzes atvērumos.*
5. Annual 19th International Scientific Conference "Research for rural development 2013", 15–17 May, 2011, Jelgava, Latvia, Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Additional stem volume increment after group shelterwood cutting in pine stands in Myrtillosa forest type.*
6. Zinātniski praktiskā konference "Zinātne un prakse nozares attīstībai", 2014. gada martā, MF, LLU, Jelgava, Latvija. Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Dabiskās atjaunošanas novērtējums priekšu audzēs atkarībā no audzes atvēruma lieluma.*
7. Annual 20th International Scientific Conference "Research for rural development 2014", 18–20 May, 2011, Jelgava, Latvia, Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Natural regeneration after uniform and group shelterwood cutting in pine (Pinus sylvestris L.) stands.*
8. EFINORD/SNS International Conference „Forest landscape mosaics: disturbance, restoration and management at times of global change 2014”, 11–14 August, 2014, Tartu, Stenda referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Natural regeneration 3 years after forest fire and after uniform shelterwood cutting in pine stands.*
9. Latvijas Universitātes 73. zinātniskā konference, Dendroekoloģijas sekcija, 2015. gada 5. februārī, Rīga, Latvija. Referāts: Zdors, L., Šņepsts, G., Donis, J. *Malas efekta novērtējums uz stādītas priedes augšanu dažāda lieluma audzes atvērumos.*
10. International Scientific Conference of the Latvian State Forest Research Institute Silava "Adaptation and mitigation: strategies for management of forest ecosystems"

23-24 April, 2015, Riga, Latvia. Stenda referāts: Zdors, L., Donis, J. *Evaluating the Edge Effect on the Initial Survival and Growth of Scots Pine and Norway Spruce After Planting in Different Size Gaps in Shelterwood.*

11. Annual 21th International Scientific Conference “Research for rural development 2015”, 13–15 May, 2015, Jelgava, Latvia, Referāts: Zdors, L., Snepsts, G., Donis, J. *Additional Stem Volume Increment After Uniform Shelterwood Cutting in Pine Stands.*

Dalība projektos, kas saistīti ar promocijas darba tēmu

1. Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava” (2004.–2008.), Meža attīstības fonda projekts „*Nekailciršu meža apsaimniekošanas modeļa izstrāde*”, zinātniskais asistents. Projekta vadītājs J. Donis.
2. Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava” (2011.–2012.), AS „Latvijas valsts meži” projekts „*Saimnieciskās darbības izvērtējums izlases ciršu saimniecībā*”, zinātniskais asistents. Projekta vadītājs J. Donis.

2. Materiāls un metodes

Vispārējs pētījumu objektu raksturojums

Pētījums ierīkots kopumā 45 objektos (audzēs), kas izvietoti dažādos Latvijas reģionos. Trīs objekti (Kalsnava; Mežole-42; Mežole-74) ierīkoti kā eksperimentālie objekti dažāda lieluma atvērumu ietekmes noskaidrošanai uz dabisko un mākslīgo atjaunošanu. Šo objektu ierīkošana un uzmērīšana ir uzsākta jau pirms ciršanas. Pārējie objekti ir ierīkoti tikai kā novērojumi pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes (turpmāk VPC) un grupu pakāpeniskās cirtes (turpmāk GPC) pieaugušās priežu audzēs. Šajos objektos meža platību apsaimniekotāji ir veikuši cirtes laika periodā no 1995. gada līdz 2009. gadam. Daļa no visiem ierīkotajiem objektiem uzmērīti vienu reizi, bet citi - divas reizes, laika periodā līdz 16 gadiem pēc cirtes veikšanas. Uzmērīšana veikta laika periodā no 2004. gada līdz 2013. gadam.

Darba uzdevumiem ir izmantoti dažādi objekti un ne visos objektos (viena ciršu veida ietvaros) ir veikti visi darba uzdevumi.

Dabiskās atjaunošanās noteikšana vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no audzes šķērslaukuma un biežuma

Dati ievākti priežu audzēs Mr, Ln un Dm. Kopumā uzmērīti 32 objekti.

Objektos ierīkoti no viena līdz deviņiem 500 m² lieliem apļveida parauglaukumiem (kopā 161), kuros uzmērīti iepriekšējās audzes parametri. Parauglaukumu (turpmāk PL) skaits atkarīgs no audzes lieluma un koku skaita objektā.

Dabiskās atjaunošanās novērtēšanai 500 m² lielajos PL ierīkoti 25 m² apļveida uzskaites laukumi (kopā 424). Dabiskās atjaunošanas uzskaites laukumu (turpmāk UL) centrs izvietots PL centrā un daļā gadījumu arī 6 m attālumā uz Z, A, D, R. Uzmērīts visu to kociņu augstums, kas sasnieguši vismaz 5 cm augstumu.

Aprēķiniem atlasīti tikai tie iepriekšējās audzes PL, kuros nav konstatēti otrā stāva vai paaugas koki.

Dati iedalīti divās grupās: 3–5 gadi pēc cirtes un 9–12 gadi pēc cirtes. Dabiskās atjaunošanās UL uzskaitīto kociņu skaits pārrēķināts uz ha, kā arī aprēķināts 2000 kociņu ha⁻¹ jeb piecu augstāko kociņu UL vidējais augstums (H₂₀₀₀).

Kā iepriekšējo audzi raksturojošs elements izmantots PL. Iepriekšējās audzes PL aprēķināts palikušo koku šķērslaukums un skaits uz ha.

Lai noteiktu dabiski atjaunojušos priedes kociņu skaitu uz ha, kā faktoriālie lielumi izmantoti iepriekšējās audzes koku šķērslaukums un biežums PL. Aprēķināti regresijas analīzes vienādojumi pa meža tipiēm un pa pēccirtes periodiem. Tāda paša veida analīze veikta arī attiecībā uz H₂₀₀₀. Lai izlīdzinātu atšķirības, kas radušās dēļ dažādā novērtēšanas perioda pēc cirtes, H₂₀₀₀ aprēķināts kā lineāri izlīdzināts pie bāzes vecuma četri gadi (vecuma grupā trīs līdz pieci gadi) un desmit gadi (vecuma grupā 9 – 12 gadi).

Dabiski atjaunojušo koku skaita novērtēšanas aprēķinos izmantoto dabiskās atjaunošanas UL skaits atšķiras pa pēccirtes perioda grupām un meža tipiēm (2.1. tab.).

2.1. tabula / Table 2.1.

Dabiskās atjaunošanās kociņu skaitu regresijas vienādojumos izmantoto datu raksturojums

Characteristics of the data used in the regression equations of natural regeneration

Pēccirtes periods, gadi / <i>Period after cutting, years</i>	Rādītāji / <i>Indicators</i>	Mr	Ln	Dm
3 - 5	UL skaits, gab. / <i>Number of regeneration sampling plots</i>	131	130	84
	N intervāls, koki ha ⁻¹ / <i>Number of shelter trees per ha</i>	120 - 400	60 - 360	60 - 380
	G intervāls, m ² ha ⁻¹ / <i>Basal area of shelter trees, m² ha⁻¹</i>	12 - 30	7 - 42	5 - 45
9 - 12	UL skaits, gab. / <i>Number of regeneration sampling plots</i>	52	69	70
	N intervāls, koki ha ⁻¹ / <i>Number of shelter trees per ha</i>	60 - 260	20 - 200	20 - 280
	G intervāls, m ² ha ⁻¹ / <i>Basal area of shelter trees, m² ha⁻¹</i>	7 - 31	6 - 34	3 - 47

Lai noteiktu kociņu izvietojuma vienmērīgumu pēccirtes periodā 9–12 gadi, aprēķināts to UL īpatsvars, kuros konstatēti vismaz 2800 kociņi ha⁻¹ jeb septiņi kociņi vienā UL. Pazīmes īpatsvara reprezentācijas intervāls aprēķināts pēc ϕ metodes (Liepa, 1974).

Dabiskās atjaunošanās noteikšana vienlaidus un grupu pakāpeniskajās cirtēs mētrajā atkarībā no gaismas režīma

Lai noteiktu gaismas režīmu, izmantots fotoaparāts (Nikon Coolpix 8400) ar platleņķa (fisheye) fotoobjektīvu (FC-E9) un komplektējošu aprīkojumu (Winscanopy O-Mount).

Fotoattēli iegūti astoņos VPC objektos 500 m² apļveida PL centros (kopā 28 attēli). Kā arī Mežole-42 objektā dažāda lieluma izcirstos audzes atvērumos (10×10 m, 20×20 m, 20×40 m un 40×40 m) uz dažāda lieluma izcirsto atvērumu ZR-DA diagonāles, uzņemot attēlus ik pēc 7 m (kopā 62 attēli).

Gaismas režīma daudzveidības raksturošanai audzē izmantota FAR_{kopzv} (kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums Mol m⁻² zem vaināgiem vidēji dienā veģetācijas perioda laikā) un FAR_{kop} attiecība (kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums Mol m⁻² virs vaināgiem vidēji dienā veģetācijas perioda laikā), kas iegūta attēlus apstrādājot WinSCANOPY 2006a Pro datorprogrammā (www.regentinstruments.com)

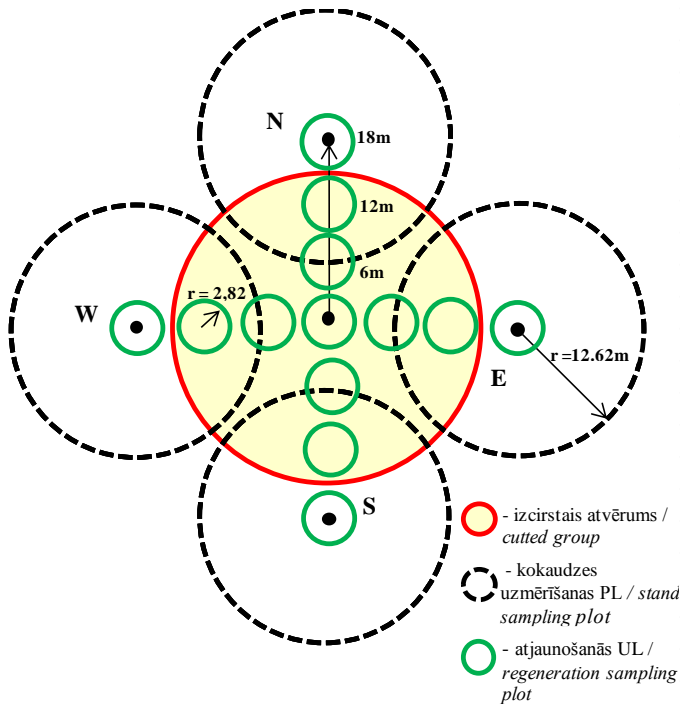
Lai novērtētu dabiskās atjaunošanās sekmīgumu atkarībā no gaismas režīma, aprēķinātas lineārās regresijas vienādojumi starp kociņu skaitu uz ha un vidējo augstumu un gaismas režīmu raksturojošo parametru vērtībām (FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecību). Par audzes atjaunošanos raksturojošu vienību uzskatīti dabiskās atjaunošanās UL ar 2,82 m rādiusu, virs kuru centra veikta fotografēšana.

Dabiskās atjaunošanās noteikšana grupu pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no attāluma līdz atvēruma malai

Pētījums veikts Mr (divi objekti) un Ln (pieci objekti), kur veikts GPC pirmais paņēmieni. Audzēs ir izcirsti relatīvi vienmērīgi izvietoti apļveidīgi atvērumi ar diametru 25 – 32 m, nocērtot tajos pilnīgi visus kokus. Starp izcirstajiem atvērumiem palikušās audzes daļas nav cirstas, izņemot vienu objektu (ABA), kur nocirsta gan daļa pirmā stāva koku, gan visas otrā stāva egles. Šajā objektā sešus gadus pēc pirmā paņēmiena veikts arī otrais cirtes paņēmieni, paplašinot atvērumus. Citās audzēs otrais paņēmieni nav cirsts, izņemot atsevišķu vējgāzto koku savākšanu. Pēc atvērumu izcirstānos atvērumos mehāniski sagatavota augsne, daļā no objektiem ir veikta arī agrotehniskā kopšana.

Katrā audzē ir uzmērīti divi līdz trīs atvērumi (kopā 17 atvērumi). Četri no septiņiem objektiem uzmērīti divas reizes. Audze uzmērīta atbilstoši J. Doņa (2006) izstrādātajai metodikai. Sākotnēji katram izvēlētajam atvērulam atrasts aptuvenais centrs un tad no tā četros kardinālajos virzienos (Z, D, A, R) 18 m attālumā no atvēruma centra ierīkoti apļveida iepriekšējās audzes uzmērīšanas PL (2.1. att.) ar rādiusu 12,62 m (500 m²), kuros uzmērīti iepriekšējās audzes parametri un fiksēts koku izvietojums.

Dabiskās atjaunošanās UL ($r = 2,82$ m) izvietoti atvērumu centrā un 6, 12 un 18 m attālumā četros debespūšu virzienos (Z, D, A, R) (2.1. att.). Uzmērīts visu to kociņu augstums, kas sasnieguši vismaz 5 cm augstumu.



2.1. att. Grupu pakāpenisko ciršu objektu ierīkošanas shēma.
 Fig. 2.1. Sampling plot layout in group shelterwood stands

Dati iedalīti divās grupās: pirmā grupa – satur uzņēmumus, kas veikti trīs līdz piecus gadus pēc cirtes (turpmāk tekstā – četri gadi) un otra grupa – 9–13 gadi pēc cirtes (turpmāk tekstā – 10 gadi).

Ņemot vērā atšķirīgo atvērumu lielumu (25 – 32 m diametrā), UL atrodas dažādā attālumā no atvērumu malas. Lai veiktu aprēķinus, UL sagrupēti četrās attāluma grupās no atvēruma malas.

Veikti līdzīgi aprēķini kā vienlaidus pakāpenisko ciršu objektos - pa meža tiptiem un attāluma grupām no atvēruma malas.

Lai noskaidrotu attāluma līdz atvēruma malai ietekmi uz H_{2000} , veikta vienfaktora dispersijas analīze datorprogrammā SPSS 14. Analīze veikta atsevišķi pa meža tiptiem un pēccirtes periodiem. Atšķirību būtiskuma novērtēšanai starp gradācijas klasēm izmantots Games-Howell tests.

Dabiskās atjaunošanās noteikšana grupu pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no izcirstā atvēruma lieluma

Pētījums veikts divos eksperimentālos objektos damakšņa meža tipā – Kalsnava (iepriekšējās audzes sastāvs 8P2E) un Mežole-74 (iepriekšējās audzes sastāvs 6P2B2E). Jāuzsver, ka šajos objektos sastopama dažāda veģetācija, ko raksturo to piederība

atšķirīgām asociācijām, proti, Kalsnava: *Pinus sylvestris* + *Picea abies* – *Picea abies* – *Vaccinium myrtillus* + *Pteridium aquilinum* + *Calamagrostis arundinacea* – *Hylocomium splendens* + *Pleurozium schreberi* un Mežole-74: *Pinus sylvestris* + *Betula pendula* + *Picea abies* – *Picea abies* – *Vaccinium myrtillus* + *Melampyrum pratense* + *Calamagrostis arundinacea* – *Hylocomium splendens* + *Pleurozium schreberi*. Asociācijas izdalītas pēc dominantu metodes.

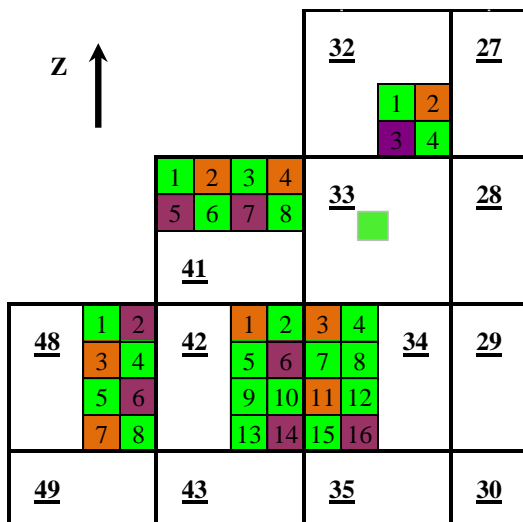
Audzēs 2006.–2007. gada ziemā iezīmēti un izcirsti dažāda lieluma taisnstūrveida atvērumi 10×10 m; 20×20 m; 20×40 m (izvietojot Z-D vai A-R virzienos – turpmāk tekstā 20×40ZD un 20×40AR) un 40×40 m ar minimālo attālumu starp atvērumiem 20 m (izņemot 10×10 m atvērumiem, kur mazākais attālums starp atvērumiem 10 m). Starpjoslās starp atvērumiem nav cirstas. Kopumā izcirsti 37 atvērumi.

Kalsnavas objektā (turpmāk Kalsnava) 2008. gadā izcirstie atvērumi sadalīti 10×10 m kvadrātos (2.2. att.) un rudenī uzmērīta dabiskā atjaunošanās daļā no iezīmētajiem kvadrātiem, 25 m² apļveida dabiskās atjaunošanās UL izvietojot to vidū. Mežoles-74 objektā dabiskās atjaunošanas UL izvietoti uz ZR – DA izcirtumu diagonāles, 25 m² apļveida UL izvietojot ik pa 7 m, bet 10×10 m atvērumos – to vidū. 2008. gadā kopumā uzmērīti 117 UL. UL uzmērīts augstums visiem vismaz 5 cm augstiem skuju kokiem, bet lapu kokiem – četriem lielākajiem kociņiem uz 1 m² ar attālumu vismaz 50 cm vienam no otra.

2013. gada pavasarī Kalsnavā UL izvietoti tajās pašās vietās, bet Mežole-74 UL izvietoti pēc tāda paša principa kā Kalsnavā. 2013. gadā abos objektos uzmērīta dabiskā atjaunošanās 40×40 m lielās necirstajās audzes daļās, apļveida UL izvietojot to centrā, kā arī 6 m uz Z, A, D, R no centra. 2013. gadā kopumā uzmērīti 175 UL.

2013. gada pavasarī Kalsnavā UL izvietoti tajās pašās vietās, bet Mežole-74 UL izvietoti pēc tāda paša principa kā Kalsnavā. 2013. gadā abos objektos uzmērīta dabiskā atjaunošanās 40×40 m lielās necirstajās audzes daļās, apļveida UL izvietojot to centrā, kā arī 6 m uz Z, A, D, R no centra. 2013. gadā kopumā uzmērīti 175 UL. 2013. gadā uzmērīts arī kociņu caurmērs pie sakņu kakla (turpmāk caurmērs) daļai no kociņiem.

Veicot dispersijas analīzi datorprogrammā SPSS 14, kā mainīgie izmantoti sekojoši lielumi – koku skaits, koku augstums un caurmērs priedei, eglei un bērzam. Konstatēts, ka ir būtiskas atšķirības kociņu skaitā un augstumā starp objektiem, līdz ar to turpmākā analīze veikta atsevišķi pa objektiem. Par faktoru gradācijas klasēm izmantots vecums pēc cirtes un atvēruma lielums. Atšķirību būtiskuma novērtēšanai starp gradācijas klasēm izmantots Games-Howell tests.



- 1** - sākotnēji iezīmēto 40×40 m kvadrātu Nr. / *No of initial rectangular plots (40×40m)*
2 - atjaunošanās kvadrātu Nr. izcirstajos atvērumos / *No of planted plots*
- apstādīts ar priedi / *planted pine*
 - apstādīts ar egli / *planted spruce*
 - uzmērīta dabiskā atjaunošanās / *natural regeneration*

2.2. att. Eksperimentālo objektu ierīkošanas un uzmērīšanas shēmas fragments.
 Fig. 2.2. *Fragment of experimental test site establishment and survey scheme.*

Stādījumu novērtējums grupu pakāpeniskajās cirtēs

Pētījums veikts divos eksperimentālos objektos damaksnī – Kalsnava un Mežole-74. Mežole-74 objektā 2009. gada pavasarī daļa no iezīmētajiem kvadrātiem apstādīti ar priedes ietvarstādiem ($H=0,085\pm 0,002$ m), stādot iešķēlumā vai bedrītē iepriekš no zemesdes atbrīvotos ($0,4\times 0,4$ m) laukumiņos. Mežole-74 objektā stādīšana veikta, izmantojot kvadrātveida stādvieta shēmu, kur stādvieta savstarpējais attālums ir 2×2 m (25 kociņi vienā kvadrātā), līdz ar to zināms katra kociņa attālums līdz izcirstā atvēruma malai. 2011. gada pavasarī pēc līdzīga principa izstādīti priedes ietvarstādi ($H=0,175\pm 0,002$ m) arī Kalsnavas objektā. Stādīšana veikta, izmantojot kvadrātveida stādvieta shēmu, kur stādvieta savstarpējais attālums ir $1,75\times 1,75$ m (30 kociņi vienā kvadrātā). Jāatzīmē, ka Kalsnavas objektā stādīšana veikta atkārtoti, jo vairāk nekā 85% no pirmajā stādīšanas reizē (2008. gada pavasarī) stādītajiem kailsakņu stādiem (4+0) bija dažādu iemeslu dēļ (dzīvnieku bojājumi u.c.) aizgājuši bojā, vai ievērojami bojāti.

Agrotehniskā kopšana veikta katru gadu jūlijā, izņemot otro veģetācijas sezonu Kalsnavā, kad daļā objekta kopšana veikta jūnija beigās, bet otrā daļā – vairākas nedēļas vēlāk.

Uzreiz pēc iestādīšanas kociņiem izmērīts augstums, kas atkārtoti uzņēmots katru rudeni. Kalsnavā pēc trešās veģetācijas sezonas uzņēmots kociņu caurmērs pie sakņu kakla.

Kalsnavā otrajā veģetācijas sezonā pēc audzes izciršanas (divus gadus pirms stādīšanas) jūlijā veikta vizuāla veģetācijas uzskaitē, novērtējot daļu no kvadrātiem. Novērtēts zemeszemes augu vidējais augstums un aizņemtās kvadrāta platības īpatsvars.

Datu matemātiskajā apstrādē analizēta kociņu izdzīvošana Kalsnavas un Mežoles objektā. Analizēts arī kociņu augstuma pieaugums un kociņu caurmērs pie sakņu kakla trīs gadus pēc iestādīšanas. Izdzīvojušo kociņu izpētei izmantoti visi kociņi. Augstuma pieaugumu un caurmēru analīzei izmantoti tikai kociņi no Kalsnavas objekta, kas konstatēti kā nebojāti. Izmantota daudzfaktoru dispersijas analīze datorprogrammā SPSS14. Kā ietekmējošie faktori pārbaudīti – objekts, atvērums, sākotnējais kociņu augstums un attālums līdz tuvākajai malai. Attālums līdz atvērums malai iedalīts attāluma grupās – 1 m; 3 m, utt. Ņemot vērā nelielo augstumu un caurmēru aprēķiniem izmantojamo kociņu skaitu (līdz trim novērojumiem) gradācijas klasēs 5 m 10×10 m atvērumā un 9 m 20×20 m, tās piesaistītas tuvākajām klasēm – attiecīgi 3 m un 7 m. Tāpat 40×40 m atvērums 11 m gradācijas klasei pievienota 13 m, 15 m, 17 m un 19 m gradācijas klase.

Pārbaudot būtiski ietekmējošos faktorus, konstatēts, ka kociņu sākotnējie augstumi būtiski atšķiras pa objektiem, tādēļ turpmākā analīze veikta katram objektam atsevišķi. Par gradācijas klasi izmantots atvērums lielums un attālums no atvērums malas. Atšķirību būtiskuma novērtēšanai starp gradācijas klasēm izmantots Games-Howell tests.

Paraugkopu aritmētiskajām vidējām vērtībām aprēķināta robežklūda, kurā iekļauta Stjūdenta sadalījuma normētā novirze. Pazīmes īpatsvara reprezentācijas intervāls aprēķināts pēc ϕ metodes.

Palikušo koku atsauces reakcijas novērtēšana pakāpeniskajās cirtēs

Pētījumam izmantoti objekti, kuros pēccirtes periods bija vismaz pieci gadi pēc cirtes. VPC koku atsauces reakcijas novērtēšanai izmantoti 17 objekti: mētrājā seši, lānā pieci un damaksnī seši objekti, bet GPC - pieci objekti lānā. Audzes vecuma noteikšanai un papildus pieauguma aprēķiniem ar pieauguma svārstu krūšaugstumā iegūti radiālā pieauguma paraugi no priedes uzskaites kokiem. Urbšanas virziens izraudzīts pēc nejaušības principa attiecībā pret debespusēm un vainaga klāja atvērumiem. VPC objektos urbumi veikti vidēji 29 kokiem objektā, bet GPC – 54 kokiem. Kopumā gadskārtu paraugi VPC objektos iegūti no 496 kokiem, bet GPC – 269 kokiem.

Gadskārtu platumi iegūti, izmantojot iekārtu LINTAB IV. Datu pirmapstrādei izmantota datorprogramma TSAP Win Scientific 0.55. Papildus pieaugumu aprēķiniem

izmantota I. Liepas (1996) izstrādātā metodika. Analizējot audzes papildus pieaugumu, ir izmantota vidējā koka metode (Liepa, 1996).

Lai aprēķinātu papildus pieaugumu, kontrolei izmantotas 39 vismaz 90 gadus vecas priežu tīraudzēs Mr, Ln un Dm. Šajās audzēs iegūti radiālā pieauguma paraugi no 15 līdz 74 kokiem (kopā no 721 kokiem). Aprēķiniem izmantotais retrospekcijas periods – 10 gadi. Katrai vērtējamai audzei atlasīti adekvātie kontroles koki. No kontroles kokiem atlasīti tie, kuru radiālais pieaugums retrospekcijas periodā uzrādīja statistiski būtisku korelāciju $r_{10;0,05} = 0,6319$ (Pīrsona koeficienta kritiskā vērtība pie $n=10$ un $\alpha=0,05$) pret vērtējamo audžu vidējo radiālo pieaugumu. Sakarībai starp atlasīto kontroles koku un vērtējamo audžu vidējo gadskārtu platumiem izmantots pakāpes regresijas vienādojums. Aprēķināto regresijas vienādojumu determinācijas koeficientu vērtība VPC objektiem ir vismaz 0,81, bet GPC objektiem 0,64. Ietekmes novērtēšanai katrai audzei aprēķināts ikgadējais ($T_{p,red}$) un kumulatīvais ($K_{p,red}$) reducētais krājas papildus pieaugums $m^3 m^{-2}$ (Liepa, 1996). $T_{p,red}$ aprēķina kā blakus gadu kumulatīvo pieaugumu starpību. $K_{p,red}$ iegūts, pārrēķinot krājas kumulatīvo papildus pieaugumu uz audzes šķērslaukuma $1 m^2$. Krājas kumulatīvo papildus pieaugumu aprēķina ar formulu (Liepa, 1996):

$$Z_M^{kp} = 12732,4\psi (GH^\alpha D^\beta l_{gH} + \varphi - 2 - G_t H_t^\alpha D_t^\beta l_{gH} + \varphi - 2), \quad (1)$$

kur:

Z_M^{kp} – krājas kumulatīvais papildus pieaugums, $m^3 ha^{-1}$ / *cumulative stem volume additional increment*;

ψ , α , β , φ – no koku sugas atkarīgi empīriskie koeficienti / *empirical coefficients depending on tree species* (priedei/ *for pine*: $\psi = 0,00016541$; $\alpha = 0,56582$; $\beta = 0,25924$; $\varphi = 1,59689$);

t – vides ietekmes vērtēšanas intervāls ($1 \leq t \leq 20$), gadi / *evaluation period of environmental influence* ($1 \leq t \leq 20$), years;

G , G_t – audzes krūšaugstuma šķērslaukums un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, $m^2 ha^{-1}$ / *basal area of stand and predicted values at the end of t period*, $m^2 ha^{-1}$:

$$G_t = \frac{D_t^2 G}{D^2}, \quad (2)$$

D , D_t – audzes vidējais krūšaugstuma caurmērs ar mizu un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, cm / *stand average diameter at breast height with bark and predicted value at the end of t period*, cm:

$$D_t = D - 0,1Z_D^{kp}, \quad (3)$$

Z_D^{kp} – audzes vidējā caurmēra kumulatīvais papildus pieaugums, cm / *cumulative additional increment of the stand average diameter*, cm;

$$Z_D^{kp} = 2u \left(\sum_{t'+1}^t i_j - \sum_{t'+1}^t i'_j \right), \quad (4)$$

u – no koku sugas atkarīgs mizas biežuma koeficients / *empirical coefficient of the thickness of the bark depending on tree species* (priedei/ for pine – 1,103);

t' – retrospekcijas intervāls, gadi / *the interval of retrospection, years*;
 i_j – vērtējamās audzes gadskārtu vidējo vērtību rinda (mm), kas atbilst laika posmam $t + t'$ / *average width of evaluated stand annual ring data at period $t + t'$, mm*;

i'_j – vērtējamās audze gadskārtu koriģēto platumu rinda, mm / *adjusted width of annual ring of evaluated stand, mm*:

$$i'_j = \eta i_{k;j}^p, \quad (5)$$

i_k – adekvātās kontroles gadskārtu platums, mm / *width of appropriate control annual rings, mm*;

ρ, η – sakarību koeficienti, kurus aprēķina katrai vērtējamās un kontroles audzes pārim pēc intervāla t' gadskārtu platumiem / *calculated equitation coefficients from each pair of evaluated and control stand according to the width of annual rings at period t'* .

H, H_t – audzes vidējais augstums un tā prognostiskā vērtība intervāla t beigās, mm / *stand average height and predicted value at the end of period t* :

$$H_t = H - Z_H^{kp}, \quad (6)$$

Z_H^{kp} – audzes vidējā augstuma kumulatīvais papildus pieaugums, m / *cumulative additional increment of stand average height, m*:

$$Z_H^{kp} = \frac{HZ_D^{kp}(aD+b)}{u(cD+100)}, \quad (7)$$

a, b, c – no koku sugas atkarīgi empīriskie koeficienti / *empirical coefficients depending on tree species* (priedei/ for pine: $a = 0,00016541$; $b = 0,56582$; $c = 0,25924$).

Lai noskaidrotu kādi faktori ietekmē $K_{p_{red}}$ pēc VPC, veikta daudzfaktoru analīze datorprogrammā SPSS 14. Kā ietekmētais lielums izmantots katra objekta $K_{p_{red}}$ piecus gadus pēc cirtes. Kā fiksētie faktori analizēti – meža tips un Latvijas reģions (rietumu, vidus, austrumu). Kā kovariāti analizēti – objekta šķērslaukums, izcirstā šķērslaukuma īpatsvars, audzes vidējais vecums krūšaugstumā un 2005. gada vētras ietekmēto gadu skaits (ja 2005. gads iekļāvās piecu vērtējamo gadu periodā).

VPC objektiem aprēķināts palikušo (izretināto) koku $T_{p_{red}}$ un $K_{p_{red}}$.

GPC objektiem aprēķināts audzes nenocirstajās daļās ierīkoto PL kopējais koku $T_{p_{red}}$ un $K_{p_{red}}$. Lai salīdzinātu, vai nenocirsto audzes daļu koku papildus pieaugums ir vienāds neatkarīgi no to attāluma līdz atvēruma malai, koki iedalīti divās grupās – koki kas atrodas tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas, un koki, kas atrodas tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas. Attālums no audzes atvēruma malas, kas atdala izvēlēto grupu robežas, izvēlēts līdzīgs kā pēc citos pētījumos konstatētās audzes atvēruma malas ietekmes zonas 5 m (Donis, 2007) un 8 m (Zdors, Donis, 2012), kā arī iespējamās

ietekmes zonas 0,3 – 0,6 no audzes vidējā koku augstuma (Ермохин, Судник, 2001). Katrai grupai atsevišķi aprēķināts papildus pieaugums. Lai aprēķinātu $K_{p_{red}}$ augšējo un apakšējo 95% ticamības robežu, ietekmētās audzes vidējam gadskārtu platuma vērtībai pieskaitītas vai atņemtas 2 standartklūdas un veikts atkārtots $K_{p_{red}}$ pārreķins. Turpmāk tekstā ir minēts audzes nenocirstās daļas $T_{p_{red}}$ un $K_{p_{red}}$, un koku, kas atrodas tuvāk par 7 m no atvēruma malas un tālāk par 7 m no atvēruma malas, $T_{p_{red}}$ un $K_{p_{red}}$.

Novērtēta arī 2005. gada vētras ietekme uz papildus pieaugumiem un gadskārtu platumu izmaiņām.

3. Audzes atjaunošanās sekmīguma analīze

3.1. Dabiskā atjaunošanās vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no audzes šķērslaukuma un biežuma

Mētrājā gan četrus gadus, gan desmit gadus pēc cirtes sakarības starp atjaunojušos kociņu skaitu un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir lielākoties negatīvas, bet H_{2000} sakarības ar iepriekšējo audzi raksturojošiem parametriem – tikai negatīvas (3.1. tab.). Visos gadījumos sakarības ir vājas un nebūtiskas ($p > 0,05$). Līdz ar to nav iespējams prognozēt atjaunojušos priežu skaitu M_r , izmantojot vienkārši nosakāmus taksācijas rādītājus, kā iepriekšējās audzes koku skaitu uz ha vai šķērslaukumu apskatītājās robežās ($N = 60 - 260$ koki ha^{-1} ; $G = 7 - 31$ m^2 ha^{-1}). Arī pētījumā Somijā konstatēts, ka apgaismojuma daudzums pozitīvi korelē ar kociņu augšanas parametriem (augstumu, tekošo augstuma pieaugumu un vidējo augstuma pieaugumu), bet gandrīz nekorelē ar kociņu skaitu (Pukkala et al., 1993).

Konstatēts, ka arī lānā, tāpat kā mētrājā, četrus gadus pēc cirtes sakarības starp dabiski atjaunojušos priežu skaitu vai H_{2000} un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir vājas un nebūtiskas (3.1. tab.). Savukārt desmit gadus pēc cirtes atjaunojušos priežu H_{2000} vidēji cieši negatīvi korelē ($r = -0,64$) ar iepriekšējās audzes koku skaitu un sakarība ir būtiska ($p = 0,000$). Ar šķērslaukumu sakarība, lai gan ir būtiska ($p = 0,001$), tomēr ir vājāka ($r = -0,40$). Atjaunojušos priežu skaits pozitīvi korelē ar iepriekšējās audzes šķērslaukumu, un, lai gan sakarība ir būtiska ($p = 0,046$), tomēr vāja ($r = 0,24$). Nav konstatēta sakarība starp atjaunojušos priežu skaitu un iepriekšējās audzes koku skaitu.

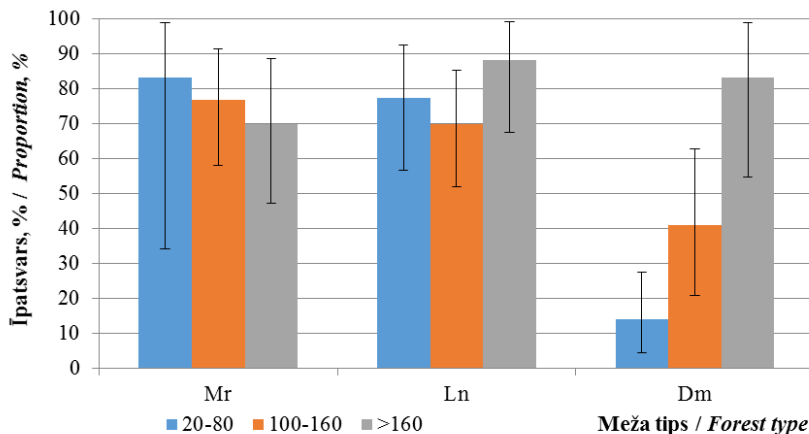
Damaksnī četrus gadus pēc cirtes sakarības starp atjaunojušos priežu skaitu un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir vājas un nebūtiskas. Savukārt sakarība starp H_{2000} un iepriekšējās audzes koku skaitu ir negatīva, vāja ($r = -0,25$) un būtiska ($p = 0,034$). Sakarība starp H_{2000} un iepriekšējās audzes šķērslaukumu arī ir negatīva, tomēr nav būtiska ($p = 0,098$). Damaksnī desmit gadus pēc cirtes sakarības starp atjaunojušos priežu skaitu un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir vidēji ciešas ($r = 0,57$), pozitīvas un būtiskas ($p = 0,000$), bet ar H_{2000} – negatīvas, tomēr nebūtiskas ($p > 0,05$).

Sakarību statistiskie rādītāji starp dabiski atjaunojušos priežu skaitu (N) un piecu augstāko kociņu augstumu uzskaites laukumā jeb 2000 kociņu uz ha (H_{2000}) un palikušās audzes koku skaitu (N_p) un šķērslaukumu (G_p) četrus un desmit gadus pēc cirtes Mr, Ln un Dm

Statistical indicators of equitation's between naturally regenerated pine number (N) and the five highest tree height per regeneration sampling plot or 2000 trees per ha (H_{2000}) and the remaining stand tree number (N_p) and basal area (G_p) four and ten years after felling in Vacciniosa (Mr), Myrtillosa (Ln) and Hylocomiosa (Dm) forest types

Meža tips/ Forest type	Statist. rādītāji / Statistics	N_p				G_p			
		Pēc 4 gadiem / After 4 years		Pēc 10 gadiem / After 10 years		Pēc 4 gadiem / After 4 years		Pēc 10 gadiem / After 10 years	
		N	H_{2000}	N	H_{2000}	N	H_{2000}	N	H_{2000}
Mr	r	0.0053	-0.0004	-0.0337	-0.0118	-0.0553	-0.1422	0.0040	-0.0942
	R^2	0.0000	0.0000	0.0011	0.0001	0.0031	0.0202	0.0000	0.0089
	p	0.952	0.996	0.812	0.935	0.530	0.125	0.978	0.515
Ln	r	0.0410	-0.1354	-0.0031	-0.6379	-0.0248	-0.0384	0.2414	-0.3977
	R^2	0.0017	0.0183	0.0000	0.4070	0.0006	0.0015	0.0583	0.1582
	p	0.643	0.153	0.980	0.000	0.779	0.686	0.046	0.001
Dm	r	0.0769	-0.2503	0.5738	-0.2149	0.1803	-0.1966	0.5673	-0.1055
	R^2	0.0059	0.0626	0.3292	0.0462	0.0325	0.0386	0.3218	0.0111
	p	0.487	0.034	0.000	0.134	0.101	0.098	0.000	0.466

Mr 10 gadus pēc cirtes pie mazāka pirmā stāva biezuma konstatēti vairāk UL, kuros ir vismaz 2800 kociņi ha⁻¹ (3.1. att.). PL, kur audzes biezums ir vismaz 180 koki ha⁻¹, konstatēti 70% UL ar vismaz 2800 kociņiem ha⁻¹, bet pie koku skaita 20 – 80 koki ha⁻¹ – 83%. Ln UL īpatsvars, kur konstatēti vismaz 2800 kociņi uz ha svārstās no 70 – 88%. Savukārt Dm novērojama pretēja situācija kā Mr – ja 1. stāva koku skaits ir 20 – 80 koki uz ha, novērojami tikai 14% UL, kur ir vismaz 2800 kociņu uz ha, bet, ja 1. stāva koku skaits lielāks par 160 kociem uz ha, “pilno” UL skaits ir 88%.



3.1. att. Uzskaites laukumu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls), kuros uzskaitīti vismaz 2800 kociņi ha⁻¹ 10 gadus pēc cirtes pirmā paņēmiņa Mr, Ln un Dm atkarībā no 1. stāva biezuma (■20-80 koki ha⁻¹; ■100-160 koki ha⁻¹; utt.).

*Fig. 3.1. Proportion of regeneration sampling plots (\pm 95% confidence interval), where was counted at least 2800 trees ha⁻¹ 10 years after the first stage of felling in *Vacciniosa* (Mr), *Myrtillosa* (Ln) and *Hylocomiosa* (Dm) forest types in relation with the shelterwood tree number (■20-80 trees ha⁻¹; ■100-160 trees ha⁻¹; etc.).*

Kopumā var secināt, ka sakarības starp atjaunojušos priežu H₂₀₀₀ un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir negatīvas, un šī tendence kļūst izteiktāka, palielinoties laikam pēc pirmā cirtes paņēmiņa, kā arī auglīgākos meža tipos (Ln, Dm). Ln un Dm šī tendence ir izteiktāka, jo kociņi pie vienāda pēccirtes vecuma ir augstāki nekā Mr.

Dm sakarības starp atjaunojušos priežu skaitu un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir pozitīvas, turklāt tendence kļūst izteiktāka, palielinoties laikam pēc pirmā cirtes paņēmiņa. Arī UL īpatsvars, kuros novērojami vismaz 2800 kociņi uz ha ir lielāks biežākās vietās. Savukārt sakarības ar H₂₀₀₀ ir negatīvas. Līdz ar to var secināt, ka skrajākās vietās ir mazākas iespējas kociņiem izdzīvot konkurējošā aizzēluma dēļ, tomēr, ja tie izdzīvo, tad sasniedz lielāku augstumu nekā biežākās vietās. Iepriekšminētie rezultāti saskan ar Zviedrijā veiktiem pētījumiem auglīgās augsnēs, kur konstatēts, ka lielāks atjaunojušos kociņu skaits četrus gadus pēc cirtes ir audzē, kur atstāti vairāk koki

uz ha. Sakarība skaidrota ar lielāku nobirušo sēklu daudzumu, lēnāku graudzāļu invāziju, no tā izrietošu vēl joprojām notiekošu jauno kociņu parādīšanos un zemo mirstību (Beland et al., 2000). Līdz ar to auglīgās augsnēs ieteikts atstāt 200 kokus uz ha (Beland et al., 2000). Lai samazinātu dzīvās zemsegas un pameža attīstību, veicot vienlaidus pakāpeniskās cirtes egļu vēri, I. Igaunis (1961) ieteicis retināt audzi vienmērīgi, izvairoties no lauču veidošanas. Tendenci, ka sakarības starp atjaunojušos priežu skaitu un iepriekšējās audzes koku skaitu vai šķērslaukumu ir pozitīvas, bet H_{2000} sakarības ar iepriekšējās audzes raksturojumu ir negatīvas, D_m un auglīgākajos L_n praksē jāizmanto, pēc pirmā cirtes paņēmiena atstājot lielāku koku skaitu vai šķērslaukumu uz ha, salīdzinot ar M_r , lai sākotnēji samazinātu aizzēluma negatīvo ietekmi. Otrās cirtes paņēmiens jāveic pēc iespējas ātrāk (pēc 3–7 gadiem), jo, lai gan kociņu skaits saglabājas lielāks biežākās vietās, tomēr tie ir ievērojami īsāki.

Jāatzīmē, ka lielākajā daļā analizēto objektu 9–12 gadus pēc cirtes joprojām nav veikts otrais cirtes paņēmiens. Daļā objektu nav veikta arī agrotehniskā kopšana. Divi objekti ir nocirsti kailcirtē, nesaglabājot paaugu, bet pēc cirtes mehānizēti sagatavojot augsni (pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes augsne netika sagatavota) un veicot priedes stādīšanu. Tikai vienā no objektiem ir veikts cirtes pēdējais paņēmiens. Tas varētu nozīmēt, ka pēc cirtes pirmā paņēmiena daļā gadījumu netiek veikta mērķtiecīga audžu apsaimniekošana. Tas ir – netiek sagatavota augsne, netiek veikta agrotehniskā kopšana, kā arī savlaicīgi netiek retināta vai novākta iepriekšējā audze, lai veicinātu atjaunojušos kociņu augšanu. Ja šīs darbības būtu veiktas, iespējams, ka dabiskās atjaunošanās sekmīgums būtu lielāks – būtu vairāk atjaunojušos kociņu (piemēram, sagatavojot augsni) un tie būtu garāki (veicot savlaicīgu audzes retināšanu).

3.2. Dabiskā atjaunošanās pēc vienlaidus un grupu pakāpeniskās cirtes mētrājā atkarībā no gaismas režīma

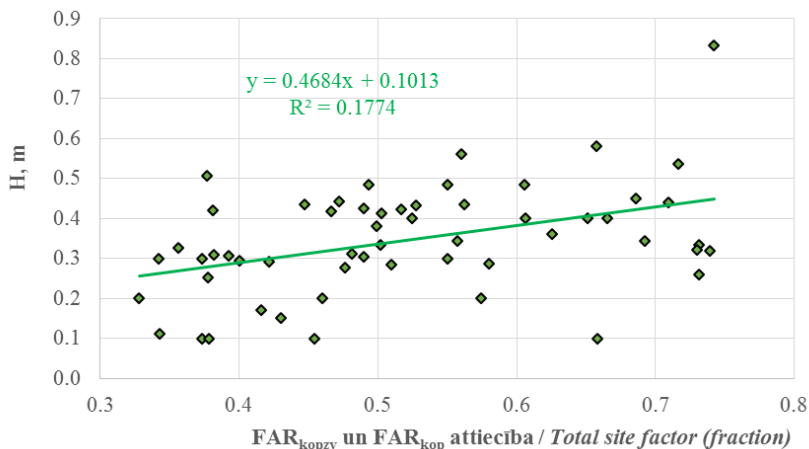
Vienkāršās priežu audzes mētrājā, kurās veikta vienlaidus pakāpeniskā cirte, var konstatēt, ka labākos gaismas režīma apstākļos (FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecība ir amplitūdā no 0,39 līdz 0,59) ir lielāks kociņu skaits uz ha gan četrus gadus, gan deviņus gadus pēc cirtes, tomēr sakarības ir vājas un nebūtiskas ($r = 0,050$; $p = 0,866$ un $r = 0,125$; $p = 0,669$). Arī kociņu augstumu sakarība ar FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecību ir vāja un nebūtiska ($r = -0,020$; $p = 0,945$ un $r = 0,248$; $p = 0,393$).

Izvērtējot gaismas režīmu priežu audzē M_r , kurā veikta grupu pakāpeniskā cirte, var konstatēt, ka labākos gaismas režīma apstākļos (FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecība ir amplitūdā no 0,32 līdz 0,74) ir mazāks kociņu skaits uz ha gan divus gadus, gan piecus gadus pēc cirtes. Divus gadus pēc cirtes šī sakarība ir vāja, tomēr būtiska ($r = -0,277$; $p = 0,030$), bet piecus gadus pēc cirtes – vāja un nebūtiska ($r = -0,183$; $p = 0,158$).

Kociņu augstumam piecus gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena ir pozitīva, vāja un būtiska sakarība ($r = 0,421$; $p = 0,001$) ar FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecību (3.2. att.).

Lai gan var secināt, ka vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs ir lielāks priedes kociņu augstums pie lielākām FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecības vērtībām, tomēr šī sakarība apskatītajā FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecības diapazonā no 0,29 līdz 0,59 ir vāja un nebūtiska. Iespējams, ka apskatītais diapazons ir pārāk šaurs un, ja pievienotu datus par plašāku diapazonu, piemēram, datus par skrajākām vietām ar lielāku FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecību, sakarības kļūtu ciešākas. Tomēr arī citos pētījumos ir konstatēts, ka

mazauglīgās augsnēs noteicošais faktors ir nevis gaismas režīms, bet gan attālums līdz tuvākajam pieaugušajam kokam, kas izpaužas kā konkurence pēc minerālvielām un mitruma (Strand et al., 2006). Savukārt veicot grupu pakāpenisko cirti mežaudzēs uz mazauglīgām augsnēm, kuras rezultātā attālums līdz tuvākajam kokam ir lielāks nekā vienlaidus pakāpeniskās cirtes gadījumā un vienlaikus gaismas režīms kociņu augšanai ir labāks, kociņu augstuma sakarība ar FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecību ir, lai gan vāja, tomēr būtiska. Uz tendenci, ka pie labākiem gaismas režīma apstākļiem tiek veicināta priedes atjaunojušos kociņu augšana, norāda daudzi autori (Pukkala et al., 1993; Valkonen et al., 2002; Jakobsson, 2005; Strand et al., 2006; Siipilehto, 2006; Суха, 1957).



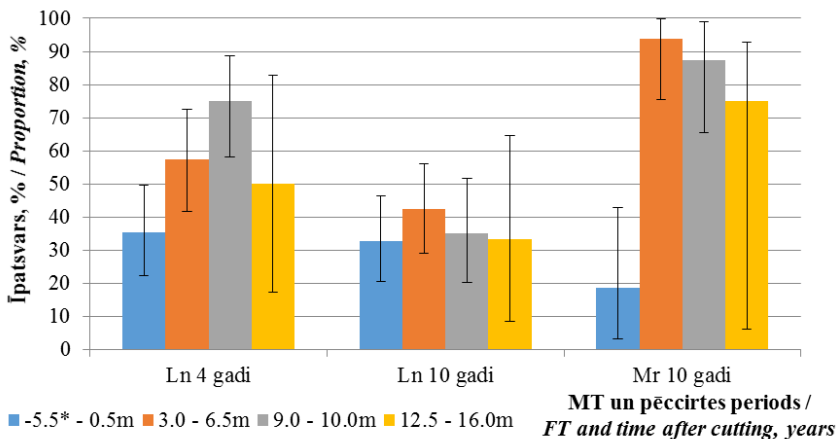
3.2. att. Priedes kociņu augstums M_r atkarībā no FAR_{kopzv} un FAR_{kop} attiecības piecus gadus pēc grupu pakāpeniskās cirtes Mežole-42.

Fig. 3.2. Pine tree height in *Vacciniosa* in relation with the total site factor five years after a group shelterwood cutting in the test site Mežole-42.

3.3. Dabiskā atjaunošanās grupu pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no attāluma līdz atvēruma malai

Kociņu skaits

Lānā četrus gadus pēc grupu pakāpeniskās cirtes mazākais UL īpatsvars (35%), kuros konstatēti vismaz 2800 kociņi ha^{-1} , ir zonā -5,5 – 0,5 m no atvēruma malas (negatīvs skaitlis nozīmē, ka UL ir saglabātajā audzes daļā) (3.3. att.). Visbiežāk (75% UL) vismaz 2800 kociņi ha^{-1} (pilnie UL) konstatēti 9,0 – 10,0 m attālumā no atvēruma malas. 12,5 – 16,0 m attālumā konstatēti 50% pilno UL. Desmit gadus pēc cirtes lielākais (42%) pilno UL īpatsvars konstatēts 3,0 – 6,5 m attālumā no atvēruma malas. Citos attālumos no atvēruma malas konstatēts savstarpēji līdzīgs pilno UL īpatsvars – 33 – 35%. Jāatzīmē, ka Ln desmit gadus pēc kopšanas vērojama pilno UL īpatsvaru izlīdzināšanās, kas būtu skaidrojams, gan ar bērzu un zemsedzes (avenes, ciskas) konkurenci.



3.3. att. Uzskaites laukumu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls), kuros uzskaitīti vismaz 2800 kociņi ha^{-1} , četrus gadus un desmit gadus pēc cirtes pirmā paņēmiena Mr un Ln atkarībā no attāluma līdz atvēruma malai (*– negatīvs attālums no atvēruma malas apzīmē to, ka uzskaites laukums atrodas necirstajā audzes daļā).
 Fig. 3.3. Proportion of the regeneration sampling plots ($\pm 95\%$ confidence interval), where was counted at least 2800 trees ha^{-1} and 10 years after the first stage of felling in Vacciniosa (Mr) and Myrtillosa (Ln) forest types (FT) in relation with distance to the gap edge (*– negative distance from the edge of the gap means that regeneration sampling plot was in uncut stand part).

Mr desmit gadus pēc cirtes tikai 19% UL, kas atrodas -5,5 – 0,5 m no atvēruma malas, konstatēti vismaz 2800 kociņi ha^{-1} . Sākot no attāluma gradācijas klases 3,0 – 6,5 m no atvēruma malas, pilno UL īpatsvars vismaz divas reizes lielāks nekā attiecīgajās gradācijas klasēs Ln. Lielākais (94%) pilno UL īpatsvars, tāpat kā Ln, konstatēts 3,0 – 6,5 m attālumā no atvēruma malas.

Nosacīti pilnie UL (400 kociņi ha^{-1}) Ln četrus gadus pēc cirtes uzskaitīti 60 – 97% gadījumu. Lielākais nosacīti pilno UL īpatsvars konstatēts 9,0 – 10,0 m attālumā no atvēruma malas, bet mazākais – intervālā no 12,5 – 16,0 m attālumam. Savukārt desmit gadus pēc cirtes vismaz 400 kociņi konstatēti 32 – 62% UL.

Mr, sākot no 3,0 m no atvēruma malas, visos UL novēroti 400 kociņi ha^{-1} , bet -5,5 – 0,5 m attālumā no atvēruma malas – tādu ir 69%.

Kociņu augstums

Kociņu H_{2000} Ln četrus gadus pēc cirtes 9,0 – 10,0 m no atvēruma malas ir būtiski ($p < 0,05$) lielāks nekā tuvāk atvēruma malai. 12,5 – 16,0 m attālumā no atvēruma malas kociņi ir tikpat augsti kā 9,0 – 10,0 m attālumā – 0,47 m. Taču lielās datu izkliedes un nelielā novērojumu apjoma dēļ būtiskas atšķirības nav konstatētas. Līdzīga situācija ir novērojama arī 10 gadus pēc pirmā cirtes paņēmiena – kociņu H_{2000} 9,0 – 10,0 m no atvēruma malas ir būtiski ($p < 0,05$) lielāks nekā tuvāk atvēruma malai, bet 12,5 – 16,0 m attālumā – atšķirība nav būtiska.

Mr desmit gadus pēc cirtes lielākais H_{2000} (0,95 m) novērots 9,0 – 10,0 m attālumā no atvēruma malas un tas ir būtiski ($p < 0,05$) lielāks nekā tuvāk atvēruma malai.

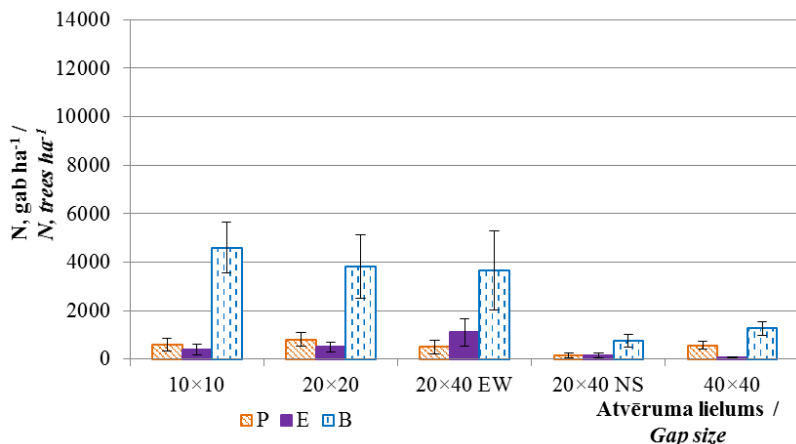
Apsaimniekošanas režīma ietekme

Lai salīdzinātu, vai ir kādas atšķirības kociņu skaitā un augstumā L_n pēc grupu pakāpeniskās cirtes dažādos apsaimniekošanas režīmos, atlasīti divi objekti. Analizējot datus konstatēts, ka pasākumu kopums – savlaicīga agrotehniskā kopšana, saglabātās audzes daļas izretināšana un egļu otrā stāva izciršana jau pirmajā cirtes paņēmienā un savlaicīgs otrais cirtes paņēmieni ir veids kā nodrošināt sekmīgu priedes dabisko atjaunošanos, cērtot grupu pakāpeniskās cirtes.

3.4. Dabiskā atjaunošanās grupu pakāpeniskajās cirtēs atkarībā no izcirstā atvēruma lieluma

Divus gadus pēc cirtes

Divus gadus pēc cirtes Kalsnavā vislabāk atjaunojies bērzs, turklāt, lielāks kociņu skaits (pārrēķinot uz ha) konstatēts mazākos atvērumos, lai gan būtiskas atšķirības kociņu skaitā nav novērotas (3.4. att.). Atjaunojušos priežu un egļu skaits ir neliels un būtiski neatšķirās starp dažādiem atvērumu veidiem. Tika uzskaitītas $150 \pm 105 \text{ ha}^{-1}$ priedes $20 \times 40 \text{ ZD}$ atvērumos līdz $800 \pm 283 \text{ ha}^{-1}$ priedes $20 \times 20 \text{ m}$ atvērumos.

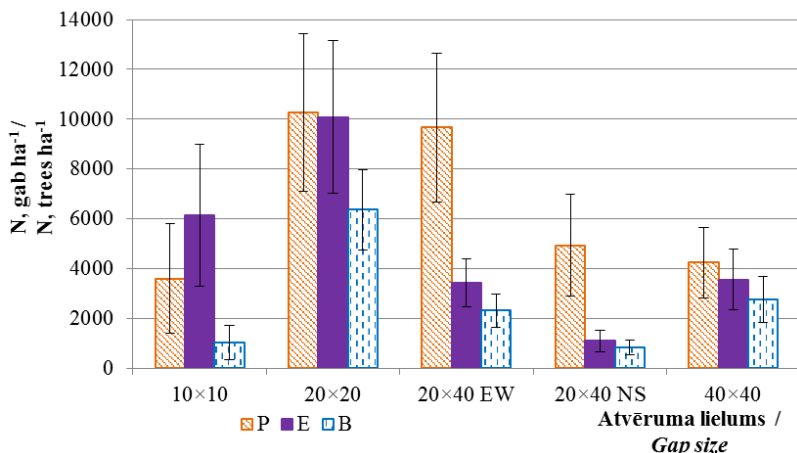


3.4. att. Dabiski atjaunojušos kociņu skaits (\pm standartklūda) pa sugām dažāda lieluma un konfigurācijas atvērumos Kalsnavas objektā divus gadus pēc cirtes.

Fig. 3.4. Pine (P), spruce (S) and birch (B) tree number (\pm standard error) in different size and configuration gaps in test site Kalsnava two years after felling.

Divus gadus pēc cirtes Mežolē-74 novērota pretēja situācija nekā Kalsnavai. Priedes un egles atjaunojušos kociņu skaits lielāks nekā atjaunojušos bērzu skaits un lielāks nekā Kalsnavā visos atvērumu veidos (3.5. att.). Priedes kociņu skaits svārstījās no $3600 \pm 2190 \text{ ha}^{-1}$ $10 \times 10 \text{ m}$ atvērumos līdz $10267 \pm 3159 \text{ ha}^{-1}$ $20 \times 20 \text{ m}$ atvērumos. Egles kociņu skaits svārstījās no $1100 \pm 430 \text{ ha}^{-1}$ $20 \times 40 \text{ ZD}$ atvērumos līdz $10089 \pm 3070 \text{ ha}^{-1}$ kociņiem $20 \times 20 \text{ m}$ atvērumos. Savukārt atjaunojušos bērzu skaits ievērojami neatšķirās no Kalsnavā konstatētā – no $833 \pm 309 \text{ ha}^{-1}$ $20 \times 40 \text{ ZD}$ atvērumos līdz $6356 \pm 1616 \text{ ha}^{-1}$

20×20 m atvērums. Atšķirības koku skaitā starp dažādiem atvēruma veidiem nav statistiski būtiskas nevienai no sugām.



3.5. att. **Dabiski atjaunojušos kociņu skaits (\pm standartkļūda) pa sugām dažāda lieluma un konfigurācijas atvērumos Mežole-74 objektā divus gadus pēc cirtes.**

Fig. 3.5. Pine (P), spruce (S) and birch (B) tree number (\pm standard error) in different size and configuration gaps in test site Mežole-74 two years after felling.

Novērotās kociņu skaita atšķirības starp objektiem visticamāk ir skaidrojamas ar aizzēluma intensitātes atšķirībām starp objektiem. Pirmajā gadā pēc cirtes atbilstoši B. Bambes novērojumiem (Donis, 2007) Kalsnavā lakstaugu un sīkrūmu stāva segums (7 līdz 77%) bija daudz lielāks nekā Mežolē (5 līdz 27%). Līdz ar to Mežole-74 objektā, iespējams, bija daudz labvēlīgāki sākotnējie apstākļi, lai rastos daudzskaitlīga dabiskā atjaunošanās.

Sešus gadus pēc cirtes

Kalsnavā sešus gadus pēc cirtes priežu skaits starp atvēruma lielumiem būtiski neatšķiras un svārstās no 193 ± 94 ha⁻¹ 40×40 m atvērumos līdz 1000 ± 258 ha⁻¹ 10×10 m atvērumos. Līdz ar to var uzskatīt, ka priedes atjaunošanās ir nesekmīga. Priedes kociņu vidējais augstums un caurmērs būtiski lielāks 40×40 m atvērumos, salīdzinot ar 10×10 m atvērumiem – attiecīgi $0,58 \pm 0,05$ m un $9,0 \pm 1,7$ mm pret $0,18 \pm 0,04$ m un $3,3 \pm 0,9$ mm. Turklāt arī 20×20 m atvērumos kociņu augstums ir būtiski mazāks nekā 40×40 m atvērumos.

Savukārt atjaunojušos egļu skaits ir palielinājies visos atvērumu lielumos. Lielākais uzskaitīto kociņu skaits konstatēts 10×10 m atvērumos 5000 ± 1227 ha⁻¹, bet mazākais, tāpat kā priedei un bērzam, 40×40 m atvērumos – 207 ± 78 ha⁻¹.

Bērzu skaits pa atvēruma veidiem praktiski nav mainījies un joprojām lielāks atjaunojušos bērzu skaits ir mazākos atvērumos – 5000 ± 1227 ha⁻¹ 10×10 m un 1900 ± 679 ha⁻¹ 20×40AR atvērumos, bet 40×40 m atvērumos 800 ± 232 ha⁻¹, tomēr atšķirības nav būtiskas.

Sešus gadus pēc izciršanas Mežolē-74 ievērojami samazinājies priežu skaits visos atvēruma veidos, kam par iemeslu varētu būt sniega skujbire 2011.–2012. gada ziemā (nav detāli uzmērīta). Atvērumos ar izmēru 10×10 m vairs nav nevienas priedes, bet lielākais kociņu skaits konstatēts 20×40AR atvērumos – 1133±417 ha⁻¹. Atvērumos ar izmēru 40×40 m konstatētais kociņu vidējais augstums un caurmērs ir būtiski lielāks nekā 20×20 m atvērumos – attiecīgi 0,40±0,05 m un 7,9±0,7 mm pret 0,20±0,04 m un 3,7±0,6 mm.

Egļu skaits konstatēts līdzīgs kā 2 gadus pēc cirtes, bet daļā atvērumu kļuvis lielāks. Uzskaitīti no 1950±625 ha⁻¹ kociņi 20×40ZD atvērumos līdz 16867±6576 ha⁻¹ 20×20 m atvērumos, tomēr būtiskas atšķirības nav konstatētas.

Konstatētās atšķirības kociņu skaitā starp atvērumiem vairumā gadījumos nav būtiskas, kas bieži vien ir izskaidrojams ar nelielo novērojumu skaitu gradācijas klasēs un ievērojamu atšķirību starp dabiskās atjaunošanās UL. Atšķirība kociņu skaitā starp objektiem un atšķirības objektu ietvaros, salīdzinot dažāda izmēra atvērumus, visticamāk ir izskaidrojama ar kociņu dīgšanai un augšanai piemērotā substrāta izvietojuma atšķirībām. Augsne nav mērķtiecīgi skarificēta, bet tikai koku ciršanas rezultātā uzirdināta – gāzot un pārvietojot kokus. Līdz ar to ir izveidojies nevienmērīgs piemērotā substrāta izvietojums. Mineralizētā augsnē ir 5 – 8 reizes vairāk sējeņu nekā vietās, kur augsnes gatavošana nav veikta (Калиниченко et al., 1991).

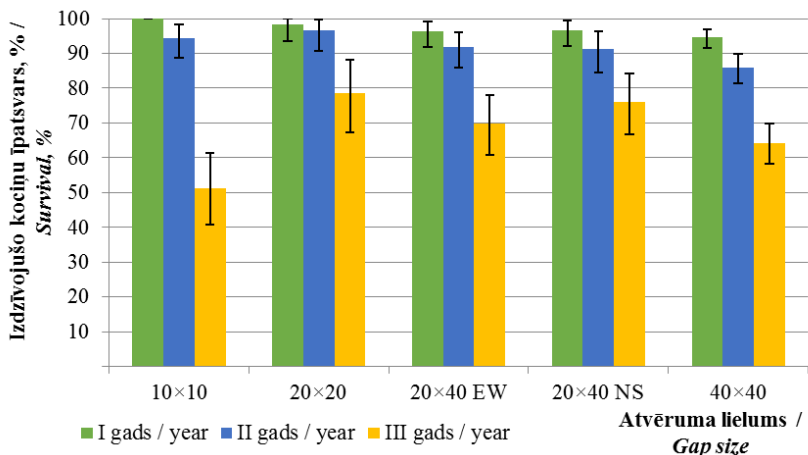
Abos objektos sešus gadus pēc cirtes kontroles daļās vienas sugas kociņu skaits nepārsniedz 91±47 ha⁻¹, līdz ar to var secināt, ka necirstajās daļās dabiskā atjaunošanās notikusi ļoti vāji un neatbilst normatīvajos aktos noteiktajam (Meža atjaunošanas..., 2012).

Kopumā var secināt, ka Dm dabiskā atjaunošanās ar priedi notiek salīdzinoši daudz sliktāk nekā ar egli. Salīdzinot situāciju divus gadus un sešus gadus pēc cirtes, gandrīz visos atvēruma lielumos atjaunojušos priedes kociņu daudzums samazinās, bet egles kociņu daudzums palielinās. Priedes kociņu skaits neatkarīgi no atvēruma lieluma 6 gadus pēc cirtes nepārsniedz 1133 ha⁻¹.

3.5. Stādījumu novērtējums grupu pakāpeniskajās cirtēs

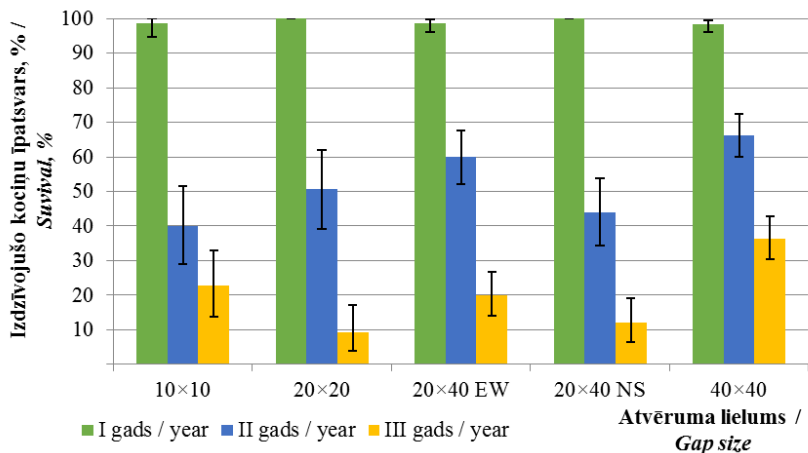
Kociņu izdzīvošana

Kalsnavas objektā pirmajā rudenī pēc iestādīšanas kopumā bija saglabājušies 96,3%, bet Mežole-74 objektā 98,9% iestādīto priežu. Otrajā rudenī pēc iestādīšanas saglabājušos kociņu īpatsvars pa objektiem jau ievērojami atšķirās – Kalsnavas objektā bija saglabājušies 90,0%, bet Mežole-74 objektā tikai 56,2% priedīšu. Trešajā rudenī pēc iestādīšanas Mežole-74 objektā bija saglabājušies tikai 23,7% kociņu, bet Kalsnavas objektā joprojām 66,4% iestādīto priedīšu. Lielāks izdzīvojušo kociņu īpatsvars Kalsnavas objektā konstatēts 20×20 m atvērumos – 78,7% un 20×40 ZD atvērumos (76,1%), bet mazāks – 10×10 m atvērumos (51,1%) un 40×40 m atvērumos (64,1%) (3.6. att.). Savukārt Mežole-74 objektā novērojama pilnīgi pretēja situācija – vairāk kociņu ir izdzīvojuši 40×40 m atvērumos (36,4%) un 10×10 m atvērumos 22,7%, bet mazāk 20×40 ZD atvērumos (12,0%) un 20×20 m atvērumos (9,3%) (3.7. att.).



3.6. att. Stādītas priedes izdzīvojušo kociņu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls) pirmajos trīs gados pēc iestādīšanas dažāda lieluma audzes atvērumos Kalsnavas objektā.

Fig. 3.6. *Planted pine survival ($\pm 95\%$ confidence interval) during 3 years after the planting in the gaps of different size in the test site Kalsnava.*

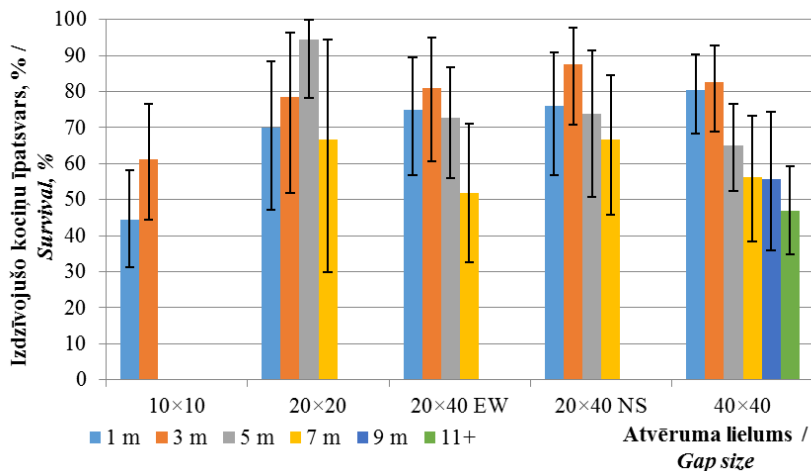


3.7. att. Stādītas priedes izdzīvojušo kociņu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls) pirmajos trīs gados pēc iestādīšanas dažāda lieluma audzes atvērumos Mežole-74 objektā.

Fig. 3.7. *Planted pine survival ($\pm 95\%$ confidence interval) during 3 years after the planting in the gaps of different size in the test site Mežole-74.*

Kalsnavā viena atvēruma lieluma ietvaros lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars (vidēji 77,0%) ir 3 metru attālumā no atvēruma malas (3.8. att.). 20×20 m atvērumā lielāks izdzīvojušo kociņu īpatsvars ir 5 m attālumā no audzes atvēruma malas – 94,4%.

Tuvāk un tālāk par 3 m no atvēruma malas izdzīvojušo kociņu īpatsvars ir mazāks. Atvērumos ar izmēru 20×20 m un 20×40 m mazākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars ir 7 m no malas, bet 40×40 m atvērumos 11 m attālumā no audzes atvēruma malas. 10×10 m atvērumos 1 m attālumā no malas novērots mazākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars starp visiem novērojumiem – 44,1%.



3.8. att. Stādītas priedes izdzīvojušo kociņu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls) trīs gadus pēc iestādīšanas atkarībā no audzes atvēruma lieluma un attāluma līdz audzes atvēruma malai Kalsnavas objektā.

Fig. 3.8. Planted pine survival ($\pm 95\%$ confidence interval) at the end of the third growing season after planting at different distances from the gap edges in gaps of different size in the test site Kalsnava.

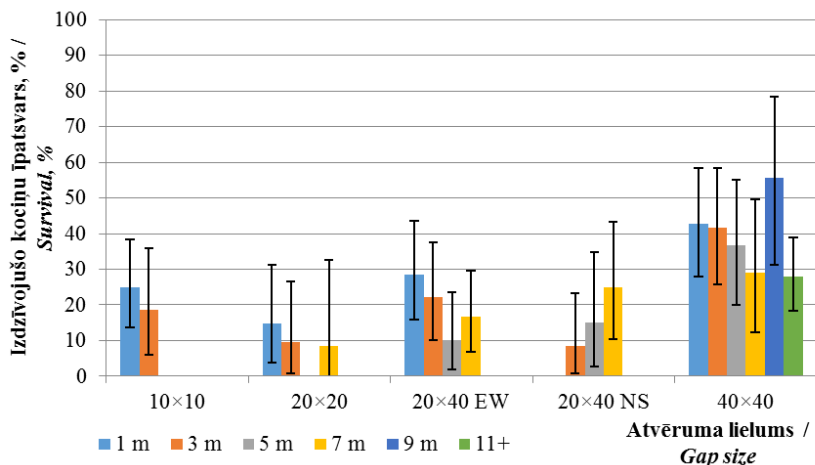
Mežole-74 objektā lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars konstatēts 1 m attālumā no audzes atvēruma malas – vidēji 24,6% (3.9. att.). Tomēr 10×40 ZD atvērumā šajā attālumā nav konstatēts neviens izdzīvojušais kociņš, bet lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars konstatēts tieši vistālāk no atvēruma malas – 7 m attālumā (25,0%). Atvērumos ar izmēru 40×40 m lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars konstatēts 9 m attālumā no audzes atvēruma malas (55,6%). Vidēji mazākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars konstatēts 5 m attālumā no audzes atvēruma malas – 17,9%.

Kalsnavā novērojama tendence - jo lielāks ir atvēruma lielums, jo lielāks ir izdzīvojušo kociņu īpatsvars 1 m un 3 m attālumā no audzes atvēruma malas. Savukārt 5 m un 7 m attālumā no atvēruma malas šāda tendence nav novērojama un lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars ir 20×20 m atvērumos.

Mežolē, neatkarīgi no attāluma līdz audzes atvēruma malai, lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars ir 40×40 m atvērumos. 5 m un 7 m attālumā no audzes atvēruma malas pie lielāka audzes atvēruma ir arī lielāks izdzīvojušo kociņu īpatsvars.

Lielākā daļa (75,3%) no trešā gada beigās izdzīvojušajiem kociņiem Kalsnavas objektā konstatēti kā trīs gadu laikā bojāti. Lielākā daļa (71%) no bojātajiem kociņiem konstatēti kā sniegliekti. Mežole-74 objektā kā bojāti konstatēti 56,3% kociņu. Tāpat kā

Kalsnavas objektā lielākā daļa (39%) bojāto kociņu ir sniegliekti. Lielais sniegliekto kociņu īpatsvars iespējams izskaidrojams ar to, ka kociņi nepietiekoša gaismas režīma apstākļos ir izstādējuši un tos ir vieglāk noliekt.



3.9. att. Stādītas priedes izdzīvojušo kociņu īpatsvars (\pm īpatsvara reprezentācijas intervāls) trīs gadus pēc iestādīšanas atkarībā no audzes atvēruma lieluma un attāluma līdz audzes atvēruma malai Mežole-74 objektā.

Fig. 3.9. *Planted pine survival ($\pm 95\%$ confidence interval) at the end of the third growing season after planting at different distances from the gap edges in gaps of different size in the test site Mežole-74.*

Ņemot vērā visas iepriekšminētās atšķirības starp objektiem, gan pēc kopējā izdzīvojušo kociņu īpatsvara, gan pēc tā, kā tie ir izdzīvojuši dažādos atvēruma veidos un attālumos no audzes atvēruma malas, atbilstoši iegūtajiem datiem nevar runāt par kaut kādām kopējām likumsakarībām priedes kociņu izdzīvošanā dažāda lieluma atvērumos. Vienīgā kopējā iezīme - lielākais izdzīvojušo kociņu īpatsvars 1 m un 3 m attālumā no audzes atvēruma malas ir 40×40 m atvērumos, kas varētu būt skaidrojams ar labākiem gaismas režīma apstākļiem, salīdzinot ar mazākiem atvērumiem. Atšķirība starp objektiem varētu būt skaidrojama, gan ar būtiski atšķirīgu sākotnējo kociņu augstumu, gan ar objektu īpatnībām, piemēram, labākiem gaismas režīma apstākļiem Kalsnavas objektā. Tas, iespējams, ir izskaidrojams arī ar atšķirīgo iepriekšējās audzes sastāvu (8P2E un 6P2B2E) un vidējo augstumu, attiecīgi 25,8 m un 29,5 m. Audzēs ar lielāku priedes īpatsvaru ir labāki gaismas režīma apstākļi (Sonohat et al., 2004; Zdors, Donis, 2011), kas varētu būt veicinājis labāku kociņu izdzīvošanu Kalsnavas objektā. Arī īsāki koki dod mazāku noēnojumu. Savukārt labāki gaismas režīma apstākļi veicina arī aizzēluma augšanu, kas varētu izskaidrot, kāpēc Kalsnavā lielākos atvērumos ir mazāk izdzīvojušo kociņu tālāk par 3 m no atvēruma malas. B. Bамbe (Donis, 2008), veicot zemesdzes augu monitoringu šajos objektos, konstatējusi, ka otrajā veģetācijas sezonā pēc cirtes Kalsnavas objektā ir ievērojami lielāks zemesdzes sugu skaits, salīdzinot ar Mežole-74 objektu. Piemēram, Kalsnavā 40×40 m atvērumos vidējais zemesdzes sugu

skaits ir 48, bet Mežole-74 objektā tikai 24. Tas var norādīt uz labākiem apstākļiem aizzēluma augšanai Kalsnavā.

Atšķirības starp objektiem varētu būt skaidrojamas arī ar atšķirīgo stādīšanas laiku (2009. gadā un 2011. gadā) un līdz ar to dažādiem meteoroloģiskajiem apstākļiem, kā arī ar atšķirīgo stādīšanas laiku pēc atvērums izveidošanas – trešā veģetācijas sezona pēc cirtes Mežole-74, salīdzinot ar piekto veģetācijas sezonu pēc cirtes Kalsnavā. Palielinoties laikam pēc ciršanas, palielinās arī konkurējošās veģetācijas izplatība izcirtumos (Nilsson, Örlander, 1999; Marozas, Sasnauskiene, 2012). Tas arī varētu izskaidrot, kāpēc Kalsnavā lielākos atvērumos ir mazāk izdzīvojušo kociņu tālāk par 3 m no atvērums malas. Ņemot vērā, ka Kalsnavas objektā nav konstatēta skujbire, bet Mežole-74 ir, tad iespējams, ka arī sniega skujbires rezultātā bojāgājušie kociņi izskaidro atšķirības izdzīvojušo kociņu īpatsvarā starp objektiem.

Jāatzīmē, ka šajos pašos objektos ir stādītas arī egles, un izdzīvojušo egļu īpatsvars četrās veģetācijas sezonas pēc iestādīšanas ir attiecīgi 90,4% kociņu Kalsnavā un 84,4% kociņu Mežole-74 (Zdors, Donis, 2012). Tas norāda, ka egli var izmantot kā alternatīvu (damaksnī), ja neizdodas ieaudzēt priedi.

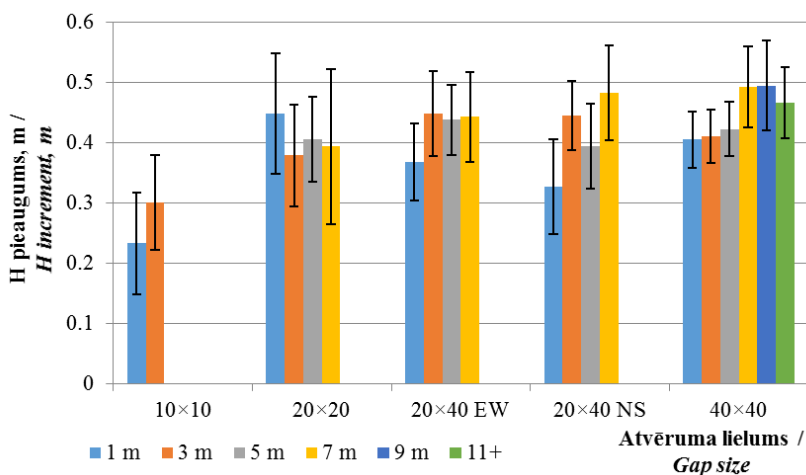
Kociņu augšana

Pārbaudot būtiski ietekmējošos faktorus, konstatēts, ka kociņu sākotnējais augstums un attālums līdz atvērums malai būtiski ($p > 0,05$) neietekmē kociņu trīs gadu augstuma pieaugumu un caurmēru pie sakņu kakla. Tomēr kociņu augstuma pieaugumu būtiski ($p < 0,05$) ir ietekmējis audzes atvērums lielums.

Ir novērojama tendence, ka gandrīz visos atvērums veidos trīs gadu augstuma pieaugums ir mazāks kociņiem 1 m attālumā no atvērums malas (3.10. att.), tomēr atšķirības ar kociņiem, kas atrodas lielākā attālumā no atvērums malas, nav būtiskas ($p > 0,05$). Līdzīgas tendences ir novērojamas arī saistībā ar kociņu caurmēru pie sakņu kakla (3.11. att.).

Arī citos atvērums atšķirības starp gradācijas klasēm nav būtiskas, lai gan ir novērojama tendence, ka tālāk no atvērums malas ir lielāki 3 gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla. Piemēram, 40×40 m atvērums kociņu trīs gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla ir lielākie 9 m no atvērums malas, attiecīgi 0,49±0,08 m un 8,9±1,3 mm, bet 11 m attālumā (gradācijas klase ietver arī līdz 19 m no atvērums malas atrodošos kociņus) tie ir nebūtiski mazāki, attiecīgi 0,47±0,06 m un 8,6±1,1 mm. Tam par iemeslu visticamāk ir aizzēlums, kas labākos gaismas režīma apstākļos palielinās. Jau otrajā veģetācijas sezonā pēc atvērums izciršanas (divus gadus pirms stādīšanas) 40×40 m gar atvērums malu izvietotajos kvadrātos meža avenes aizņēma vidēji 13% no kvadrāta platības ar vidējo augstumu 0,9 m, bet atvērums vidū izvietotajos kvadrātos attiecīgi 19% un 1,0 m. Savukārt niedru cīesas gar atvērums malu izvietotajos kvadrātos aizņēma 17% ar vidējo augstumu 1,6 m, bet vidus kvadrātos attiecīgi 30% un 1,6 m. Arī citos pētījumos, kur aizzēlums nav kontrolēts, novērota līdzīga tendence – lielākos atvērums, tālāk no atvērums malas, kociņu augšanu ietekmē arī aizzēlums konkurence, kas samazina gaismas režīma uzlabošanās pozitīvo efektu (Kern et al., 2012). Lai gan šajā pētījumā agrotehniskā kopšana ir veikta reizi gadā, parasti jūlijā, acīmredzot tas nav bijis pietiekami, lai samazinātu aizzēlums negatīvo ietekmi (it sevišķi 40×40 m atvērums). Jāatzīmē, ka vienā no veģetācijas sezonām daļā objekta kopšana bija veikta jūnija beigās, bet atlikušajā daļā – vairākas nedēļas vēlāk.

Rudenī apsekojot kociņus, vizuāli likās, ka objekta daļā, kur veikta kopšana jūnija beigās, kociņu augšana vasarā ir maz ietekmēta, tomēr rudenī būtu jāveic vēl viena kopšana, lai novāktu atkal saugušo aizzēlumu, kas atkal jau sāk nomākt kociņus. Bet, objekta daļā, kur kopšana bija veikta vēlāk un aizzēlums otrreiz nebūtu jānovāc, kociņi izskatījās sliktāk auguši (detalizēti nav aprakstīti), jo aktīvākajā augšanas brīdī tie bija nomākti. Līdz ar to radies subjektīvs iespaids, ka kopšana 40×40 m atvērumos auglīgākos Ln vai Dm meža tipos veicama divreiz gadā, lai novērstu aizzēluma konkurējošo ietekmi, lai gan parasti tiek uzsvērts, ka, pēc pakāpeniskās ciršanas ir samazināta konkurējošo graudzāļu attīstība, salīdzinot ar kailcirti (von Sydow, Örländer, 1994; Beland et al., 2000; Karlsson, 2001; Набатов, 1980; Мелехов, 1989). Tas attiecināms uz gadījumiem, kad stādīšana netiek veikta uzreiz pirmajos gados pēc ciršanas. Savukārt, ja stādīšana veikta pirmajos divos gados, tad kopšana būtu jāveic vismaz reizi gadā.

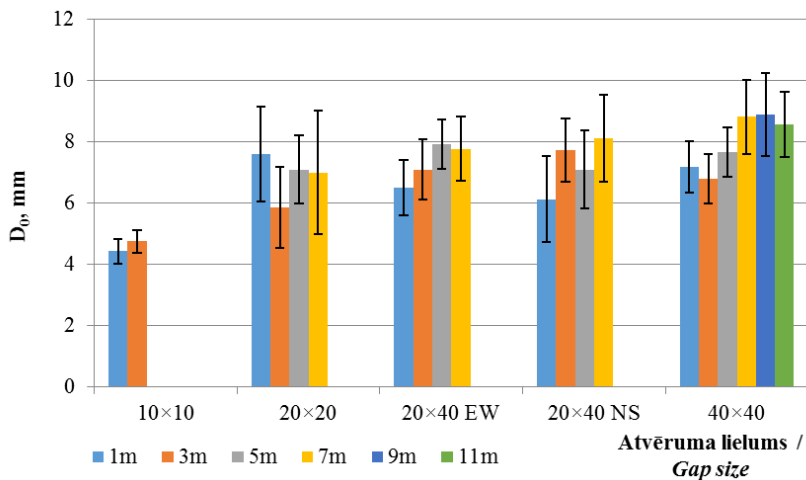


3.10. att. Stādītas priedes trīs gadu augstuma pieaugums (\pm robežklūda ar 95 % varbūtību) atkarībā no audzes atvēruma lieluma un attāluma līdz audzes atvēruma malai Kalsnavas objektā.

Fig. 3.10. Planted pine height increment during 3 growing seasons (\pm 95% confidence interval) at different distances from the gap edges in the gaps of different size in the test site Kalsnava.

Pētot stādītu egļu augšanu šajos pašos objektos, konstatēts, ka malas ietekme izpaužas līdz pat 8 m no atvērumu malas (Zdors, Donis, 2012). Malas ietekme uz priedes augšanu varētu būt līdzīga, jo, kā jau minēts, 40×40 m atvērumos trīs gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla ir lielākie 9 m no atvēruma malas. Pētījumos par dabisko atjaunošanos dažādu konfigurāciju audzes atvērumos priežu audzēs mētrājā J. Donis (2007) konstatējis, ka tuvāk par 5 m no audzes malas priedītes ir būtiski īsākas. Savukārt katrā nākamajā gradācijas klasē kociņu augstums ir lielāks, tomēr būtiski neatšķiras. Rezultātu atšķirības, iespējams, izskaidro tas, ka pētījums ir veikts desmit gadus pēc izciršanas. Turklāt pētījumā gradācijas klašu robežas ir daudz plašākas (5 un

10 m). Līdzīgus rezultātus ir ieguvis R. Jakobsons (Jacobsson, 2005) Zviedrijā, kurš konstatējis, ka līdz 5 m no vecās audzes malas jaunās audzes krāja ir tikai 10% no audzes krājas tālāk par 5 m no audzes malas. Pētījumos Somijā konstatēts, ka audzes malas ietekme iesniedzas līdz pat pusei no dominējošā audzes augstuma (Siipilehto, 2006). Savukārt pētījumos par atstātajiem iepriekšējās audzes kokiem izcirtumos, noskaidrots, ka katrs atstātais iepriekšējās audzes koks 10 metru rādiusā samazina priedes jauno kociņu augstuma pieaugumu par 9 – 17% (Valkonen, 2002). Saskaņā ar citiem datiem ietekme ir novērojama 6 metru rādiusā (Siipilehto, 2006). Zviedrijā veiktā pētījumā, kur salīdzināta stādītu priežu augšana kailcirtē un necirstā audzē ar 500 kokiem uz ha, konstatēts, ka četrus gadus pēc iestādīšanas, kociņu galotnes dzinuma augstuma pieaugums necirstajā audzē sasniedz ap 30% no kailcirtē iestādītajiem kociņiem, bet galotnes dzinuma masa ir tikai 3% no attiecīgā lieluma (Erefur et al., 2011). Līdz ar to secināts, ka kociņu augstuma pieaugums nav labākais rādītājs, ko izmantot, lai raksturotu kociņu augšanu, it sevišķi pēc pakāpeniskās cirtes (Erefur et al., 2011).



3.11. att. Stādītas priedes caurmērs (\pm robežklūda ar 95 % varbūtību) pie sakņu kakla (D_0) trīs gadus pēc iestādīšanas atkarībā no audzes atvēruma lieluma un attāluma līdz audzes atvēruma mala Kalsnavas objektā.

Fig. 3.11. Planted pine collar diameter (D_0) during 3 growing seasons (\pm 95% confidence interval) at different distances from the gap edges in the gaps of different size in the test site Kalsnava.

Analizējot, kā kociņi auguši pie konkrēta attāluma no atvēruma malas dažādos atvēruma veidos, konstatēts, ka 10×10 m atvērumos 1 m attālumā no audzes atvēruma malas ir mazākie trīs gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla, salīdzinot ar lielākiem atvērumiem. Turklāt atšķirības ar 20×40 AR un 40×40 m atvērumiem ir būtiskas ($p < 0,05$). Caurmēra atšķirības ir būtiskas ($p < 0,05$) arī ar 20×20 m atvērumiem. Atšķirības starp citām gradācijas klasēm nav būtiskas ($p > 0,05$).

Tāpat kā 1 m attālumā arī 3 m attālumā no audzes atvēruma malas mazākie trīs gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla ir 10×10 m atvērumos, un tikai ar 20×20 m atvērumiem atšķirības nav būtiskas.

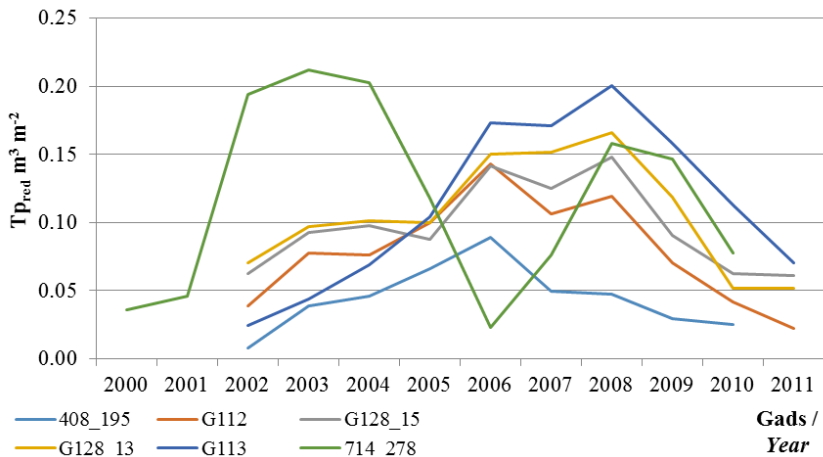
Septiņu metru attālumā no atvēruma malas lielākos atvērumos ir lielāki trīs gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla, tomēr atšķirības nav būtiskas ($p > 0,05$).

Kopumā var secināt 10×10 m atvērumos pie konkrēta attāluma no audzes atvēruma malas ir mazāki trīs gadu augstuma pieaugumi un caurmēri pie sakņu kakla, salīdzinot ar lielākiem atvērumiem, turklāt daļa no atšķirībām ir būtiskas. Turklāt izdzīvojušo kociņu īpatsvars šajos atvērumos Kalsnavas objektā ir mazākais starp visiem atvērumu veidiem, bet Mežole-74 objektā mazāks nekā 40×40 m atvērumos un 20×40 AR atvērumos. Līdz ar to, veicot grupu pakāpeniskās cirtes, būtu ieteicams veidot lielākus atvērumus audzē nekā 10×10 m. Ž. Sūna (1973) rekomendējis sākotnēji izcirst atvērumus, kuru diametrs būtu līdzīgs koku augstumam (aptuveni 25 m). Savukārt A. Zviedris (1949) ieteicis 30×30 m atvērumus. Zviedrijā veiktā pētījumā ieteikts veidot 20–40×30–60 m atvērumus (Erefur et al., 2011). Lielbritānijā, lai sasniegtu apmierinošu priedes kociņu augšanu, ieteikts veidot atvērumus ne mazākus kā 0,2 ha, vai ar diametru, kurš būtu līdzīgs divu koku augstumam (Malcolm et al., 2001). Ziemeļamerikas mērenās joslas ziemeļu daļas mežos (Coates, 2000) konstatēts, ka audzes atvērumam nav jābūt ļoti lielam (0,1–0,2 ha), lai kociņu attīstības gaita būtu līdzvērtīga tai, kāda tā ir kailcirtēs augošiem kociņiem. Plānojot atvērumu lielumu, paredzot platības atjaunojot dabiski, nedrīkst aizmirst arī par priedes sēklu lidošanas attālumu. Lai gan priedes sēklu lidošanas attālumam ir līdz pat 250 m (Атрохин, Кузнецов, 1989), tomēr lielākā daļa sēklu nobirst līdz 30 m attālumam (Hesselman, 1938, citēts no Karlsson, 2000). E. Bākūzis un R. Markus (1969) konstatējuši, ka vislabāk priedes ir atjaunojušās 45 – 60 m platos izcirtumos.

4. Audzes paliekošās daļas atsaucis reakcijas dinamika

4.1. Palikušo koku atsaucis reakcija pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes

Visās aplūkotajās audzēs Mr jau pirmajā gadā pēc cirtes konstatēts pozitīvs T_{pred} (4.1. att.) un K_{pred} . T_{pred} kulminē vidēji piecus līdz septiņus gadus pēc cirtes, turpmākajos gados pakāpeniski samazinoties. Vienā no audzēm (714_278) novērojams straujš T_{pred} kritums sestajā un septītajā gadā pēc cirtes, bet turpmākajos trīs gados atkal konstatējams T_{pred} pieaugums. Kritums attiecas uz 2005. un 2006. gadu, un var būt skaidrojams ar 2005. gada janvāra vētras ietekmi. Pārējās audzēs Mr šāds kritums nav novērojams, tomēr salīdzinājumā ar citām audzēm šī audze atrodas vistālāk uz rietumiem, kur novēroja lielākos 2005. gada vētras postījumus. Mazākais K_{pred} konstatēts 154 gadus vecā audzē (408_195), kas ir vecākā no Mr meža tipā aplūkotajām audzēm.

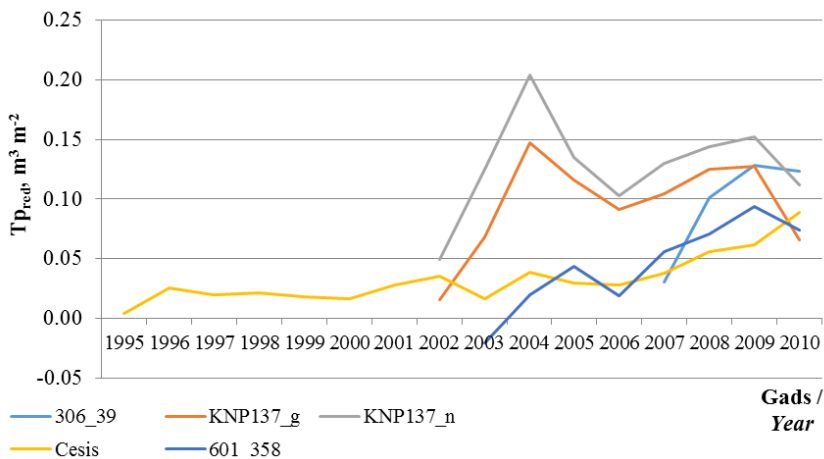


4.1. att. Krājas ikgadējā reducētā papildus pieauguma ($T_{p_{red}}$) dinamika pēc vienlaidus pakāpenisko ciršu izpildes pētījuma audzēs Mr.

Fig. 4.1. Annual additional reduced volume increment ($T_{p_{red}}$) dynamics after uniform shelterwood cutting in research stands in *Vacciniosa* forest type.

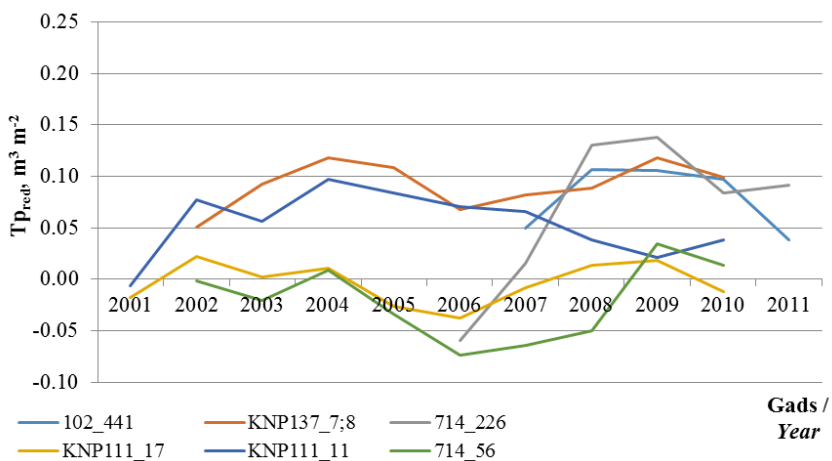
Ln četrās no piecām audzēm jau pirmajā gadā pēc cirtes ir pozitīvs $T_{p_{red}}$ (4.2. att.) un $K_{p_{red}}$, bet otrajā gadā visās audzēs iepriekšminētās vērtības ir pozitīvas. Lielākais $T_{p_{red}}$ trijās audzēs no piecām ir trīs gadus pēc cirtes, tomēr gan šajās trijās audzēs, gan pārējās divās audzēs ir novērojams $T_{p_{red}}$ kritums 2005. gadā un 2006. gadā, pēc kura atkal ir $T_{p_{red}}$ pieaugums. Kritums, iespējams, skaidrojams ar 2005. gada vētras ietekmi. Mazākās $K_{p_{red}}$ vērtības novērojamas visvecākajā audzē (163 gadi). Šī audze ir vecākā ne tikai Ln ietvaros, bet visa pētījuma ietvaros. Šai audzei (Cēsis) ir arī visgarākais pēccirtes periods (16 gadi), un ir novērojams, ka, sākot ar 13 gadu pēc cirtes, $T_{p_{red}}$ atkal sāk palielināties, sasniedzot lielākās vērtības 16 gadus pēc cirtes. Tam par iemeslu varētu būt nevis novēlota reakcija uz audzes izretināšanu, bet kādi citi neizpētīti blakus faktori, kas varētu parādīties vai pastiprināties, palielinoties laikam pēc cirtes un samazinoties audzes izretināšanas ietekmei. Jāatzīmē arī, ka aprēķinu metodes izstrādātāja I. Liepas (1996) norādītais pieļaujama vērtēšanas intervāls ir ne vairāk kā 20 gadi pēc ietekmes sākuma.

Dm tikai trijās no sešām audzēm pirmajā gadā pēc cirtes konstatēts pozitīvs $T_{p_{red}}$ (4.3. att.) un $K_{p_{red}}$. Viena no audzēm (714_226) ar negatīvu $T_{p_{red}}$ pirmajā gadā pēc cirtes ir audze, kas ir cirsta 2006. gadā. Šajā audzē, iespējams, nav nodalāma 2005. gada vētras ietekme no cirtes ietekmes pirmajā gadā pēc cirtes, jo turpmākajos gados šajā audzē ir pozitīvs $T_{p_{red}}$. Savukārt pārējās divās audzēs (714_56; KNP111_17) ar sākotnēji negatīvu $T_{p_{red}}$ arī turpmākajos gados $T_{p_{red}}$ vērtības svārstās ap 0, bet $K_{p_{red}}$ arī 9 gadus pēc cirtes ir negatīvs. Šīs divas audzes ir vecākās no Dm apskatītajām audzēm, attiecīgi 153 un 141 gadi. Visās audzēs Dm, kur cirte ir veikta pirms 2005. gada, novērojams $T_{p_{red}}$ kritums 2005. gadā un 2006. gadā. $T_{p_{red}}$ kulminācija ir vidēji trīs līdz četrus gadus pēc cirtes, tomēr ņemot vērā negatīvo 2005. gada ietekmi, $T_{p_{red}}$ kulminācija nav tik izteikta kā Mr.



4.2. att. Krājas ikgadējā reducētā papildus pieauguma ($T_{p_{red}}$) dinamika pēc vienlaidus pakāpenisko ciršu izpildes pētījuma audzēs Ln.

Fig. 4.2. Annual additional reduced volume increment ($T_{p_{red}}$) dynamics after uniform shelterwood cutting in research stands in *Myrtillosa* forest type.



4.3. att. Krājas ikgadējā reducētā papildus pieauguma ($T_{p_{red}}$) dinamika pēc vienlaidus pakāpenisko ciršu izpildes pētījuma audzēs Dm.

Fig. 4.3. Annual additional reduced volume increment ($T_{p_{red}}$) dynamics after uniform shelterwood cutting in research stands in *Hylocomiosa* forest type.

Veicot daudzfaktoru analīzi, konstatēts, ka $K_{p_{red}}$ piecus gadus pēc cirtes būtiski ($p < 0,05$) ietekmē audzes vecums un meža tips, bet būtiskas ietekmes nav ($p > 0,05$) Latvijas reģionam (rietumu, vidus, austrumu), objekta šķērslaukumam, izcirstā šķērslaukuma īpatsvaram un 2005. gada vētras ietekmēto gadu skaitam (ja 2005. gads

iekļāvās piecu vērtējamo gadu periodā). Salīdzinot $K_{p_{red}}$ savstarpēji meža tipu ietvaros, kā kovarianti izmantojot audzes vecumu, konstatēts, ka visu meža tipu $K_{p_{red}}$ savstarpēji atšķiras būtiski ($p < 0,05$). Mr piecus gadus pēc cirtes $K_{p_{red}}$ vidējā vērtība ir $0,47 \pm 0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ (\pm standartklūda), Ln $0,35 \pm 0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ un Dm $0,22 \pm 0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$. J. Donis (2007) konstatējis, ka meža tipam nav būtiskas ietekmes uz šķērslaukuma un krājas pieaugumu atsevišķam kokam pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes. Ja konkurence starp kokiem ir bijusi neliela pirms izretināšanas, tad izretināšanai var būt neliels efekts, jo koku augšana nav bijusi atkarīga no konkurences (Plauborg, 2004). J. Doņa (2007) pētījumos konstatēts, ka, vienlaidus pakāpenisko ciršu gadījumā, pieaugums ir būtiski atkarīgs arī no palikušās audzes I stāva šķērslaukuma.

Kopumā var konstatēt, ka papildus pieauguma kulminācija Mr ir piecus līdz septiņus gadus, bet Ln un Dm trīs līdz četrus gadus pēc cirtes. Jāatzīmē, ka visās audzēs Ln un Dm, kuru novērtējuma periodā ir 2005. gads, ir konstatēts $T_{p_{red}}$ kritums šajā gadā un neliels pieaugums turpmākajos gados. Mētrājā $T_{p_{red}}$ kritums 2005. gadā ir tikai vienā audzē. Iespējams, ka papildus pieauguma kulminācija būtu nevis trīs līdz četrus gadus pēc cirtes, bet līdzīgi kā Mr – dažus gadus vēlāk, ja nebūtu šī $T_{p_{red}}$ krituma Ln un Dm 2005. gadā. $T_{p_{red}}$ kritums 2005. gadā, iespējams, ir izskaidrojams ar 2005. gada janvāra vētras ietekmi, kuras rezultātā izretinātajās audzēs, ir izšūpotas un ir aprautas daļa no saknēm, kas savukārt ir ietekmējis koku augšanu. Uz to norāda arī statistika par izgāzto celmu īpatsvaru audzēs, kur šāda statistika ir pieejama. Šie celmi, iespējams, ir izgāzti tieši 2005. gada vētrā. Piemēram, Mr izgāzto celmu īpatsvars (0 – 3%) ir mazāks, salīdzinot ar Ln (6%) un Dm (2 – 9%) un $T_{p_{red}}$ kritums nav tik ievērojams. Tomēr, iespējams, ka kopumā 2005. gads ir bijis mazāk labvēlīgs koku augšanai, bet vētra šo tendenci ir tikai pastiprinājusi. Vienlaikus jānorāda, ka arī citos pētījumos ir konstatēts, ka auglīgākos meža tipos papildus pieauguma kulminācija pēc audzes izretināšanas ir agrāka nekā mazauglīgākos meža tipos (Jonsson, 1995).

4.2. Palikušo koku atsaucis reakcija grupu pakāpeniskajās cirtēs

Konstatēts, ka visās piecās audzēs, kur veikta grupu pakāpeniskā cirte, jau pirmajos gados pēc cirtes nenocirstās audzes daļas $T_{p_{red}}$ un $K_{p_{red}}$ ir pozitīvs.

Audzēs papildus pieaugums katrai audzei veidojas savādāk, tomēr var konstatēt, ka lielākais $T_{p_{red}}$ četrās no piecām audzēm ir četrus līdz sešus gadus pēc cirtes. Tomēr divām audzēm (AKM19; AKM77) vērtēšanas periods ir tikai seši gadi, tāpēc šī konstatētā sakarība jāuztver piesardzīgi, jo audzei (604) ar garāko vērtēšanas periodu (10 gadi), lielākais $T_{p_{red}}$ konstatēts pēdējā vērtēšanas gadā. Arī citos pētījumos ir konstatēts, ka pieauguma reakcijas kulminācija ir piecus līdz septiņus gadus pēc cirtes (Holgen et al., 2003). Citi autori izpētījuši, ka kulminācija ir 7–11 gadus (Jakobsson, 2005) un pat 15–20 gadus (Niemistö et al., 1993) pēc cirtes. Jāatzīmē, ka pēdējais no minētajiem autoriem pētījumā bija koncentrējies uz stumbra tilpuma pieaugumu.

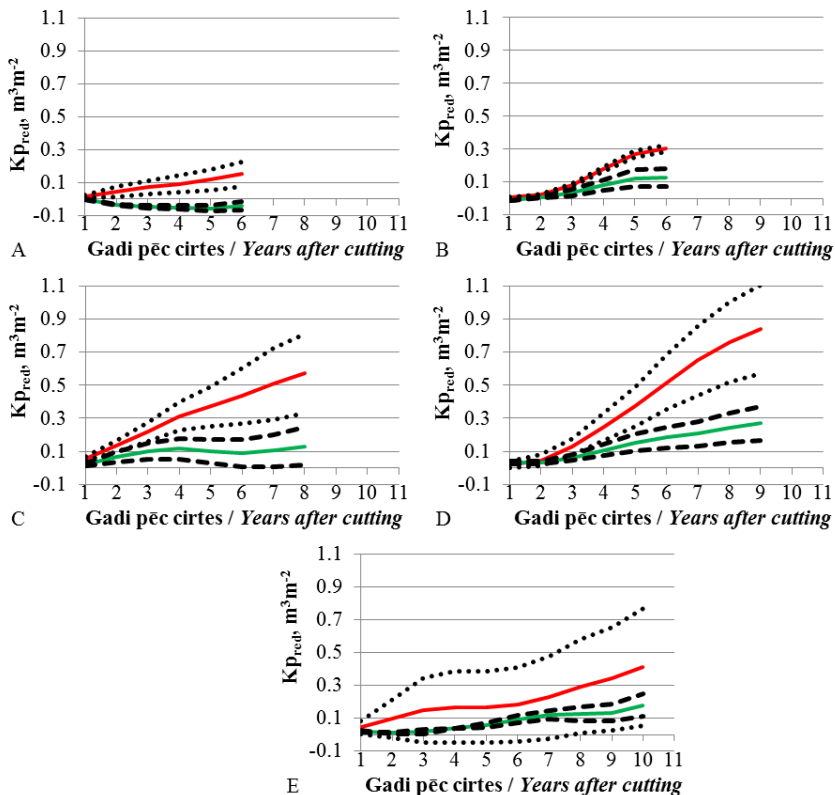
$K_{p_{red}}$ kokiem tuvāk par 7 m no audzes atvērums malas jau pirmajos gados pēc cirtes bija pozitīvs (4.4. att.) un ir 2 līdz 5 reizes lielāks nekā kokiem tālāk par 7 m no malas, $T_{p_{red}}$ sasniedzot $0,146 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gadā (KNP). Arī citi pētnieki (Звиедрис, Калнынь, 1968) ir konstatējuši, ka priedei gadskārtu paplašināšanās sākas jau ar nākamo gadu pēc cirtes veikšanas. Tomēr citi novērojami liecina, ka, lai gan ir novērota nekavējoša sakņu

augšanas reakcija (Urban et al., 1994; Kneeshaw et al., 2002; Vincent et al., 2009), tomēr stumbra pieaugums parasti pirmajos gados pēc audzes izretināšanas nepalielinās (Youngblood, 1991; Kneeshaw et al., 2002; Holgen et al., 2003; Thorpe et al. 2007). Šis starpperiods parasti ir divi līdz četri gadi (Jakobsson, 2005), bet ļoti veciem kokiem pat 5-15 gadi (Latham, Tappeiner, 2002). Ir novērota arī negatīva audžu reakcija, piemēram, pēc kopšanas cirtēm priežu audzēs lānā, kuru vecums nepārsniedz 50 gadus, papildus pieaugums pirmajos trīs gados pēc cirtes veikšanas ir negatīvs (Liepa, Driķe, 1979).

Tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas $T_{p,red}$ svārstās ap 0, nepārsniedzot $0,046 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ gadā un ir praktiski nenozīmīgs. Arī objektā ABA, kur sestajā gadā pēc pirmā paņēmiena veikts otrais paņēmieni, izretinot nenocirstās audzes daļas, turpmākajos gados ir novērojams tikai neliels pozitīvs $T_{p,red}$, tomēr tas ir nenozīmīgs. Tas nozīmē, ka, vērtējot audžu pieaugumu pēc grupu pakāpeniskās cirtes, jāņem vērā, ka papildus pieaugums būs konstatējams tikai apkārt audzes atvērumiem un jo lielāks būs attālums starp atvērumiem, jo lielāka būs platība, kur papildus pieaugums nebūs konstatējams. Turklāt, atstājot audzes resnākos kokus, to atsauces reakcija būs relatīvi mazāka (Лиєпа, 1980).

Turpinot 4.4. attēla interpretāciju, konstatēts, ka vienā audzē (604) nav statistiski nozīmīga (ar 95% ticamību) atšķirība starp $K_{p,red}$ tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas un tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas. Kā iemesls ir attālumā līdz 7 m no audzes atvēruma malas atsevišķo izurbto paraugkoku augšanas gaitas netipiski izteiktā atšķirība un nelielais paraugkoku skaits.

Savukārt audzē (KNP) $K_{p,red}$ kokiem tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas un tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas ar 95% ticamību neatšķiras tikai pirmos divus gadus pēc cirtes. Pārējās trijās audzēs, jau sākot ar pirmo vērtēšanas gadu, koku $K_{p,red}$ ir būtiski lielāks līdz 7 m no audzes atvēruma malas, salīdzinot ar koku $K_{p,red}$ tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas. Līdzīgi rezultāti iegūti pētījumos par malas efektu kopšanas cirtēs priežu audzēs lānā - tehnoloģisko koridoru tuvumā malas efekts ir pozitīvs, bet virzienā uz starpjoslū vidū tas pakāpeniski samazinās (Liepa, Driķe, 1979). Kopšanas ciršu pētījumos vidēja vecuma priežu un egļu audzēs Somijā konstatēts, ka malas efekts ir novērojams tikai līdz 3-4 m no tehnoloģiskā koridora malas (Mäkinen et al., 2006).

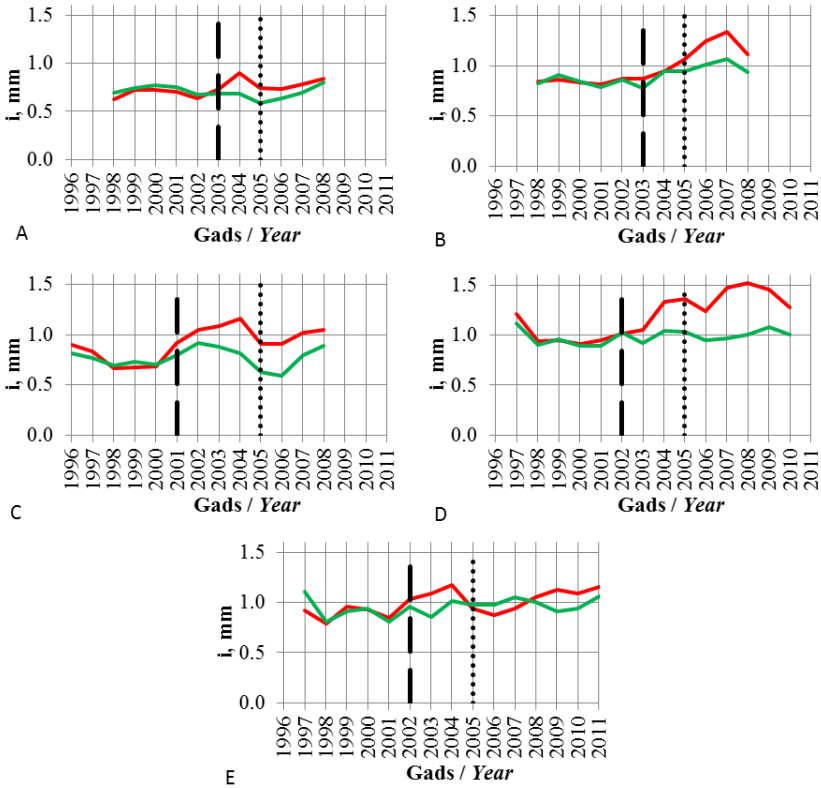


4.4. att. Krājas kumulatīvais reducētais papildus pieaugums (Kp_{red}) atkarībā no attāluma līdz audzes atvēruma malai (A – AKM19; B – AKM77; C – ABA; D – KNP, E – 604). Apzīmējumi: — — — — papildus pieaugums kokiem tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas; — — — — augšējā un apakšējā 95% ticamības robeža papildus pieaugumam kokiem tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas; — — — — papildus pieaugums kokiem līdz 7 m no audzes atvēruma malas; ···· — augšējā un apakšējā 95% ticamības robeža papildus pieaugumam kokiem līdz 7 m no audzes atvēruma malas.

Fig. 4.4. Tree cumulative additional increment (Kp_{red}) at different distances from edge of stand opening in research stands. Notation: — — — — additional increment of trees farther than 7m from edge of stand opening; — — — — upper and lower bound of 95% confidence interval of additional increment farther than 7m from edge of stand opening; — — — — additional increment of trees closer than 7m from edge of stand opening; ···· - upper and lower bound of 95% confidence interval of additional increment closer than 7m from edge of stand opening.

Atvēruma malas attāluma ietekmi uz palikušo koku papildus pieaugumu modificē 2005. gada janvāra vētras ietekme. 2005. gada vētras ietekme novērtēta pēc gadskārtu platuma izmaiņām pirms un pēc vētras (4.5. att.). Vidējie gadskārtu platumi kokiem tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas ir samazinājušie trijās audzēs (604; ABA; AKM19) sekojošajā veģetācijas periodā par 17 – 21% no iepriekšējā gada vidējā gadskārtas platuma (4.5. att.). Savukārt tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas vidējais

gadskārtu platums ir samazinājies tajās pašās trijās audzēs par 4 – 24%. Tomēr nevienā gadījumā atšķirības nav būtiskas ($p > 0.05$). Tātad, lai gan daļā audžu ir novērojams gan gadskārtu platuma, gan papildus pieauguma samazinājums, 2005. gada vētras ietekme kopumā tomēr nav bijusi būtiska, koku kopām līdz un pēc 7 m no audzes atvēruma malas. Turklāt, ņemot vērā neviennozīmīgo ietekmi pa objektiem, iespējams, ka gadskārtu platuma un papildus pieauguma samazinājumu ietekmējuši arī citi faktori.



4.5. att. Koku vidējais gadskārtu platums (i) atkarībā no attāluma līdz audzes atvēruma malai pētījuma audzēs (A – AKM19; B – AKM77; C – ABA; D – KNP, E – 604). Apzīmējumi: — — gadskārtu platums tālāk par 7 m no audzes atvēruma malas; — — gadskārtu platums līdz 7 m no audzes atvēruma malas; --- — ciršanas gads; *** — 2005. gada vētra.

Fig. 4.5. Average values for radial increment (i) of trees at different distances from the edge of the stand gap in the research stands. Notation: — — average annual ring width of the trees farther than 7 m from the edge of stand opening; — — average annual ring width of the trees closer than 7 m from the edge of stand opening; --- - year of cutting; *** - storm in year 2005.

Secinājumi un praktiskās rekomendācijas

Secinājumi

1. Izmantojot mežsaimniecības praksē plaši pielietotus taksācijas rādītājus (iepriekšējās audzes šķērslaukumu robežās no 7 līdz 31 m² ha⁻¹ vai koku skaitu uz ha robežās no 60 līdz 260 koki ha⁻¹), mētrājā nevar prognozēt atjaunojušos priežu skaitu pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes. Savukārt damaksnī pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes pie lielāka iepriekšējās audzes koku skaita (līdz 380 kokiem ha⁻¹) vai šķērslaukuma (līdz 47 m² ha⁻¹) atjaunojušos priežu skaits ir lielāks. Tendence kļūst izteiktāka desmit gadus pēc cirtes salīdzinājumā ar četriem gadiem pēc cirtes pirmā paņēmiena.
2. Pie lielāka iepriekšējās audzes koku skaita vai šķērslaukuma dabiski atjaunojušos priedīšu (2000 kociņi uz ha) vidējais augstumu ir mazāks, un šī tendence kļūst izteiktāka auglīgākos meža tipos (lānā, damaksnī) kā arī palielinoties laikam pēc pirmā cirtes paņēmiena.
3. Ja paredzams, ka agrotehniskā kopšana netiks veikta savlaicīgi, damaksnī, salīdzinot ar mētrāju, pēc pirmā cirtes paņēmiena jā saglabā lielāks koku skaits vai šķērslaukums uz ha, lai sākotnēji samazinātu aizzēluma negatīvo ietekmi. Otrais cirtes paņēmiens jāveic savlaicīgi (pēc četriem līdz septiņiem gadiem), jo, lai gan kociņu skaits biežākās audzes vietās ir lielāks, tomēr tie ir ievērojami īsāki.
4. Desmit gadus pēc grupu pakāpeniskās cirtes lielākais uzskaites laukumu īpatsvars, kuros uzskaitīti vismaz 2800 kociņi uz ha, gan mētrājā gan lānā ir 3,0 – 6,0 m attālumā no atvēruma malas, attiecīgi 94% un 42%.
5. Salīdzinot priedes atjaunošanos un augšanu dažāda lieluma atvērumos, secināts, ka veicot grupu pakāpeniskās cirtes priežu audzēs, būtu ieteicams veidot lielākus atvērumus audzē nekā 10×10 m. Savukārt, lai novērstu aizzēluma konkurējošo ietekmi, agrotehniskā audzes kopšana 40×40 m atvērumos lāna un damakšņa meža tipos būtu veicama vismaz reizi gadā.
6. Lielākajā daļā analizēto audžu jau pirmajos divos gados pēc vienlaidus un grupu pakāpeniskās cirtes ir pozitīvs papildus pieaugums atstātajā audzes daļā. Ikgadējā reducētā krājas papildus pieauguma kulminācija mētrājā ir piecus līdz septiņus gadus, bet lānā un damaksnī – trīs līdz četrus gadus pēc vienlaidus pakāpeniskās cirtes.
7. Pēc grupu pakāpeniskās cirtes priežu audzēs lānā ikgadējais reducētais krājas papildus pieaugums audzes nenocirstajai daļai tuvāk par 7 m no audzes atvēruma malas jau pirmajos gados ir pozitīvs. Kumulatīvais reducētais krājas papildus pieaugums sešus gadus pēc grupu pakāpeniskās cirtes tuvāk audzes atvēruma malai ir 2 līdz 5 reizes lielāks nekā tālāk par 7 m no atvēruma malas.

Praktiskās rekomendācijas

1. Paredzot priežu audžu apsaimniekošanu ar pakāpeniskajām cirtēm, priedes dabiskās atjaunošanās veicināšanai mazauglīgākos tipos (silā, mētrājā) veicamas grupu pakāpeniskās cirtes, kas ieteicamas arī auglīgākos meža tipos, ja ir iespējams nodrošināt savlaicīgu agrotehnisko kopšanu. Ja auglīgākos meža tipos (lānā,

damaksnī) nav iespējams nodrošināt savlaicīgu agrotehnisko kopšanu, tad ieteicamas vienlaidus pakāpeniskās cirtes.

2. Damaksnī veicot grupu pakāpeniskās cirtes, lielākos atvērumos (40×40 m) ieteicams veikt stādīšanu.
3. Lai veicinātu kociņu augšanu, savlaicīgi (trīs līdz septiņus gadus pēc pirmā cirtes paņēmienu) veikt nākošo (otro vai noslēdzošo) cirtes paņēmienu.
4. Auglīgākos meža tipos līdz pat divām reizēm gadā jāveic agrotehniskā kopšana. Visos gadījumos jāveic augsnes gatavošana.

Turpmākie pētījumi

Ņemot vērā, ka Latvijas normatīvajos aktos šobrīd pastāv terminoloģiska nekonsekvence, par izlases cirtēm dēvējot arī tādas, ar kurām starptautiski saprot pakāpeniskās jeb segaudzes (shelterwood) cirtes, nepieciešams veikt izmaiņas normatīvajos aktos, lai izslēgtu neskaidrību un pārpratumu iespējamību.

Nepieciešams turpināt pētījumus, lai noskaidrotu, kāda ir turpmākā priežu audžu attīstība un produktivitāte pēc pakāpeniskās cirtes otrā un noslēdzošā paņēmienu. Šiem pētījumiem jābūt ilgtermiņa (vismaz 40 gadi), izvērtējot dažādus audžu attīstības scenārijus. Ne mazāk svarīgi ir noskaidrot pakāpenisko ciršu ekonomisko efektivitāti.

Pateicības

Autors izsaka pateicību disertācijas darba vadītājam Prof., Dr. habil. biol. Imantam Liepam par atbalstu darba struktūras izstrādāšanā, metodikas precizēšanā, datu analīzes uzlabošanā, un, it sevišķi, disertācijas manuskripta kvalitātes uzlabošanā.

Autors izsaka pateicību LVMI “Silava” Mežkopības un meža ekoloģijas grupas pētniekam Jānim Donim, kura vadīto projektu ietvaros tika izstrādāta darba metodika, ievākts un apstrādāts pētījuma materiāls, kā arī veikti aprēķini un pilnveidota rezultātu interpretācija. Pēc Jāņa Doņa ieteikumiem uzlabota arī manuskripta kvalitāte.

Autors izsaka pateicību Guntaram Šņepstam, Raimondam Šēnhofam, Agitai Treimanei, Līgai Kurakinai, Gundegai Donei, Zanei Striķei, Lienai Bleidelei, Mārim Rokpelnim un citiem par palīdzību lauka datu ievākšanā un kamerālo darbu veikšanā.

Autors pateicas LVMI “Silava” vadošajiem pētniekiem Dr.silv. Ārim Jansonam un Dr.silv. Andim Lazdiņam par vērtīgiem ieteikumiem darba uzlabošanā.

Pētījums veikts LVMI “Silava” projektu ietvaros:

1. Zemkopības ministrijas Meža attīstības fonda pasūtītais un finansētais pētījums „Nekailciršu meža apsaimniekošanas modeļa izstrāde” (2004.-2008.);
2. AS „Latvijas valsts meži” pasūtītais un finansētais pētījums „Saimnieciskās darbības izvērtējums izlases ciršu saimniecībā” (2011.-2013.);
3. SIA “Meža nozares kompetences centrs” projekts “Metodes un tehnoloģijas meža kapitāla vērtības palielināšanai” (Nr. L-KC-11-0004) (2011.-2015.);
4. ESF projekts “Vitālu egļu audžu izaudzēšanas ekoloģiskie un tehnoloģiskie aspekti” (Nr. 2013/0022/1DP/I.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/052) (2013.-2015.).

1. General description

1.1. Background

Over the last few decades, imitation of natural disturbances in forest management has become increasingly more common in Europe. In Latvia, discussions about changes in landscape made by clear-felling are also being raised. In many cases, the society proposes to harvest forests with continuous cover forestry methods as an alternative option. In a certain respect, the use of shelterwood cutting is the compromise of economical, ecological and social forest management contradictions.

Lately in Latvia, shelterwood cutting is usually performed in areas where clear-felling is forbidden in accordance with the regulatory acts, or in forest tracts with large percentage of mature stands, as well as in private forests. It must be noted that clear-felling is forbidden in 9.9% of pine stands, therefore these stands can be managed only by applying shelterwood cutting or selective cutting. According to the legislation in force, currently only the second alternative is currently possible. However, the question is whether it is possible to maintain pine as the dominant species of future stands after selective cutting has taken place, particularly in fertile forest types, while also taking into account that pine is a light demanding tree species.

By manipulating with the parameters of a stand, it is possible to regulate the light regime in order to achieve the aims of stand management that can be realised by controlling vegetation cover and growth of new trees. Ideally, a forest manager could choose the appropriate gap size based on the knowledge of optimal growing conditions for each tree species and thereby influence the future forest composition (Messier et al., 1999). One of the unknown effects of gap size is the loss that results from a decrease in growth productivity associated with the edge effect from small stand gaps. It is possible to evaluate the effectiveness of the use of shelterwood cutting by determining the success of natural regeneration depending on the used cutting technologies and the additional volume increment of the retained trees.

Shelterwood and selective cutting in Latvia have been studied extensively in the middle of the last century (Kundziņš, 1949; Zviedris, 1949; Суна, 1957; Sūna, 1958; Zviedris, 1960; Igaunis, 1960; Igaunis, 1961). At the end of the 20th century, J. Donis, a researcher of the Latvian State Forest Research Institute "Silava", led the research dedicated to problems of no clear-felling forest management, and this doctoral thesis can be considered as one of the results of that research.

1.2. Aim of the thesis

The aim of this research is to determine the suitability of uniform and group shelterwood cutting for use in pine stands on dry and mesic mineral soils.

1.3. Objectives of the research

The following research objectives were established in order to reach the aim:

- analysis of the success of pine regeneration after uniform shelterwood cutting in pine stands;

- evaluation of pine regeneration after group shelterwood cutting;
- analysis of the response reaction dynamics of the remaining part of the stand.

1.4. Proposed hypothesis

The thesis has put forward the following research hypotheses: 1) it is possible to predict regenerated pine number and height at a certain pine shelterwood basal area, number of trees or gap size after shelterwood cutting; 2) shelterwood cutting initiates additional volume increment for the remaining trees.

1.5. Scientific novelty

The most significant previous studies on shelterwood cuttings in Latvia were conducted in the middle of the last century. Until now the impact of gap size and distance from the gap edge on natural and artificial regeneration, as well as the additional volume increment of retained trees after shelterwood cutting in pine stands had not been researched.

1.6. Structure and volume of thesis

The structure of the doctoral thesis is subjected to the work tasks. The first chapter deals with the analysis of the literature and previously conducted studies in relation to the topic of the doctoral thesis. The second chapter deals with the description of methods and materials used in the work. The third and fourth chapters deal with exposition of the results obtained in the research and conclusions deriving from them. The third chapter consisting of five subchapters deals with analysis of success of pine regeneration after uniform and group shelterwood cutting in pine stands. The fourth chapter consisting of two subchapters deals with the reference reaction dynamics analysis of the remaining part of the stand. The work is concluded with the most significant conclusions and practical recommendations.

The volume of the doctoral thesis is 113 pages, information is collected in 13 tables, 59 images, and 2 annexes. 201 sources of literature are used. The conclusion of the work contains 7 main formulated conclusions and provides 4 practical recommendations.

2. Material and methods

Overall description of research objects

The research was carried out in 45 objects (stands) in different regions of Latvia. Three objects (Kalsnava; Mežole-42; Mežole-74) were measured as experimental objects for determining the effect of different-sized gaps on natural and artificial regeneration. The establishment and survey of these objects was started before cutting was performed. The rest of the objects were measured only as observation objects after uniform shelterwood cutting (hereinafter referred to as USC) and group shelterwood cutting (hereinafter referred to as GSC) in mature pine stands. Forest managers of these objects performed cutting from 1995 to 2009. A part of all the measured objects were surveyed

only once, but some of them were surveyed twice for a period of 16 years after cutting. Survey was performed from 2004 to 2013.

Different objects were used in order to fulfil the work tasks. Not all work tasks were performed in all objects (within one type of cutting).

Assessment of natural regeneration in uniform shelterwood cutting depending on the basal area and density of a stand

Data were obtained from pine stands in *Vacciniosa* (Mr), *Myrtillosa* (Ln) and *Hylocomiosa* (Dm) forest types. A total of 32 objects were surveyed.

One to nine circle sampling plots (161 in total) of an area of 500 m², in which measurements of the shelterwood (previous stand) were surveyed, and organized into objects. The number of shelterwood sampling plots (hereinafter referred to as SP) depends on the size of the stand and the number of trees within the object.

Circle regeneration sampling plots (424 in total) of an area of 25 m² were arranged in the 500 m² SPs in order to evaluate natural regeneration. The centre of the regeneration sampling plots (hereinafter referred to as RSP) was located in the centre of SP and in some cases also in 6 m distance towards N, E, S, W. Height of all trees that had reached a height of at least 5 cm was measured.

Only those SP of the shelterwood that did not have the second storey or advance regeneration trees were selected for calculations.

Data were divided into two groups: 3-5 years after cutting and 9-12 years after cutting. The number of measured trees in RSP was recalculated per 1 ha, as well as 2000 trees per ha aka average height of the five highest trees per RSP (H_{2000}) was calculated.

SP was used as a characterising element of the shelterwood. The basal area and number (density) per 1 ha of the shelterwood trees was calculated in the SPs.

In order to determine the number of naturally regenerated pine trees per 1 ha, the basal area and density of the shelterwood in SPs were used as factorial values. Equations of regression analysis depending on forest types and post-cutting periods were calculated. The same type of analysis was performed regarding H_{2000} . In order to level the differences that occurred due to evaluation within different periods after the cutting, H_{2000} was calculated as linear levelled at the base age of four years (in the age group from three to five years) and ten years (in the age group from nine to twelve years).

The number of RSPs used in evaluation calculations of the number of naturally regenerated trees differs by post-cutting period groups and forest types (Table 2.1)

In order to determine if the pine seedlings were located evenly through shelterwood stands, the percentage of RSPs with at least 2800 trees ha⁻¹ (the same as seven trees in one RSP) was calculated for the post-cutting period of 9-12 years. The representation interval of characteristics percentage was calculated by using the ϕ method (Liepa, 1974).

Assessment of natural regeneration in uniform and group shelterwood cutting in *Vacciniosa* forest type depending on light regime

In order to determine the light regime, a camera (Nikon Coolpix 8400) with fisheye lens (FC-E9) and complementary equipment was used (Winscanopy O-Mount).

Images were obtained at the centres of the 500 m² SP in eight objects with USC (28 images in total). In the Mežole-42 object, images were obtained in gaps with different size (10×10 m, 20×20 m, 20×40 m and 40×40 m), taken them every 7 m (62 images in total) on the NW-SE diagonal of gaps.

The total site factor (the ratio of): 1) total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density under canopy average for the growing season, and 2) total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density over canopy average for the growing season) was used in order to characterize the diversity of light regime. The total site factor was obtained by processing the images with WinSCANOPY 2006a Pro software (www.regentinstruments.com).

In order to evaluate the success of natural regeneration depending on the light regime, linear regression equations between the number and average height of the seedlings per 1 ha and the values characterizing the light regime (the total site factor) were calculated. The RSPs with a radius of 2.82 m above which the image-taking was performed, were considered as a characterizing unit of a stand regeneration.

Assessment of natural regeneration in group shelterwood cutting depending on distance to the gap edge

The research was carried out in *Vacciniosa* (two sites) and *Myrtillosa* (five sites) forest types where the first stage of GSC was done. Relatively regular circle gaps 25 – 32 m in diameter were cut in the stands by cutting all the trees in that area. The left parts of the stand among the gaps were not cut, except for one object (ABA), where a part of the first-storey trees and all the second-storey spruces were cut. Six years after the first cutting, the second cutting stage was made in this object thus widening the gaps. The second stage was not made in other stands, except for the clearing of trees that had fallen due to wind. After cutting the gaps, the soil in these gaps was mechanically prepared, and weeding in some of the objects was also performed.

Two to three gaps were surveyed in each stand (17 gaps in total). Four out of five objects were surveyed twice. The stands were surveyed according to methodology developed by J.Donis (2006). Initially, the approximate centre was found for each of the gaps. SP with the radius of 12.62 m (500 m²) were established in the four cardinal directions (N, E, S, W) at the distance of 18 m from approximate gap centre (Fig. 2.1). In these SPs, the parameters of the shelterwood were measured and the location of the trees was determined in order to survey the shelterwood.

The RSPs ($r = 2.82$ m) were located in the centre of the gaps and at a distance of 6 m, 12 m, and 18 m distance in all the cardinal directions (N, E, S, W) (Fig. 2.1). The height of all the saplings reached at least the height of 5 cm was measured.

Data were divided into two groups: the first group contains measurements obtained three to five years after cutting (hereinafter referred to as four years), and the second group contains measurements obtained nine to thirteen years after cutting (hereinafter referred to as ten years).

Taking into account different size of the gaps (25 – 32 m in diameter), the RSPs are located at various distances from the gap edge. In order to make the calculations, RSPs were divided into four groups depending on the distance from the gap edge.

Similar calculations to those done for objects with uniform shelterwood cuttings by forest types and distance from the gap edge were made.

In order to determine the impact of the gap edge on H_{2000} , univariate analysis was done using SPSS14 software. The analysis was made separately per forest types and post-cutting periods. Games-Howell test was used in order to evaluate significance among gradation classes.

Assessment of natural regeneration in group shelterwood cutting depending on the gap size

The research was carried out in two experimental objects in Hylocomiosa forest type – Kalsnava (shelterwood species mixture – 80% pine, 20% spruce) and Mežole-74 (shelterwood species mixture – 60% pine, 20% birch, 20% spruce). There is a slightly different vegetation cover in these objects. In Kalsnava: *Pinus sylvestris* + *Picea abies* – *Picea abies* – *Vaccinium myrtillus* + *Pteridium aquilinum* + *Calamagrostis arundinacea* – *Hylocomium splendens* + *Pleurozium schreberi* and Mežole-74: *Pinus sylvestris* + *Betula pendula* + *Picea abies* – *Picea abies* – *Vaccinium myrtillus* + *Melampyrum pratense* + *Calamagrostis arundinacea* – *Hylocomium splendens* + *Pleurozium schreberi*.

During the winter of 2006–2007 rectangular openings (gaps) of different sizes – 10×10 m, 20×20 m, 20×40 m (with the longest side arranged in the N–S (further NS) or E–W (further EW) direction) and 40×40 m – were marked and cut. The distance between the gaps was at least 20 m (with the exception of 10×10 m gaps, where the smallest distance between the gaps was 10 m). Middle zones between the gaps were not cut. 37 gaps in total were cut.

During the spring of 2008, the harvested gaps at the Kalsnava object (hereinafter referred to as Kalsnava) were divided and marked into 10×10 m squares (Fig. 2.2) and the natural regeneration in the part of the marked squares was measured by locating 25 m² circle RSPs in the middle of them. In the Mežoles-74 object, RSPs were located on NW-DE diagonals of gaps by locating 25 m² circle RSPs after every 7 m, but in 10×10 m gaps – only in the middle of gaps. The total of 117 RSPs were surveyed in 2008. In the RSPs, the height of at least 5 cm high coniferous trees was measured, but as for deciduous trees it was measured four largest trees per 1 m² at a distance of at least 50 cm from one another.

In Kalsnava in the spring of 2013, the RSPs were located in the same places, but in Mežole-74, the RSPs were located using the same principle as in Kalsnava. In 2013, the natural regeneration in 40×40 m uncut parts of the stand was surveyed in both objects by locating the circle RSPs in the middle of them as well as in 6 m distances to N, E, S, W from the centre. The total of 175 RSPs were surveyed in 2013. In 2013, the diameter at the root collar (hereinafter referred to as the diameter) was measured for some of the trees.

By performing analysis of variance with the SPSS 14 software, the following units were used as variables – the number of trees, the height and diameter of pines, spruces, and birches. Significant differences were determined in the number and height of trees among objects, thus further analysis was made per object. The age after cutting and gap

size were used as factor gradation classes. Games-Howell test was used in order to evaluate the significance among the gradation classes.

Planting evaluation in group shelterwood cuttings

The research was conducted in two experimental objects – Kalsnava and Mežole-74 – in *Hylocomiosa* forest type. During the spring of 2009 in Mežole-74, a part of the marked squares were planted with containerised pine seedlings ($H=0.085\pm 0.002$ m) on patches (0.4×0.4 m) which had previously been scarified by hand tools. In Mežole-74 seedlings were spaced 2×2 m apart (25 plants per marked 10×10 m square), thus the distance from the gap edge was known for each seedling. During the spring of 2011, pine seedlings ($H=0.175\pm 0.002$ m) were planted in the Kalsnava by a similar manner. Seedlings were spaced 1.75×1.75 m apart (30 plants per marked 10×10 m square). It should be noted that pines in Kalsnava were planted repeatedly because more than 85% of bare-root seedlings (4+0) planted the first time (in the spring of 2008) died or were significantly damaged due to various reasons (damages done by animals, etc.).

Weeding is performed every year in July, except during the second growing season in Kalsnava, where weeding was done at the end of June in a part of the object. Several weeks later it was done in the rest of the object.

The height of newly planted seedlings was measured right after planting, and this procedure was repeated each autumn. After the third growing season, the root collar diameter of seedlings in Kalsnava was also measured.

After gap harvesting, a visual assessment of vegetation composition was carried out at the Kalsnava site during July of the second year. Only those squares with artificial regeneration were observed. Average height of the vegetation as well as the proportion of the square area occupied by the vegetation was estimated.

Survival of seedlings in Kalsnava and Mežole-74 objects was analysed. Height and diameter increment three years after planting was also analysed. All the seedlings were used for the research of the survived seedlings. Only the undamaged seedlings from Kalsnava object were used for height increment and diameter analysis. Multifactor analysis of variance was done by using SPSS14 software. As the affecting factors were checked – object, gap size, initial height of seedlings and distance to the closest edge. The object, gap size, initial height of seedlings and distance to the nearest gap edge were evaluated as the affecting factors. The distance to the gap edge was divided into distance groups – 1m; 3m; etc. Due to the small quantity of seedlings (a maximum of three observations) available for tree height and diameter calculations in the distance groups of 5 m in 10×10 m gap and 9 m in 20×20 m, 20×40 EW and 20×40 NS gaps, these distance groups were merged with the nearest groups, 3 m and 7 m respectively. Similarly, the distance groups of 13 m, 15 m, 17 m and 19 m were merged with the 11 m distance group at 40×40 m gap. This combined group is hereafter referred to as ≥ 11 m.

After checking significant factors, it was found out that the initial height of seedlings significantly differs between objects, thus further analysis was done for each object separately. The gap size and distance to the gap edge was used as gradation class. Games-Howell test was used in order to evaluate significance among gradation classes.

Confidence interval for the average arithmetical values of sampled population was calculated by including the rationed deviation of Student's distribution. The

representation interval of characteristics percentage was calculated by using the ϕ method.

Evaluation of response reaction of the retained trees in shelterwood cuttings

Objects, whose post-cutting period was at least five years, were used in the research. 17 objects were used in order to evaluate USC tree reference reaction: six in *Vacciniosa* forest type, five in *Myrtillosa* forest type, and six objects in *Hylocomiosa* forest type, but for GSC – five objects in *Myrtillosa* forest type. In order to determine the age of the stand and for additional increment calculations, samples of radial increment with increment borer at breast-height from pine sampling trees were collected. The direction of coring was chosen randomly in reference with cardinal directions and crown gaps. Samples in USC objects were collected from the average of 29 trees per object, but in GSC – from 54 trees. The annual ring samples were obtained from 496 trees in USC objects and from 269 trees in GSC objects in total.

The width of the annual rings was measured by using LINTAB IV. TSAP Win Scientific 0.55 software was used for initial data processing. Method developed by I.Liepa (1996) was used for additional increment calculations. The average tree method was used for analysing the additional stand increment (Liepa, 1996).

In order to calculate additional volume increment, at least 39 pure pine stands at the age of at least 90 years were used for control purposes. Radial increment samples were obtained from 15 to 74 trees in these stands (totally from 721 trees). Retrospection period of 10 years was used for calculations. Adequate control trees were selected for each evaluated stand. Those trees, whose radial increment during the retrospection period showed statistically significant correlation $r_{10;0,05} = 0.6319$ (Pearson's coefficient's critical value at $n=10$ and $\alpha=0,05$) against the average radial increment of the evaluated stands were selected. Regression equation was used for correlation of the average annual right width between selected control trees and evaluated stands. The coefficient of determination value of the calculated regression equations for USC objects is at least 0.81, but for GSC objects – 0.64. In order to evaluate the impact of cutting, each stand had their annual ($T_{p_{red}}$) and cumulative ($K_{p_{red}}$) additional volume increment per unit of stand basal area $m^3 m^{-2}$ calculated (Liepa, 1996). $T_{p_{red}}$ is calculated as the cumulative increment difference between consecutive years. $K_{p_{red}}$ is obtained by recalculating the additional cumulative increment per $1 m^2$ of the stand basal area. Cumulative additional volume increment calculation was done by using equations (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) from the I. Liepa (1996) method.

In order to determine what factors affect the $K_{p_{red}}$ after USC, multifactor analysis was done by using SPSS14 software. $K_{p_{red}}$ of each object five years after cutting was used as the affected value. The forest type and the region of Latvia were analysed as the fixed factors. The basal area of the object, percentage of the cut basal area, the average age of the stand at breast-height, and the number of years affected by the storm in year 2005 (if 2005 was included in the 5 year period of evaluation) were used as covariate.

$T_{p_{red}}$ and $K_{p_{red}}$ of the remaining (thinned) trees in the USC objects were calculated.

The total tree $T_{p_{red}}$ and $K_{p_{red}}$ of the SPs located in the uncut parts of the stand for GSC objects were calculated. In order to compare, whether the additional volume increment of the trees in the uncut part of the stand is the same regardless of the distance

to the gap edge, trees were divided into two groups – trees located closer than 7 m from the gap edge, and trees located farther than 7 m from the gap edge. The distance from the gap edge that divides the selected group borders was chosen similar to impact zones determined in other studies: 5 m (Donis, 2007) and 8 m (Zdors, Donis, 2012), as well as the possible impact zones 0.3-0.6 of the average tree height within the stand (Ермохин, Судник, 2001). Additional stem volume increment was calculated for each group separately. In order to calculate the maximum K_{pred} 95% confidence interval, 2 standard errors were added or subtracted from the average value of annual ring width of the affected stand and repetitive K_{pred} recalculation was done. Hereinafter in the text, the T_{pred} and K_{pred} of the uncut part of the stand, and the T_{pred} and K_{pred} of trees located closer and farther than 7 m from the gap edge are mentioned.

The impact of the storm in 2005 on the additional volume increment and changes in the annual ring width were evaluated as well.

3. Analysis of the success of stand regeneration

3.1. Natural regeneration in uniform shelterwood cuttings depending on the basal area and density of the stand

In *Vacciniosa* forest type, four and ten years after the cutting correlation between the number of pine seedlings and the shelterwood density or the basal area of the shelterwood is mostly negative. However, the H_{2000} correlation with the characterizing elements of the shelterwood is only negative (Table 3.1). In all cases, the correlations are weak and insignificant ($p > 0.05$). Thus it is not possible to predict the number of regenerated pine trees in *Vacciniosa* using easily determined taxation indicators as the shelterwood density or the basal area within the surveyed borders ($N = 60 - 260$ trees ha^{-1} ; $G = 7 - 31$ m^2 ha^{-1}). A research conducted in Finland also found that the amount of light positively correlates with the parameters of tree growth (height, current height increment and average height increment), but has almost no correlation with the number of seedlings (Pukkala et al., 1993).

Similarities were found in the *Myrtillosa* forest type four years after the cutting. Correlations between the number of naturally regenerated pines or H_{2000} and the shelterwood density or the basal area of the shelterwood are weak and insignificant (Table 3.1). But ten years after the cutting, the H_{2000} of the regenerated pines negatively correlates ($r = - 0.64$) with the shelterwood density and correlation is significant ($p = 0.000$). The correlation with the basal area is weaker ($r = - 0.40$) but still significant ($p = 0.001$). The number of regenerated pines positively correlates with the basal area of the shelterwood, and the correlation is significant ($p = 0.046$) yet weak ($r = 0.24$). No correlation between the number or regenerated pines and the shelterwood density was found.

In the *Hylocomiosa* forest type four years after the cutting the correlation between the number of naturally regenerated pines and the shelterwood density or the basal area are weak and insignificant. However, the correlation between H_{2000} and the shelterwood density is negative, weak ($r = - 0.25$), and significant ($p = 0.034$). The correlation between H_{2000} and the basal area of the shelterwood is negative, yet insignificant ($p = 0.098$).

Ten years after the cutting in the *Hylocomiosa* forest type the correlations between the number of regenerated pines and the shelterwood density or the basal area are medium close ($r = 0.57$), positive, and significant ($p = 0.000$), but with H_{2000} – negative, yet insignificant ($p > 0.05$).

Ten years after cutting in *Vacciniosa* in SPs where shelterwood density is lower, there are more RSPs with at least 2800 seedlings ha^{-1} (Fig. 3.1). In SPs where shelterwood density is at least 180 trees ha^{-1} , 70% of RSPs with at least 2800 seedlings ha^{-1} are found, but 83% are found where shelterwood density is 20-80 trees ha^{-1} . In *Myrtillosa*, the percentage of RSPs with at least 2800 seedlings per ha fluctuates from 70 – 80%. However, the situation was reversed in the *Hylocomiosa* forest type – at 20-80 retained trees per ha, there were only 14% RSPs with at least 2800 seedlings per ha, but at more than 160 retained trees per ha, the number of „full” RSPs is 88%.

In general it can be concluded that correlations between H_{2000} of pine seedlings and shelterwood density or the basal area are negative, and this tendency becomes clearer as the period of time after the first cutting stage increases, and also in more fertile forest types (*Myrtillosa*, *Hylocomiosa*). In *Myrtillosa* and *Hylocomiosa*, this tendency was more pronounced, because seedlings at equal post-cutting age were higher than in *Vacciniosa*.

In *Hylocomiosa* correlations between the number of pine seedlings and the shelterwood density or the basal area are positive, this tendency becomes clearer as the period of time after the first cutting stage increases. The percentage of RSPs with at least 2800 seedlings per ha is higher in denser places. However, correlations with H_{2000} are negative. Thus it can be concluded that in places with less retained trees per ha pine seedlings had less possibilities to survive due to competing vegetation cover, but if they survive, they reach greater height than in denser areas. These results correspond with research done in Sweden on fertile soils, where it is concluded that the number of regenerated seedlings four years after cutting is higher in the stand where more trees per ha are retained. It was explained by high seedfall, slower invasion of competing vegetation, consequent prolonged recruitment and low mortality (Beland et al., 2000). Thus it is advised to retain 200 trees per ha in fertile soils (Beland et al., 2000). In order to decrease the development of the ground vegetation and undergrowth when performing uniform shelterwood cutting in spruce forest, I.Igaunis (1961) has suggested stand thinning in regular pattern and avoiding creation of larger gaps. The tendency that the correlations between the number of pine saplings and the number of retained trees or the basal area are positive, but the correlation between H_{2000} and the number of retained trees are negative, should be used in *Hylocomiosa* and *Myrtillosa* by retaining more trees or higher basal area per ha after the first cutting stage in comparison with *Vacciniosa*, in order to initially decrease the negative impact of vegetation cover. The second cutting stage should be done as soon as possible (after 3-7 years), because even though the number of seedlings is higher in denser parts of the stand, they are significantly shorter.

It must be noted that in most of the analysed objects, the second cutting stage has still not been done 9-12 years after the first cutting. Weeding has not been done in part of the objects as well. Two objects are cut with clear-cutting by not retaining advance growth, but afterwards mechanically preparing the soil (the soil was not prepared after uniform shelterwood cutting) and by planting pines. The last cutting stage was done in only one

of the stands. It could mean that in some cases a targeted stand management is not done after the first cutting stage. It means – the soil is not prepared, weeding is not done, and the previous stand is not timely thinned and removed in order to promote growth of the established seedlings. If these actions were done, it is possible that the success of the natural regeneration would be higher – there would be more regenerated seedlings (for example, when preparing the soil) and they would be higher (by timely performing stand thinning).

3.2. Natural regeneration in *Vacciniosa* forest type after uniform and group shelterwood cutting depending on light regime

In simple (without previous advance growth) pine stands in the *Vacciniosa* forest type where uniform shelterwood cutting has been done, it can be found that with better light regime conditions (total site factor is in the range from 0.39 to 0.59) there is larger number of seedlings four and nine years after the cutting, yet the correlations are weak and insignificant ($r = 0.050$; $p=0.866$ and $r = 0.125$; $p=0.669$). The seedling height correlation with total sight factor is weak and insignificant ($r = -0.020$; $p=0.945$ and $r = 0.248$; $p=0.393$) as well.

When evaluating the light regime in the *Vacciniosa* pine stand where group shelterwood cutting was done, it can be found that with better light regime conditions (total sight factor is in the range from 0.32 to 0.74) there is smaller number of seedlings two and five years after the cutting. Two years after the cutting, this correlation is weak, yet significant ($r = -0.277$; $p=0.030$), but five years after cutting – weak and insignificant ($r = -0.183$; $p=0.158$).

The seedling height five years after the first cutting has positive, weak and significant correlation ($r = 0.421$; $p=0.001$) with the total site factor (Fig. 3.2).

Even though it can be concluded that in uniform shelterwood cutting the pine seedling height at higher total sight factor values is higher, this correlation in within the reviewed total site factor at the amplitude from 0.29 to 0.59 is weak and insignificant. It is possible that the reviewed amplitude is too narrow, and if data for wider amplitude, for example, data on places with lower shelterwood density with larger total site factor, was added, the correlations would become closer. But other studies have also found that the main factor in less fertile soils is not the light regime, but the distance to the closest mature tree that reflects as competition for minerals and moisture (Strand et al., 2006). By doing group shelterwood cutting in stands on less fertile soils, where as a result the distance to the closest tree is larger than in uniform shelterwood cuttings and at the same time, the light regime is better for tree growth, the tree height correlation with the total site factor is weak yet significant. Many authors point out the tendency that better light regime conditions promote the growth of pine seedlings (Pukkala et al., 1993; Valkonen et al., 2002; Jakobsson, 2005; Strand et al., 2006; Siipilehto, 2006; Суха, 1957).

3.3. Natural regeneration after group shelterwood cutting depending on distance to the gap edge

Number of trees

Four years after group shelterwood cutting in *Myrtillosa*, the lowest (35%) percentage of RSPs with at least 2800 trees ha⁻¹, are in a zone -5.5 – 0.5 m from the gap edge (negative digit means that RSP is located in the retained part of the stand) (Fig. 3.3). Most frequently (75% RSP) at least 2800 trees ha⁻¹ are found at the distance of 9 – 10 m from the gap edge. At the distance of 12.5 – 16 m from the gap edge 50% of full RSPs were found. Ten years after the cutting, the majority (42%) of full RSPs were found at the distance of 3 – 6.5 m from the gap edge. At other distances from the gap edge, similar percentage of 33 – 35% of RSPs was found. It must be noted that in *Myrtillosa* ten years after thinning the percentage of full RSPs begin to even, which could be explained by the competition of birch and ground cover vegetation (*Rubus idaeus*, *Calamagrostis arundinacea*).

Ten years after cutting in *Vacciniosa* only 19% of RSPs located -5.5 – 0.5 m from the gap edge had at least 2800 trees ha⁻¹. Starting from the distance gradation class 3 – 6.5 m from the gap edge, the percentage of the full RSPs is at least twice as large as in respective gradation classes in *Myrtillosa*. Just like in *Myrtillosa*, the largest (94%) percentage of RSPs is found at 3 – 6.5 m distance from the gap edge.

Four years after the cutting in *Myrtillosa* relatively full RSPs (400 trees ha⁻¹) are found in 60 – 97% of the cases. The largest percentage of relatively full RSPs was found at a distance 9 – 10 m from the gap edge, but the smallest – in the interval of 12.5 to 16 m distance. Ten years after the cutting, at least 400 trees were found in 32 – 62 % of RSPs.

In *Vacciniosa*, starting from 3 m from the gap edge, all the RSPs contained 400 trees ha⁻¹, but at a distance of -5.5 to 0.5 m from the gap edge there were 69% of such RSPs.

Tree height

H₂₀₀₀ in *Myrtillosa* four years after the cutting at the distance of 9 – 10 m from the gap edge is significantly ($p < 0,05$) larger than closer to the gap edge. At the distance of 12.5 – 16 m from the gap edge, the trees are as high as at the distance of 9 – 10 m – 0.47 m. Yet due to wide data spread and small surveyed amount of data no significant differences are found. Similar situation was observed also 10 years after the first cutting stage – the H₂₀₀₀ of trees at the distance of 9 – 10 m from the gap edge is significantly ($p < 0,05$) larger than closer to the gap edge, but at the distance of 12.5 – 16 m the difference is insignificant.

Ten years after cutting in *Vacciniosa*, the highest H₂₀₀₀ (0.95 m) was observed at the distance of 9 – 10 m from the gap edge, and it is significantly ($p < 0.05$) higher than H₂₀₀₀ closer to the edge.

Management regime impact

In order to compare whether there are differences in number and height of trees in *Myrtillosa* after group shelterwood cutting under different management regimes, two objects were selected. After analysing the data, it was concluded that action complex – timely weeding, thinning of the retained part of the stand, and cutting of the second storey of spruces during the first cutting stage, and timely performed second cutting stage are

ways to ensure a successful natural regeneration of pine when performing group shelterwood cutting.

3.4. Natural regeneration after group shelterwood cutting depending on the gap size

Two years after cutting

Two years after cutting in Kalsnava, birch have regenerated the most, and larger number of the seedlings (by recalculating per ha) has been found in smaller gaps, even though significant differences in the number of seedlings have not been found (Fig. 3.4). The number of regenerated pines and spruces is small and did not significantly differ per different gap types. From $150 \pm 105 \text{ ha}^{-1}$ pines in $20 \times 40 \text{ZD}$ gaps to $800 \pm 283 \text{ ha}^{-1}$ pines in $20 \times 20 \text{ m}$ gaps were counted.

Two years after cutting, the situation observed in Mežoles-74 was the opposite to Kalsnava. The number of regenerated pines and spruces was larger than the number of regenerated birch and larger than in all gap types in Kalsnava (Fig. 3.5). The number of pine seedlings fluctuated from $3600 \pm 2190 \text{ ha}^{-1}$ in $10 \times 10 \text{ m}$ gaps to $10267 \pm 3159 \text{ ha}^{-1}$ in $20 \times 20 \text{ m}$ gaps. The number of spruce seedlings fluctuated from $1100 \pm 430 \text{ ha}^{-1}$ in $20 \times 40 \text{NS}$ gaps to $10089 \pm 3070 \text{ ha}^{-1}$ in $20 \times 20 \text{ m}$ gaps. However, the number of birch seedlings was similar to Kalsnava – from $833 \pm 309 \text{ ha}^{-1}$ in $20 \times 40 \text{NS}$ gaps to $6356 \pm 1616 \text{ ha}^{-1}$ in $20 \times 20 \text{ m}$ gaps. Differences in number of seedlings per different gap types are not statistically significant for any of the species.

The observed differences in the number of seedlings among objects can be explained by the intensity of vegetation cover per each object. According to observations of B. Bambe (Donis, 2007), during the first year after creation of gaps the cover of herbs and dwarf shrubs (7% to 77%) was larger than in Mežole-74 (5% to 27%). Thus it is possible that initial conditions in Mežole-74 object were more favourable for multi-numbered natural regeneration to occur.

Six years after cutting

Six years after cutting in Kalsnava, the number of pines per gap sizes does not significantly differ and fluctuate from $193 \pm 94 \text{ ha}^{-1}$ in $40 \times 40 \text{ m}$ gaps to $1000 \pm 258 \text{ ha}^{-1}$ in $10 \times 10 \text{ m}$ gaps. Thus it can be considered that the pine regeneration is unsuccessful. The average height and diameter of pines are significantly larger in $40 \times 40 \text{ m}$ gaps in comparison with $10 \times 10 \text{ m}$ gaps – $0.58 \pm 0.05 \text{ m}$ and $9.0 \pm 1.7 \text{ mm}$ against $0.18 \pm 0.04 \text{ m}$ and $3.3 \pm 0.9 \text{ mm}$ respectively. Additionally, in $20 \times 20 \text{ m}$ gaps, tree height is significantly smaller than in $40 \times 40 \text{ m}$ gaps.

The number of spruce seedlings has increased in all gap sizes. The largest number of surveyed seedlings was found in $10 \times 10 \text{ m}$ gaps - $5000 \pm 1227 \text{ ha}^{-1}$, but the smallest (similarly to pine and birch) in $40 \times 40 \text{ m}$ gaps - $207 \pm 78 \text{ ha}^{-1}$.

The number of birch seedlings per gap types practically has not changed and still the largest number of birch seedlings is found in smaller gaps - $5000 \pm 1227 \text{ ha}^{-1}$ in $10 \times 10 \text{ m}$ and $1900 \pm 679 \text{ ha}^{-1}$ in $20 \times 40 \text{EW}$ gaps, but $800 \pm 232 \text{ ha}^{-1}$ in $40 \times 40 \text{ m}$ gaps, yet the differences are not significant.

Six years after cutting in Mežole-74 the number of pines in all gap types has significantly decreased, and the reason for that might be the snow blight (*Phacidium infestans* P. Karst.) in the winter of 2011/2012 (not surveyed in details). There are no

pinus in 10×10 m gaps, but the largest number of seedlings is found in 20×40EW gaps – 1133±417 ha⁻¹. The average height and diameter in 40×40 m gaps was much larger than in 20×20 m gaps – 0.40±0.05 m and 7.9±0.7 mm against 0.20±0.04 m and 3.7±0.6 mm respectively.

The number of spruces in gaps is the same or it has increased. From 1950±625 ha⁻¹ seedlings in 20×40NS gaps to 16867±6576 ha⁻¹ in 20×20 m gaps have been surveyed, but no significant differences have been found.

Mostly the differences found in the number of seedlings per gaps are not significant, which often can be explained with small number of observations in gradation classes and significant difference among natural regeneration RSPs. The difference in number of seedlings among objects and differences within the objects by comparing gaps of different sizes can be explained by differences in the location of substratum suitable for emerging and establishing of seedlings. The soil has not been purposefully scarified, only loosened when cutting trees – by felling and transporting them. Thus uneven location of suitable substratum has occurred. In mineralized soil, there are 5-8 times more seedlings than in places where the soil scarification have not been done (Калиниченко et al., 1991).

In both objects six years after cutting the number of seedlings of one species does not exceed 91±47 ha⁻¹ in the control area, thus it can be concluded that the natural regeneration in the uncut parts have been weak and it does not comply with the regulatory acts.

In general, it can be concluded that in *Hylocomiosa* the natural regeneration of pines is worse than of spruces. When comparing two years and six years after the cutting, the number of regenerated pine trees decreases in almost all gaps, but the number of spruces increases. The number of pines does not exceed 1133 ha⁻¹ six years after cutting regardless of the gap size.

3.5. Planting evaluation in group shelterwood cuttings

At the end of the first growing season after the planting a total of 96.3% of the planted pines in the Kalsnava object survived, with a higher percentage of 98.9% in the Mežole-74 object. At the end of the second growing season after planting, the survival percentage differed considerably between objects, with 90.0% in the Kalsnava object and 56.2% at the Mežole-74 object. At the end of the third growing season after planting, only 23.7% of the planted pines had survived at the Mežole-74 object, but in Kalsnava object 66.4% were still alive. The highest survival for pines in Kalsnava was found in the 20×20 m gaps – 78.7% and in the 20×40 NS gaps (76.1%), but the lowest in the 10×10 m gaps (51.1%), and in the 40×40 m gaps (64.1%) (Fig. 3.6). The opposite was observed in Mežole-74; more trees survived in the 40×40 m gaps (36.4%) and in the 10×10 m gaps (22.7%), but less in the 20×40 NS gaps (12.0%) and in the 20×20 m gaps (9.3%) (Fig. 3.7).

In the Kalsnava object, the highest (average 77.0%) survival within one gap size was in the distance of 3 m from the gap edge (Fig. 3.8). The highest survival (94.4%) in 20×20 m gaps was at the distance of 5 m from the gap edge. Survival closer and farther than 3 m from the gap edge was smaller. The lowest survival in 20×20 m and 20×40 m gaps was at the distance of 7 m from the edge, but in 40×40 m gaps it was at the distance

of 11 m from the gap edge. In 10×10 m gaps at the distance of 1 m from the gap edge the lowest survival (44.1%) between all observations was monitored.

In the Mežole-74 object, the highest average survival (24.6%) was found at the distance of 1 m from the gap edge (Fig. 3.9). However, in the 10×40 NS gaps of this distance no survived pines were found, and the highest survival was found directly at the greatest distance from the gap edge at 7 m (25.0%). Meanwhile, in the 40×40 m gaps, the highest survival was found at 9 m from the gap edge (55.6%). On average, the lowest survival (17.9%) was found at 5 m from the gap edge.

In the Kalsnava object there was a tendency that at a distance of 1 m and 3 m from the gap edge a higher survival rate was found in the larger gaps. By contrast, at a distance of 5 m and 7 m from the gap edge this trend was not observed, and the highest survival rate was in the 20×20 m gaps.

In the Mežole-74 object, regardless of the distance from the gap edge, the highest survival was in the 40×40 m gap. At a 5 m and 7 m distance from the gap edge in the larger gaps, a higher survival for pines was observed.

During three years the majority (75.3%) of the survived pines in Kalsnava object were damaged. The majority (71%) of the damaged trees were bent by snow. In Mežole-74 object, 56.3% of the trees were found damaged. Similarly to Kalsnava object, the majority (39%) of the trees were bent by snow. This large percentage of trees bent by snow can be explained with the fact that they have grown lanky due to insufficient light regime, thus they bend easier.

Taking into account all the previously stated differences between objects in seedling survival and the fact how they have survived in different types of gaps and at different distances from the gap edge, it is not possible to determine common trends in the survival of pines in gaps of different sizes. The only common tendency is that at a distance of 1 m and 3 m from the gap edge, the highest survival was in the 40×40 m gaps, which could be explained by a better light regime compared with the smaller gaps. The difference between the sites could be explained by the substantially different initial tree heights and by research site characteristics, such as a better light regime in Kalsnava. The better light regime can be explained by a different mixture of shelterwood species (pine proportion in stand at 80% vs. 60%), and a different shelterwood height, ~26 m vs. ~30 m. Stands with a higher proportion of pine have a better light regime (Sonohat et al. 2004, Zdors and Donis 2011), that might have promoted the survival of trees in Kalsnava object. Also, shorter trees give less shade. Better light regime also contributes to the growth of the competing vegetation, which might explain why in Kalsnava there were less survived pines in the larger gaps at a distance above 3 m from the gap edges. When performing the monitoring of vegetation cover in these objects, B. Bambe (Donis, 2008) has found that during the second growing season after cutting, the number of vegetation cover species is significantly larger in Kalsnava object than in Mežole-74 object. For example, in Kalsnava, the average number of species in vegetation cover in 40×40 m gaps was 48, but in Mežole-74 object – only 24. That might indicate the fact that there are better conditions for vegetation cover growth in Kalsnava.

Differences between the research sites in pine survival could be explained by different planting times (2009 and 2011) as well as by the different planting time after creation of the gaps – the third growing season after felling in Mežole-74 compared with

the fifth growing season after felling in Kalsnava. The longer the time after cutting, the greater the competing vegetation cover after shelterwood cuttings (Marozas, Sasnauskiene, 2012), similarly as after clearcutting (Nilsson, Örlander, 1999). It could also explain why in Kalsnava there was a lower survival for pines in the larger gaps at a distance above 3 m from the gap edges. Taking into account that snow blight has not been monitored in Kalsnava, but it has been monitored in Mežole-74, it is possible that trees, which died due to snow blight, could explain the differences in survival per objects.

It must be noted, that spruces have also been planted in these objects, and the percentage of survived spruces four growing seasons after planting is 90.4% in Kalsnava and 84.4% in Mežole-74 (Zdors, Donis, 2012). Therefore, spruce can be used as an alternative (in medium fertile forest types) if pine planting results are unsuccessful.

Tree growth

The initial tree height and the distance from the gap edge had no significant ($p > 0.05$) impact on three-year height increment and diameter. However, three-year height increment was significantly ($p < 0.05$) affected by the gap size.

In almost all gap sizes the three-year height increment was the lowest at a distance of 1 m from the gap edge (Fig. 3.10), but differences with pines which were located at a greater distance from the gap edge were not significant ($p > 0.05$). Similar tendencies have been observed in relation to tree diameter (Fig. 3.11).

It must be noted that even though the tendency that higher three-year increments of tree height and diameter are observed for trees farther from the gap edge also in other gaps, the differences among gradation classes are not significant. For example, in 40×40 m gaps the three-year height increment and diameters are the largest for trees located at the distance of 9 m from the gap edge, 0.49 ± 0.08 m and 8.9 ± 1.3 mm respectively, but at the distance of 11 m (gradation class includes trees located 11-19 m from the gap edge) they are insignificantly smaller, 0.47 ± 0.06 m and 8.6 ± 1.1 mm respectively. The most probable reason for it is vegetation cover that increases under better light conditions. In the Kalsnava object by the second growing season after gap harvesting (two years prior planting) in the 40×40 gaps at marked squares along gap edges *Rubus idaeus* covered about 13% of the area of squares with an average height of 0.9 m. At squares in the middle of the 40×40 m gaps this was 19% and 1.0 m. *Calamagrostis arundinacea* in marked squares along the gap edge covered 17% with an average height of 1.6 m, but in the middle squares this increased to 30% with the same average height. Also in other study, where ground vegetation was not controlled, a similar trend was observed – in greater gaps at a greater distance from the gap edge, the tree growth was also affected by the ground vegetation competition, which reduces the positive effect of improvement in the light regime (Kern et al., 2012). Although weeding was carried out once a year during our study, usually in July, apparently it was not sufficient to mitigate the negative impact of ground vegetation (especially in the largest – 40×40 m gaps). It must be pointed out that during the growing season, when weeding was performed at the end of June and in some part of the objects, and at the other part was performed several weeks later, in autumn, when the trees were surveyed, it visually turned out that in this part of the object where weeding was performed earlier, the tree growth during summer was minimally affected, but it would be advisable to perform another weeding in autumn in order to remove vegetation cover that suppresses the trees.

But in the part of the object, where weeding was performed later, it would not be needed to remove the vegetation cover again; however, the trees appeared to be grown in worse conditions (not measured in detail), because they were suppressed during the most active time of growth. Thus, even though it usually has been emphasised that the development of competing vegetation is reduced after shelterwood cutting compared with clear-cutting (von Sydow, Örlander, 1994; Beland et al., 2000; Karlsson, 2001; Набаров, 1980; Мелехов, 1989), when making a comparison a subjective impression has occurred that weeding in 40×40 m gaps in *Myrtillosa* or *Hylocomiosa* forest types should be done twice a year in order to prevent the competitive impact of vegetation cover. That would be applicable in cases when planting is not done in the first years after cutting. If planting is done during the first two years, weeding should be performed at least once a year.

After the research of spruce growth in the same objects, it was found that the edge impact spread up to 8 m distance from the gap edge (Zdors, Donis, 2012). The edge impact on pine growth could be similar because, as it was mentioned, in 40×40 m gaps the three-year height increments and diameters are the largest at the distance of 9 m from the gap edge. In the research of natural regeneration in different configuration gaps in pine stands of *Vacciniosa* forest type, Donis (2007) found that at a distance of less than 5 m from the gap edge pines were significantly shorter. In each distance group the trees were higher, though the difference was not significant (Donis, 2007). Similar results were obtained by Jakobson (2005) in Sweden, who found that in young pine stands the volume production in the 5 m zone closest to the edge was 10 % of that beyond 5 m. A study from Finland shows that competition resulted in retarded height development which extended up to about half of the dominant height of the edge stand (Siipilehto, 2006). Research on retained trees of the previous stands in cuttings found that each retained tree of the previous generation reduces the growth of the new pine height for 9 – 17% in 10 m radius (Valkonen, 2002). According to other data, this effect is observed at 6 m radius (Siipilehto, 2006). It should be noted that the research, which compared the growth of the pines planted in an uncut forest (500 trees per ha) and in a clear-cut, proved that four years after the planting the dry mass of the pines leading shoots in uncut forest was only 3% of that in a clear-cut (Erefur et al., 2011). But for the height growth the corresponding value was almost 30%. These findings indicate that height growth can be not a good measure for the overall growth of seedlings, especially not under shelterwood cutting (Erefur et al., 2011).

When analysing how trees have grown at a particular distance from the gap edge in different gap types, it was found that in 10×10 m gaps at the distance of 1 m from the gap edge, the smallest three-year increment of height and diameters have been surveyed in comparison with larger gaps. Additionally, the differences with 20×40 EW and 40×40 m gaps are significant ($p < 0.05$). Diameter differences are significant also ($p < 0.05$) with 20×20 m gaps. Differences between other gradation classes are not significant ($p > 0.05$).

Similarly to 1 m distance, also at the distance of 3 m from the gap edge, the smallest three-year increment of height and diameters have been surveyed in 10×10 m gaps, and only differences with 20×20 m gaps are not significant.

At 7 m distance from the gap edge higher three-year increment of height and diameters are monitored in larger gaps, yet the differences are not significant ($p > 0.05$).

Generally it can be concluded that in 10×10 m gaps at a particular distance from the gap edge, there are smaller three-year increments of height and diameters in comparison with larger gaps, and a part of the differences are significant. Pine survival in these gaps in Kalsnava object is the lowest among all the gap types, but in Mežole-74 object, it is lowest in 40×40 m gaps and 20×40 EW gaps. Thus, when performing group shelterwood cutting, it would be advisable to make gaps larger than 10×10 m. Ž. Sūna (1973) has recommended to initially cut gaps whose diameter would be similar to tree height (approximately 25 m). But A. Zviedris (1949) has suggested 30×30 m gaps. In Sweden, the studies suggest to create 20-40×30-60 m gaps (Erefur et al., 2011). In the UK, in order to achieve satisfactory growth for pine it is suggested that the gap size should be not less than 0.2 ha, or the diameter should be similar to the height of two trees in a surrounding stand (Malcolm et al., 2001). In the northern part of North American temperate forests it was found that the opening size should not necessarily be very large (0.1–0.2 ha) in order for plants to achieve growth rates similar to those of plants in the open conditions of clear-cut (Coates, 2000). When planning the gap size with objective to have natural regeneration, one must not forget about the distance a pine seeds might fly. Although this distance is up to 250 m (Атрохин, Кузнецов, 1989), the majority of seeds fall within 30 m distance (Hesselman, 1938, cited from Karlsson, 2000). E. Bākūzis and R. Markus (1969) have found that pines regenerates the best in 45-60 m wide gaps.

4. Reaction dynamics of the remaining part of the stand

4.1. Response reaction of retained trees after uniform shelterwood cutting

Positive T_{pred} and K_{pred} were monitored in all surveyed stands in *Vacciniosa* during the first year after cutting (Fig. 4.1). T_{pred} has its culmination in average of five to seven years after cutting, and it gradually decreases over next years. In one of the stands (714_278) a fast decrease of T_{pred} was observed during the sixth and seventh year after cutting, but during the next three years T_{pred} increase has been monitored again. This decrease happened in 2005 and 2006 and it might be explained with the impact of the storm in January 2005. Such decrease has not been observed in other *Vacciniosa* stands, yet when compared with other stands, this stand is located the farthest in West part of Latvia where the most damage caused by the storm in 2005 were observed. The smallest K_{pred} was monitored in a 154 years old stand (408_195), which is the oldest stand of all the stands surveyed in *Vacciniosa* forest type.

In *Myrtillosa*, in four out of five stands the T_{pred} and K_{pred} were positive during already the first year after cutting, but during the second year these values were positive in all the stands (Fig. 4.2). The largest T_{pred} in three stands out of five is monitored three years after cutting, but in these three stands, as well as in the rest two stands a T_{pred} decrease was monitored in 2005 and 2006, and after that followed T_{pred} increase. The decrease might be explained with the impact of the storm on 2005. The smallest K_{pred} value was observed in the oldest stand (163 years). This stand is the oldest stand not only throughout *Myrtillosa* forests, but also within the whole research. This stand has the longest post-cutting period (16 years), and it is observed that starting from the thirteenth year after cutting, T_{pred} has started to increase again and has reached the largest values

16 years after cutting. The reason behind that might not be delayed reaction to thinning, rather than unexplored side effects that might occur or intensify as the period after cutting increases and the impact of stand thinning decreases. It must be noted that the applicable evaluation interval indicated by I. Liepa (1996), the developer of calculation method, does not exceed 20 years after the beginning of the impact.

In *Hylocomiosa*, only in three out of six stands a positive $T_{p_{red}}$ and $K_{p_{red}}$ was monitored (Fig. 4.3) in first year after cutting. One of the stands (714_226) with negative $T_{p_{red}}$ during the first year after cutting was a stand that was cut in 2006. It is possible that the impact of the storm in 2005 is not separable from the impact of the cutting during the first year after cutting, because $T_{p_{red}}$ had been positive in this stand during following years. But in the rest two stands (714_56; KNP111_17) with initially negative $T_{p_{red}}$, the $T_{p_{red}}$ value fluctuates around 0 during next years as well, but $K_{p_{red}}$ remained negative 9 years after cutting. These two stands are the oldest stands from the stands surveyed in *Hylocomiosa*, 153 and 141 years old respectively. In all the stands in *Hylocomiosa* where the cutting was done before 2005, a decrease of $T_{p_{red}}$ was monitored in 2005 and 2006. The culmination of $T_{p_{red}}$ is approximately three to four years after cutting, but taking into account the negative impact of 2005, $T_{p_{red}}$ culmination is not as explicit as in *Vacciniosa*.

When performing multi-factor analysis, it was found that five years after cutting $K_{p_{red}}$ is significantly ($p < 0.05$) affected by the age of the stand and forest type, but is not significantly ($p > 0.05$) affected by the region of Latvia (western, middle, eastern), the basal area of the object, the percentage of the cut basal area and the number of years affected by the storm in 2005 (if 2005 was included into evaluated five year period). When comparing $K_{p_{red}}$ between forest types and with the stand age used as covariant, it was found that $K_{p_{red}}$ of all forest types significantly ($p < 0.05$) differ from one another. In *Vacciniosa* five years after cutting, the average value of $K_{p_{red}}$ was $0.47 \pm 0.06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ (\pm standarderror), *Myrtillosa* $0.35 \pm 0.11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ un *Hylocomiosa* $0.22 \pm 0.09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$. J. Donis (2007) has found that the forest type has no significant impact on basal area and increment of volume for separate trees after uniform shelterwood cutting. If the competition among trees had been small before thinning, then thinning will have a small impact because the tree growth did not depend on competition (Plauborg, 2004). In research conducted by J. Donis (2007) it was found that in case of uniform shelterwood cutting, the increment is significantly dependant on the basal area of the first storey of the retained stand.

Generally it can be concluded that the culmination of additional value increment in *Vacciniosa* happens five to seven years, but in *Myrtillosa* and *Hylocomiosa* – three to four years after cutting. It must be noted that in all the stands in *Myrtillosa* and *Hylocomiosa* where 2005 was included in the evaluation period, a decrease of $T_{p_{red}}$ in that year and small increase during next years was observed. In *Vacciniosa* forest type, the decrease of $T_{p_{red}}$ in 2005 was monitored in only one stand. It is possible that, if such decrease was not present in *Myrtillosa* and *Hylocomiosa* in 2005, then the culmination of additional value increment would not be three to four years after cutting, but similarly to *Vacciniosa* – a few years later. $T_{p_{red}}$ decrease in 2005 can be possibly explained with the impact of the storm in 2005, which resulted in sway of the trees in thinned stands and disruption of a part of the roots, which left an impact on tree growth. The statistics on

percentage of wind throw stumps in stands, where such statistics is available, indicates that as well. It is possible that these stumps were fall down during the storm in 2005. For example, the percentage of fall down stumps in *Vacciniosa* (0 – 3%) is smaller in comparison with *Myrtillosa* (6%) and *Hylocomiosa* (2 – 9%), and decrease of T_{pred} in *Vacciniosa* is not that large. But it is possible that 2005 in general was less favourable for tree growth, and the storm just enhanced this tendency. Simultaneously it must be pointed out that other studies have found that the culmination of additional value increment in more productive forest types after thinning is earlier than in less fertile forest types (Jonsson, 1995).

4.2. Response reaction of retained trees after group shelterwood cutting

It has been found that T_{pred} and K_{pred} were positive already in the first years after cutting in all five stands where group shelterwood cutting was performed.

Additional value increment forms differently for each stand, but it can be observed that the largest T_{pred} in four out of five stands was monitored four to six years after cutting. Nevertheless, the evaluation period for two stands (AKM19; AKM77) is only six years long, thus this correlation must be considered with caution, because the largest T_{pred} for the stand (604) with the longest evaluation period (10 years) was monitored in the last evaluation year. Other studies have also found that culmination of increment reaction occurs five to seven years after cutting (Holgen et al., 2003). Other authors have found that the culmination occurs 7-11 years (Jakobsson, 2005) and even 15-20 years after cutting (Niemistö et al., 1993). However, it must be pointed out that the last of the mentioned authors had focused on the increment of trunk volume.

K_{pred} for trees located closer than 7 m from the gap edge was positive already in the first years after cutting, and it was 2-5 times higher than for trees located farther than 7 m from the gap edge by T_{pred} reaching $0.146 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ per year (KNP). Other researchers have also found that the annual ring widening process for pines starts at the next year after cutting (Звиедрис, Калнынь, 1968). Other observations, however, indicate that even though immediate root growth reaction has been monitored (Urban et al., 1994; Kneeshaw et al., 2002; Vincent et al., 2009), the stem volume usually does not increase during first years after cutting (Youngblood, 1991; Kneeshaw et al., 2002; Holgen et al., 2003; Thorpe et al. 2007). This period usually lasts two to four years (Jakobsson, 2005), but for very old trees even 5-15 years (Latham, Tappeiner, 2002). Negative stand reaction has been monitored as well, for example, after cutting in pine stands in the *Myrtillosa* forest type where the age of the stands does not exceed 50 years, additional volume increment was negative during the first three years after cutting (Liepa, Driķe, 1979).

T_{pred} fluctuates around zero by not exceeding $0.046 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ per year, and is practically insignificant at the distance farther than 7 m from the gap edge. In ABA object, where a second stage of cutting was done six years after the first stage by thinning the uncut parts of the stand, only small positive T_{pred} was monitored during next years, yet it was unsubstantial. It means that when evaluating the stand increment after group shelterwood cutting, it must be taken into account that additional volume increment will be monitored only around stand gaps, and the longer the distance between gaps, the larger the area where additional volume increment will not be monitored. Additionally, if dominant trees are retained, their reference reaction will be relatively smaller (Лиепа, 1980).

Continuing the interpretation of the figure 4.4, it has been found that in one stand (604) the difference between $K_{p_{red}}$ for trees located closer than 7 m from the gap edge and farther than 7 m from the gap edge, is not statistically significant (with 95% confidence). The reason is indistinctive difference in growth process of cored sample trees at the closer distance than 7 m from the gap edge and small number of sample trees.

In the stand (KNP), the $K_{p_{red}}$ for trees closer than 7 m from the gap edge and farther than 7 m from the gap edge with 95% confidence does not differ only during first two years after cutting. In the last three stands starting the first year of evaluation, the $K_{p_{red}}$ is significantly higher for trees located closer than 7 m from the gap edge in comparison with $K_{p_{red}}$ for trees located farther than 7 m from the gap edge. Similar results were obtained in studies on the edge effect in pine stand cuttings in the *Myrtillosa* forest type – the effect close to the edge of technological corridor is positive, but it gradually decreases towards the middle zone between corridors (Liepa, Driķe, 1979). In studies done in Finland in middle aged pine and spruce stands were found out that edge effect was only up to 3-4 m from corridor edge (Mäkinen et al., 2006).

The impact of the distance of the gap edge is modified by the impact of the storm in 2005. The impact of the storm of 2005 was evaluated by changes of annual ring width before and after the storm (Fig. 4.5). The average annual ring width for trees located closer than 7 m from the gap edge has reduced in three stands (604; ABA; AKM19) in the following growing period for 17 – 21% in comparison with the average annual ring width of the previous year (Fig. 4.5). At the distance farther than 7 m from the gap edge in the same stands the average annual ring width has reduced in the same three stands for 4 – 24%. Yet in no cases these differences are significant ($p > 0.05$). So, even though in some stands the decrease of annual ring width and additional volume increment has been monitored, generally the impact of the storm in 2005 has not been significant for tree clusters located closer and farther than 7 m from the gap edge. Additionally, taking into account the indistinctive impact per objects, it is possible that the decrease of annual ring width and additional volume increment has been caused by other factors as well.

Conclusions and practical recommendations

Conclusions

1. By using inventory indicators widely used in forestry practice (the basal area of the previous stand ($7 - 31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) or the number of trees per ha ($60 - 260 \text{ trees ha}^{-1}$)), it is not possible to predict the number of regenerated pines after uniform shelterwood cutting in *Vacciniosa* forest type. While in *Hylocomiosa* forest type, the number of regenerated pine seedlings after uniform shelterwood cutting is higher in the stand parts where more trees (number within 380 trees per ha, basal area within $47 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) are retained. The tendency becomes more distinct ten years after cutting in comparison with the period of four years after the first cutting stage.
2. Correlations between the average height of 2000 naturally regenerated pines and the number of trees or the basal area of the shelterwood are negative, and these

tendencies become more distinctive in more fertile forest types (*Myrtillosa*, *Hylocomiosa*), and as the period after the first cutting stage extends.

3. If it is expected that weeding will not be done in time then in comparison with *Vacciniosa*, in *Hylocomiosa* a higher number of trees or larger basal area per ha must be retained in order to initially reduce the negative impact of vegetation cover. The second cutting stage should be done in a timely manner (after four to seven years), because even though the number of trees in denser areas is higher, they are considerably shorter.
4. Ten years after group shelterwood cutting in *Vacciniosa* and *Myrtillosa* forest types, the largest proportion of regeneration sampling plots with at least 2800 trees per ha, are located at the distance of 3.0 – 6.0 m from the gap edge, 94% and 42% respectively.
5. During comparison of pine regeneration and growth in different size gaps, it was concluded that it would be advisable to create larger gaps than 10×10 m while performing group shelterwood cutting in pine stands. Whereas in order to prevent the competitive impact of vegetation cover, weeding in 40×40 m gaps in *Myrtillosa* and *Hylocomiosa* forest types should be performed at least once a year.
6. Positive additional increment in retained parts of the stand was present in the majority of stands already two years after uniform and group shelterwood cutting. Culmination of annual additional volume increment per unit of stand basal area in *Vacciniosa* forest type is five to seven years, but in *Myrtillosa* and *Hylocomiosa* forest types – three to four years after uniform shelterwood cutting.
7. After group shelterwood cutting in *Myrtillosa* forest type, the annual additional volume increment per unit of stand basal area in the uncut part of the stand located closer than 7 m from the gap edge became positive already in the first years after cutting. Cumulative additional volume increment per unit of stand basal area six years after group shelterwood cutting in pine stands in *Myrtillosa* forest type for trees located closer than 7 m from the gap edge is twice to five times larger than for trees located farther than 7 m from the gap edge.

Practical recommendations

1. If it is decided to manage pine forests with shelterwood cutting system, in order to promote natural generation of pines in less fertile forest types (*Cladinoso-callunosa*, *Vacciniosa*) it is recommended to use group shelterwood cutting. This type of cutting is recommended to use in more fertile forest types as well, but only in cases when it is possible to ensure timely used weeding. If in more fertile forest types (*Myrtillosa*, *Hylocomiosa*) it is not possible to ensure timely used weeding, in that case it is recommended to use uniform shelterwood cutting.
2. It is advised to perform planting if larger gaps are made (40×40 m) when performing group shelterwood cutting in *Hylocomiosa* forest types.
3. In order to promote tree growth the next (the second or last) cutting stage should be done in a timely manner (three to seven years after the first cutting stage).
4. Weeding must be done up to twice a year in more fertile forest types. Soil preparation must be done in all cases.

Future prospects

Taking into account that there is terminological inconsistency in Latvian laws and regulations, where selective cutting is referred to such that is internationally known as shelterwood cutting, it is necessary to make changes in laws and regulations in order to exclude the likelihood of confusion and misunderstanding.

It is necessary to continue studies in order to find further development and productivity of pine stands after the second and last shelterwood cutting stage. In order to evaluate different stand development scenarios, studies should be long-term (at least 40 years). It is important to determine economical effectiveness of shelterwood cutting.