



PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA 2017. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: “Meža apsaimniekošanas risku izmaiņu prognozes un to mazināšana”

IZPILDĪTĀIS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀIS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5.5-5.1_002t_101_15_57

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀIS: DR. Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

Salaspils, 2017

Kopsavilkums

Veicot koku augšanas novērojumus sezonas ietvaros, konstatēts, ka priedei paaugstinātas temperatūras režīmā pieaugums iesākās agrāk, savukārt lauka apstākļos pieaugums notika salīdzinoši straujāk. Bērzam paaugstinātas temperatūras režīmā pieauguma veidošanās sākās agrāk un turpinājās straujāk nekā kontroles siltumnīcā. Sākotnējie rezultāti neizslēdz iespēju, ka koki, izmantojot ar klimata pārmaiņām saistīto temperatūras paaugstināšanos, varētu sākt augt agrāk producējot lielāku biomasu.

Aprēķināti koeficienti dižskābaržu augšanas gaitas raksturošanai Latvijā, kas izmantojami LVMI Silava izveidotajos augšanas gaitas modeļos. Konstatēts, ka dižskābarža augstuma pieaugums Šķēdes MPS pārspēja Zviedrijas dienvidu daļā novēroto, it īpaši jaunākās (otrās) paaudzes kokiem. Konstatēts, ka augšanas gaitas modeļos priedei lietderīgi un iespējami iekļaut klimata ietekmi uz pieaugumu raksturojošus koeficientus, tādējādi uzlabojot modeļu precizitāti; definētas šo koeficientu vērtības.

Mežaudzes līmenī koku augstuma/carumēra attiecību ietekmē valdošā suga, vecums un šķērslaukums. Mistraudzēs koku augstuma/carumēra attiecība ir statistiski būtiska, bet praktiski nenozīmīga (par 0,03) un lielāka nekā tīraudzēs. Meža tipos, kur mistraudžu ierīkošana varētu tikt praktizēta (Dm, Ks, Kp), šī attiecība mistraudzēs un tīraudzēs būtiski neatšķiras, līdz ar to nevar tikt izmantota par argumentu, diskutējot par mistraudžu ierīkošanas nozīmi. Meža masīva līmenī lielākai tuvāko (līdz 500 m no konkrētās audzes) audžu daudzveidībai konstatēta pozitīva ietekme, samazinot bruņuts invāzijas atbilstošu egļu audžu bojājumu iespējamību, tomēr sarežģītāka meža masīva kompozīcija pilnībā neizslēdz šī dendrofāga radīto bojājumu varbūtību.

Egļu astonzobu un sešzobu mizgraužu attīstību nosaka pieejamā dzīvotne, determinējot gan starpsugu, gan iekšsugas konkurenci, kas ir izteiktāka paaugstinātas temperatūras (+2,3 °C) režīmā. Augstāka gaisa temperatūra nosaka kukaiņu metabolisma paātrināšanos, līdz ar to veidojot garākas kāpurejas un potenciāli radot nozīmīgākus zaudējumus mežsaimniecībai. To varētu līdzsvarot paaugstinātās temperatūras pozitīvā ietekme arī uz mizgraužu dabisko ienaidnieku attīstību. Piemēram, zaļganītes iekūņošanās šādos apstākļos bija piecas reizes sekmīgāka nekā neizmainītā temperatūrā.

Ierīkoti 2 dižskābarža un 2 sarkanā ozola stādījumi, kā arī veikti sagatavošanas darbi segaudzes novākšanai dižskābarža stādījumā un ierīkoti 10 jaunaudžu kopšanas novērtējuma objekti kļavu audzēs. Nodrošināta sēkļu ieguve un stādu audzēšana epiģenētiskā efekta pētījumiem.

Pētījuma rezultāti ietverti zinātniskā publikācijā *Silva Fennica* un prezentēti starptautiskā zinātniskā seminārā un konferencē.

Summary

Increase temperature had led to earlier start of the height growth for both Scots pine and silver birch as well as steeper increase of growth intensity for birch, but not for pine. No significant influence to total length of height increment was observed suggesting the trees might be able to make use of the rise of temperature due to climatic changes.

Data for sample trees had been collected and coefficients for growth models for *Fagus sylvatica* in Latvia developed. Results suggest a notable potential of this tree species, and increment higher than that observed in southern Sweden. Climate-dependent coefficients had been added also to growth models of Scots pine, improving the precision; material (increment cores) had been collected for further analysis in order to incorporate potential shifts in the factors determining the increment due to climatic changes in the models.

Analysis of large dataset does not reveal any notable or significant influence of tree species mixture at stand level on the height/diameter relationship of trees in the forest types, where mixed stands could be formed. Thus the stability, expressed as height/diameter ratio, of the stands could not be used as an argument in the discussion on establishment of mixed stands. In contrast, use of mixture of stands of different tree species at the forest landscape level demonstrated a positive influence, reducing the probability of *Physokermes piceae* damages in Norway spruce stands.

Development of *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* was primarily influenced by the available habitat, affected by intra- and inter-species competition. Increase of temperature during April and May (+2.3°C) led to higher metabolism, increased intra-species competition and thus also potentially higher damages for forest stands. However, this coincided with a positive influence of increased temperature on development of specific natural predators of both insect species.

New trials of *Quercus rubra*, *Fagus sylvatica* and *Acer platanoides* had been established, intended for long-term observations of the growth of these tree species. Seed material had been collected and plants grown for studies of epigenetic effect. Results of the research had been presented in a seminar and international scientific conference as well as included in publication in *Silva Fennica*.

Saturs

Kopsavilkums	2
Summary.....	3
1. Koku sezonālā augšanas ritma izmaiņas nākotnes klimatā.....	5
2. Priežu sēklu plantāciju pēcnācēju salciētības pārbaudes.....	14
3. Introducēto un/vai reti sastopamo koku sugu pētījumi.....	14
4. Priežu caurmēra pieaugumu ietekmējošo faktoru izmaiņas nākotnes klimatā	23
5. Mistrojuma ietekmes vērtējums.....	30
5.1. Mistrojuma ietekme uz koku augstuma/caurmēra attiecību	34
5.2. Mistrojuma meža masīva līmenī ietekme egļu bruņuts sastopamību	40
6. Egļu astoņzobu mizgrauža attīstība kontrolētos apstākļos	53
7. Epiģenētiskā efekta ietekmes pētījumi	82
8. Iegūto rezultātu publicēšana	84
9. Izmantotā literatūra.....	86
Pielikums	93

1. Koku sezonālā augšanas ritma izmaiņas nākotnes klimatā analīze

Koku sezonālā augšanas ritma izmaiņas nākotnes klimatā – priedes, egles un bērza sēkļu plantāciju pēcnācēju audzēšana neizmainītā un paaugstinātā (pie mākslīgā un dabiskā apgaismojuma) temperatūras režīmā, sezonālās augšanas dinamikas raksturošanai.

Eksperiments kokaugu (priedes un bērza) salcietības novērtēšanai uzsākts 2017.gada maijā Meža pētīšanas stacijas Kalsnavas mežu novadā izmēģinājumu kokaudzētavā.

Eksperimentā izmantots priedes un bērza stādāmais materiāls, līdzvērtīgs tādām, kādas tiek pielietots meža atjaunošanā ražošanas apstākļos (1.1.att.). Priedei izmantoti ietvarstādi, kas izaudzēti no četrās sēkļu plantācijās iegūtām sēklām (1.1.tab.). Divas no tām – Dravu un Sāvienas – ir otrās pakāpes sēkļu plantācijas (MRM kategorija “pārāks”, 1-gadīgi ietvarstādi). Pārējās divas – Klīves un Taigas – ir pirmās pakāpes plantācijas (MRM kategorija “uzlabots”, 2-gadīgi ietvarstādi), kuru klonu sastāvā ir tikai kūdras audzēs auguši pluskoki. Bērzam izmantoti kailsakņi ar uzlabotu sakņu sistēmu (MRM kategorija “uzlabots”, 2-gadīgi stādi), kuru izaudzēšanai sēklas iegūtas plantācijā “Kalsnava-2”. Priedei Sāvienas un Taigas plantācijas pārstāvētas katra ar 1000 stādiem, un Dravu un Klīves plantācijas pārstāvētas katra ar 2000 stādiem. Bērzam eksperimentā izmantoti 1000 stādi. Sāvienas plantācijas stādāmais materiāls iegādāts a/s “Latvijas valsts meži” Strenču kokaudzētavā, bet pārējais materiāls - a/s “Latvijas valsts meži” Mazsilu kokaudzētavā.



1.1.attēls. Eksperimentā izmantotais bērza un priedes materiāls

1.1.tabula

Eksperimentā izmantotais materiāla raksturojums

Suga	MRM* ieguves avots	MRM daudzums	MRM kategorija	Stādmateriāla vecums	Stādmateriāla veids
Priede	Taigas sēkļu plantācija	1000	uzlabots	2/0	Ietvarstādi
Priede	Klīves sēkļu plantācija	2000	uzlabots	2/0	Ietvarstādi
Priede	Dravu sēkļu plantācija	2000	pārāks	1/0	Ietvarstādi
Priede	Sāvienas sēkļu plantācija	1000	pārāks	1/0	Ietvarstādi
Bērzs	Kalsnava-2 sēkļu plantācija (Rietumu apgabalam)	1000	uzlabots	1/1	Kailsakņi ar uzlabotu sakņu sistēmu

*MRM – meža reproduktīvais materiāls

Eksperiments veikts, audzējot kokus 3 dažādos mikroklimatiskajos apstākļos:

- 1) paaugstinātas temperatūras apstākļi – siltumnīcā Nr.1, kontrolējot vēdināšanas režīmu, uzturēta par 4°C augstāka temperatūra (atbilstoši nākotnē prognozētajām klimata pārmaiņām) nekā “standarta” apsaimniekošanā; “standarta” apsaimniekošanai atbilstošs laistīšanas un mēslošanas režīms;
- 2) kontrole siltumnīcas apstākļos – siltumnīcā Nr.3, nodrošinot “standarta” apsaimniekošanai atbilstošu temperatūras, laistīšanas un mēslošanas režīmu;
- 3) kontrole lauka apstākļos – lauka stādu poligonā, nodrošinot “standarta” apsaimniekošanai atbilstošu laistīšanas un mēslošanas režīmu.

Katrs no eksperimentā ietvertajiem stādāmā materiāla veidiem pārstāvēts vismaz divos vides apstākļos (1.2.tab.). Priede no Taigas un Sāvienas plantācijām, kā arī bērzs izvietots paaugstinātas temperatūras apstākļos siltumnīcā Nr.1 un kontroles siltumnīcā Nr.3 (vienādā apjomā katrā). Priede no Klīves un Dravu plantācijām izvietota paaugstinātas temperatūras apstākļos siltumnīcā Nr.1, kontroles siltumnīcā Nr.3 un kontroles lauka apstākļos (vienādā apjomā katrā).

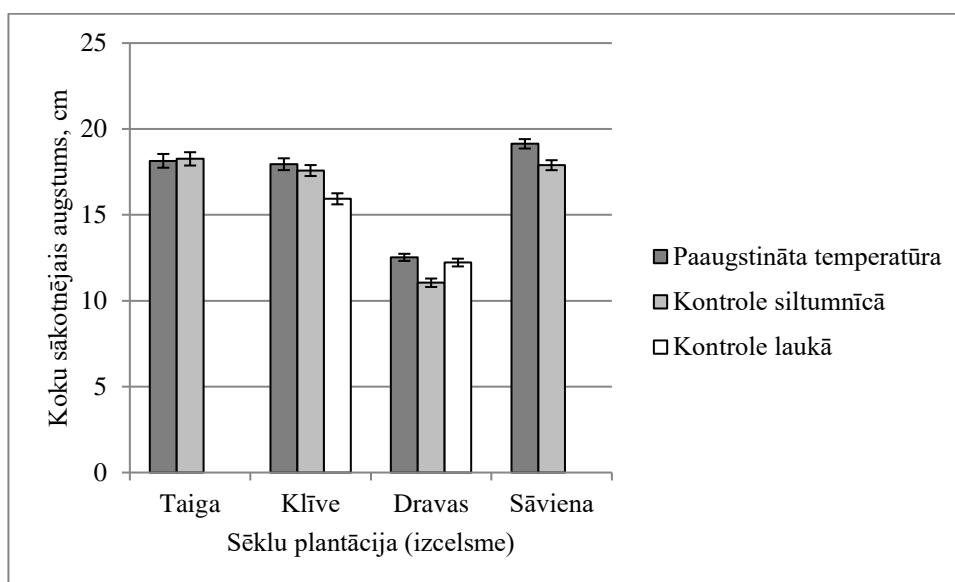
1. 2.tabula

Dažados režīmos pārstāvētā materiāla daudzums

Suga	MRM ieguves avots	Stādu daudzums, gab.	Mikrovīdes režīms
Priede	Taigas sēklu plantācija	500	Paaugstinātas temperatūras apstākļi
Priede	Taigas sēklu plantācija	500	Kontrole siltumnīcas apstākļos
Priede	Sāvienas sēklu plantācija	500	Paaugstinātas temperatūras apstākļi
Priede	Sāvienas sēklu plantācija	500	Kontrole siltumnīcas apstākļos
Priede	Klīves sēklu plantācija	667	Paaugstinātas temperatūras apstākļi
Priede	Klīves sēklu plantācija	667	Kontrole siltumnīcas apstākļos
Priede	Klīves sēklu plantācija	667	Kontrole lauka apstākļos
Priede	Dravu sēklu plantācija	667	Paaugstinātas temperatūras apstākļi
Priede	Dravu sēklu plantācija	667	Kontrole siltumnīcas apstākļos
Priede	Dravu sēklu plantācija	667	Kontrole lauka apstākļos
Bērzs	Kalsnava-2 sēklu plantācija (Rietumu apgabalam)	500	Paaugstinātas temperatūras apstākļi
Bērzs	Kalsnava-2 sēklu plantācija (Rietumu apgabalam)	500	Kontrole siltumnīcas apstākļos

Priede

Uzsākot eksperimenta rezultātu analīzi, vispirms tika novērtēts, vai visos mikrovides apstākļos (turpmāk tekstā “režīms”) visu sēklu plantāciju pēcnācēju (turpmāk tekstā “izcelsmes”) stādu sākotnējais augstums ir vienāds. Divfaktoru dispersijas analīzes rezultāti parādīja, ka stādu sākotnējo augstumu būtiski ietekmēja gan režīms, gan izcelsme, gan režīma x izcelsmes mijiedarbība. Sākotnējā koku augstuma kvantitatīvās atšķirības starp Taigas, Klīves un Sāvienas izcelsmēm (neatkarīgi no režīma, pirms izvietošanas) bija nelielas, attiecīgi, $18,2\pm 0,28$ cm, $17,1\pm 0,19$ cm un $18,5\pm 0,20$ cm, bet Dravu materiālam augstums bija nozīmīgi mazāks – $11,9\pm 0,13$ cm. Pēc materiāla izvietošanas konkrēta režīma apstākļos (1.2.att.), konstatētas būtiskas atšķirības vienai un tai pašai izcelsmei starp režīmiem: Klīves plantācijai lauka apstākļos izvietotajiem kokiem sākuma augstums bija būtiski mazāks nekā abās siltumnīcās (kas savstarpēji neatšķīrās), savukārt Dravu plantācijai kontroles siltumnīcā izvietotajiem kokiem augstums bija būtiski mazāks nekā lauka un paaugstinātas temperatūras apstākļos (kas savstarpēji neatšķīrās). Sāvienas plantācijai kontroles siltumnīcā bija būtiski mazāks augstums nekā paaugstinātas temperatūras siltumnīcā. Vienīgi Taigas plantācijas kokiem sākotnējais augstums abos režīmos neatšķīrās ($p=0,69$).

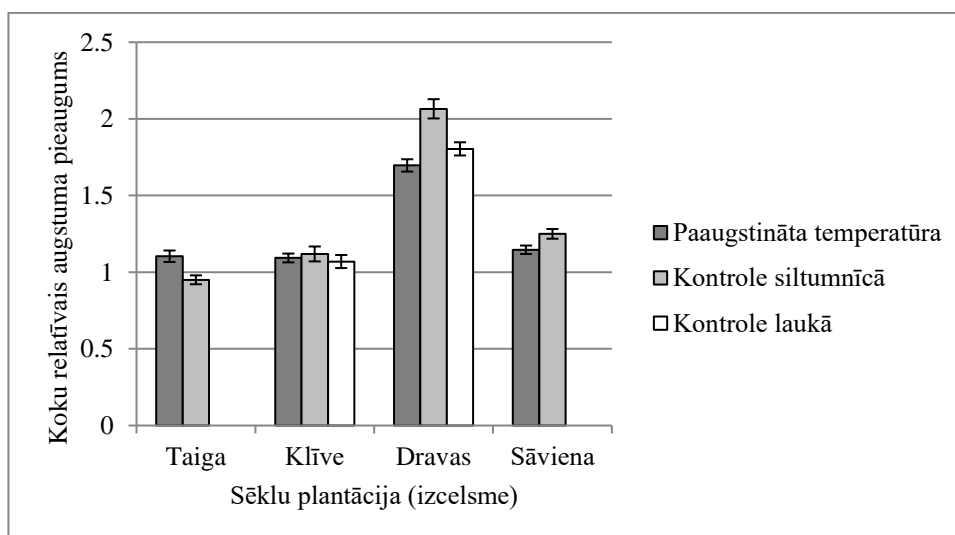


1.2.attēls. Koku sākotnējais augstums dažādām priedes izcelsmēm atšķirīgos režīmos.

Veģetācijas sezonas beigās iznīkušo koku bija nedaudz – saglabāšanās bija no 96% Sāvienas izcelsmei līdz 99% Klīvei. Lai raksturotu kopējā sezonas augstuma pieauguma atšķirības starp režīmiem un arī starp izcelsmēm, katram kokam aprēķināts relatīvais augstuma pieaugums, attiecinot absolūto augstuma pieaugumu pret koka sākotnējo augstumu, tādējādi mazinot koku sākotnējā augstuma atšķirību ietekmi. Kopumā neatkarīgi no režīma lielākais relatīvais pieaugums konstatēts Dravu izcelsmes kokiem ($1,85\pm 0,029$), mazāks Sāvienas ($1,20\pm 0,021$), vēl mazāks Klīves ($1,09\pm 0,024$) un Taigas ($1,03\pm 0,0240$) izcelsmes kokiem (starp visām izcelsmēm atšķirības statistiski būtiskas). Dravu izcelsmes kokiem bija nozīmīgi mazāks sākotnējais augstums un nozīmīgi lielāks relatīvais pieaugums, salīdzinot ar pārējo eksperimenta materiālu. Tā kā divfaktoru dispersijas analīze parādīja gan būtisku izcelsmes

ietekmi, gan būtisku režīma ietekmi, gan arī būtisku izcelsmes x režīma mijiedarbības ietekmi uz relatīvo augstuma pieaugumu, tad režīma ietekme analizēta katrai izcelsmei atsevišķi.

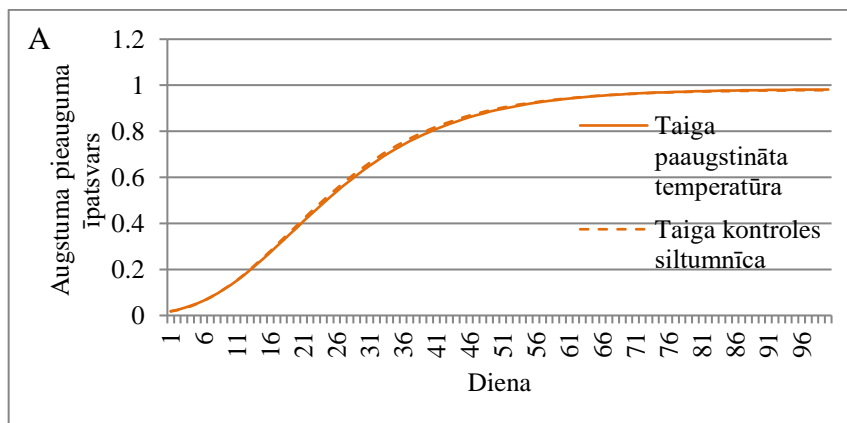
Izcelsmēm, kas pārstāvētas divos režīmos, t.i., abās siltumnīcās, konstatēti atšķirīgi rezultāti (1.3.att.). Taigas plantācijas pēcnācēji paaugstinātas temperatūras siltumnīcā sasnieguši būtiski lielāku relatīvo pieaugumu nekā kontroles siltumnīcā (attiecīgi $1,10 \pm 0,037$ un $0,95 \pm 0,029$), turpretī Sāvienas plantācijas pēcnācēju relatīvais pieaugums būtiski lielāks bija kontroles siltumnīcā, salīdzinot ar paaugstinātas temperatūras siltumnīcu (attiecīgi $1,25 \pm 0,032$ un $1,15 \pm 0,028$). Arī trijos režīmos pārstāvētajām izcelsmēm rezultāti bija savstarpēji atšķirīgi. Dravu izcelsmes pēcnācēji vislielāko relatīvo pieaugumu sasniedza kontroles siltumnīcā, mazāku lauka apstākļos, bet vismazāko – paaugstinātas temperatūras siltumnīcā (attiecīgi $2,07 \pm 0,063$, $1,80 \pm 0,043$ un $1,70 \pm 0,040$), visas atšķirības bija statistiski būtiskas. Arī Klīves izcelsmei vislielākais relatīvais pieaugums konstatēts kontroles siltumnīcā ($1,12 \pm 0,029$), bet tālāk sekoja koki paaugstinātas temperatūras siltumnīcā ($1,09 \pm 0,029$), un tad lauka apstākļos ($1,07 \pm 0,043$), tomēr jāuzsver, ka Klīves izcelsmei relatīvā pieauguma atšķirības starp režīmiem nebija statistiski būtiskas.

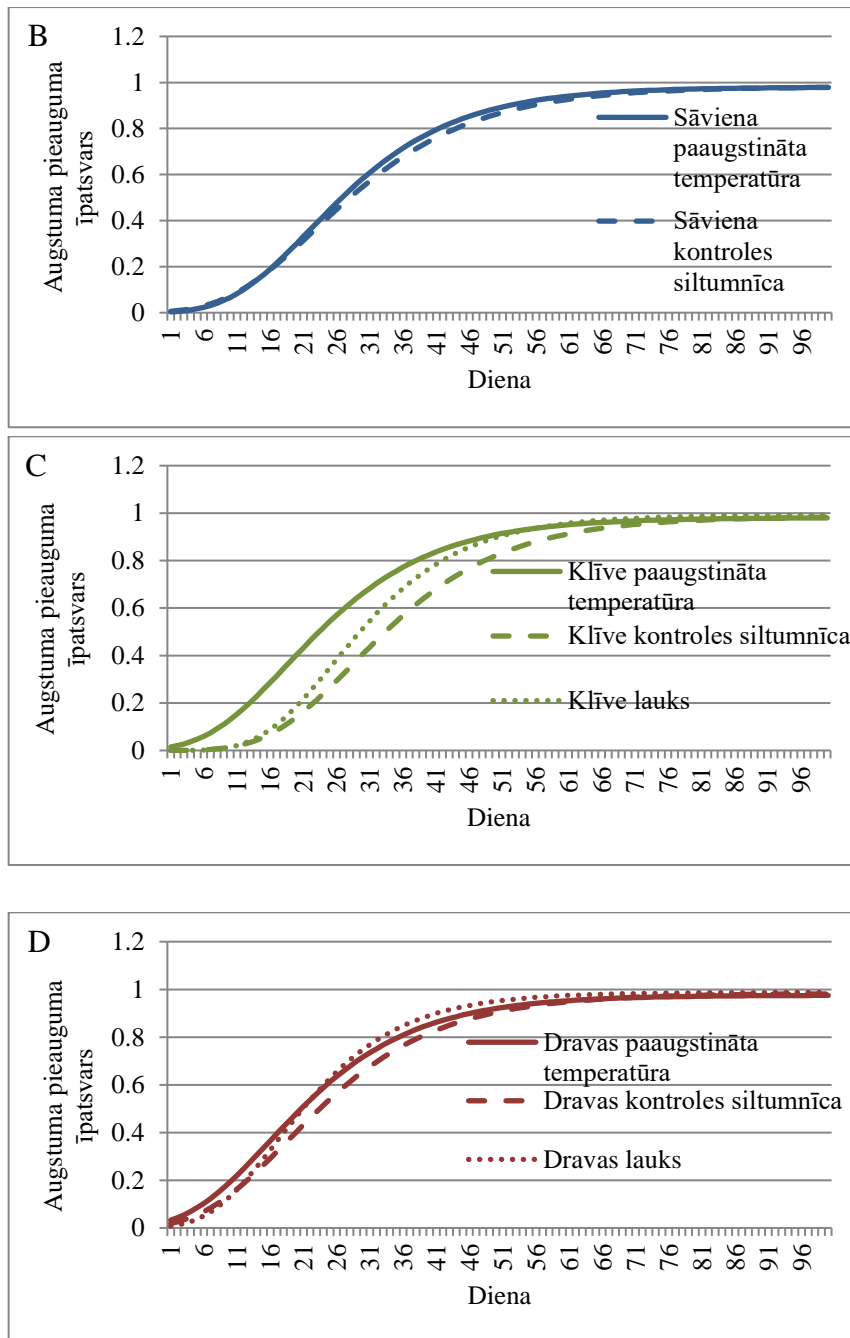


1.3.attēls. Koku relatīvais augstuma pieaugums priekš dažādām izcelsmēm atšķirīgos režīmos.

Aptuveni 20% no kopējā koku skaita tika iesaistīti augstuma pieauguma dinamikas novērojumā – regulāri uzmērīts augstums veģetācijas perioda laikā 10 reizes ar aptuveni nedēļas intervālu. Izmantojot šos mērījumu datus, augstuma pieauguma veidošanās raksturota ar *Gompertz* vienādojuma palīdzību. Katrai izcelsmei (1.4.att. A, B, C, D) salīdzināta augstuma pieauguma sezonālās veidošanās gaita dažādos režīmos audzētiem kokiem; atšķirību būtiskums noteikts, pielietojot vienfaktora dispersijas analīzi vienādojuma koeficientiem α (raksturo pieauguma maksimumu), β (raksturo pieauguma veidošanās sākuma fāzi) un k (raksturo līknes slīpumu). Taigas izcelsmes koki divos režīmos uzrādījuši līdzīgu augšanas gaitu – netika konstatētas būtiskas atšķirības nevienam no vienādojuma koeficientiem, tomēr – kā aprakstīts iepriekš (1.3.att.) - sezonas beigās relatīvais augstuma pieaugums paaugstinātas temperatūras apstākļos būtiski pārsniedza pieaugumu kontroles apstākļos. Otrai divos režīmos pārstāvētajai izcelsmei – Sāvienai – būtiski atšķirās līknes slīpumu raksturojošais koeficients k , bet ne pārējie

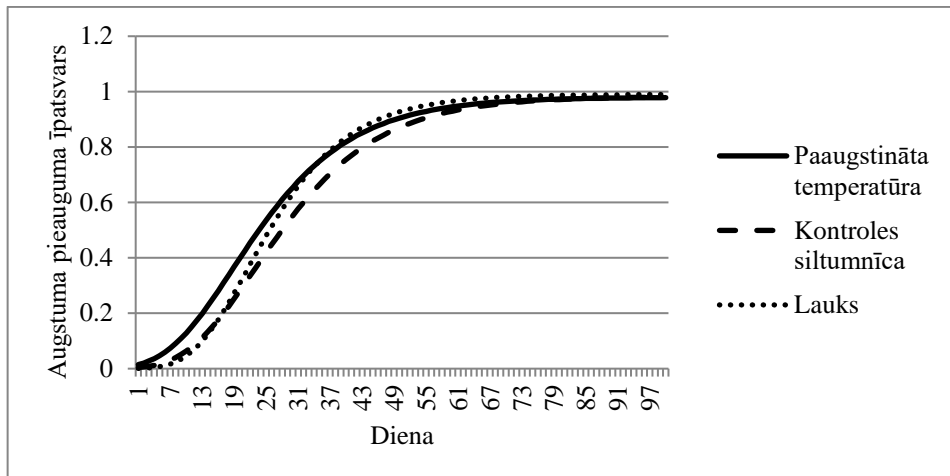
vienādojuma koeficienti. Kontroles siltumnīcā augušajiem kokiem līknes slīpums bija mazāks, t.i., pieauguma veidošanās bija mazāk strauja, tomēr sezonas beigās šie koki sasniedza būtiski lielāku relatīvo pieaugumu (1.3.att.) nekā paaugstinātas temperatūras siltumnīcā augušie. Trijos režīmos pārstāvētajām izcelsmēm - gan Klīves, gan Dravu izcelsmei - visiem vienādojuma koeficientiem konstatētas būtiskas atšķirības starp režīmiem. Klīves izcelsmei koeficients α būtiski atšķīrās starp paaugstinātas temperatūras siltumnīcu un lauka apstākļiem, koeficients β paaugstinātas temperatūras apstākļos būtiski atšķīrās no abiem pārējiem režīmiem, bet koeficients k bija būtiski atšķirīgs lauka apstākļos. Paaugstinātas temperatūras siltumnīcā pieauguma attīstības sākuma fāze (“pauze”) bija būtiski īsāka salīdzinājumā ar abiem pārējiem režīmiem, vienlaikus abās siltumnīcās pieauguma veidošanās straujums bija līdzīgs, bet lauka apstākļos pieauguma veidošanās bija salīdzinoši straujāka. Jāatzīmē, ka minēto pieauguma veidošanās gaitas atšķirību rezultātā sezonas beigās Klīves izcelsmei tomēr netika konstatētas būtiskas relatīvā pieauguma atšķirības starp režīmiem (1.3.att.). Dravu izcelsmei līdzīgi kā Klīves izcelsmei koeficients α būtiski atšķīrās starp paaugstinātas temperatūras siltumnīcu un lauka apstākļiem, un koeficients k bija būtiski atšķirīgs lauka apstākļos. Koeficients β Dravu izcelsmei bija būtiski atšķirīgs starp visiem režīmiem. Pieauguma veidošanās lauka apstākļos notika straujāk (koeficients k lielāks) nekā abās siltumnīcās. Sezonas beigās Dravu izcelsmei būtiski vislielāko relatīvo pieaugumu (1.3.att.) uzrādīja kontroles siltumnīcā augušie koki, kuriem pieaugums veidojās mazāk strauji nekā lauka apstākļos (un līdzvērtīgi paaugstinātas temperatūras apstākļiem), vienlaikus pieauguma sākuma fāze (“pauze”) bija garāka nekā paaugstinātas temperatūras siltumnīcā un īsāka nekā lauka apstākļos. Salīdzinoši mazāk strauja pieauguma veidošanās (kontroles siltumnīcā) rezultējās būtiski lielākā sezonas kopējā relatīvajā pieaugumā divām no eksperimentā iekļautajām izcelsmēm – Sāvienas un Dravu plantāciju pēcnācējiem.





1.4. attēls. Augstuma pieauguma veidošanās (augstuma pieauguma īpatsvars kā attiecība starp pieaugumu attiecīgā mērījumu dienā un kopējo pieaugumu) atšķirīgos režīmos dažādu izcelsmju priedēm: Taigas (A), Sāviens (B), Klīves (C) un Dravu (D).

Salīdzinot pieauguma veidošanās gaitu visos trijos režīmos kopumā neatkarīgi no izcelsmes (1.5.att.), konstatēts, ka lauka apstākļos visi trīs vienādojuma koeficienti būtiski atšķirās no citiem režīmiem, savukārt starp abām siltumnīcām būtiski atšķirās tikai koeficients β , bet ne α vai k . Paaugstinātas temperatūras apstākļos pieauguma veidošanās sākuma fāze bija īsāka nekā abos pārējos režīmos (pieaugums sākās ļoti drīz pēc stādu izvietojuma), bet pieauguma straujums (līknes slīpums) bija līdzīgs kā kontroles siltumnīcā. Lauka apstākļos bija visgarākā pieauguma sākuma fāze, un vienlaikus visstraujākā pieauguma veidošanās salīdzinājumā ar abām siltumnīcām.



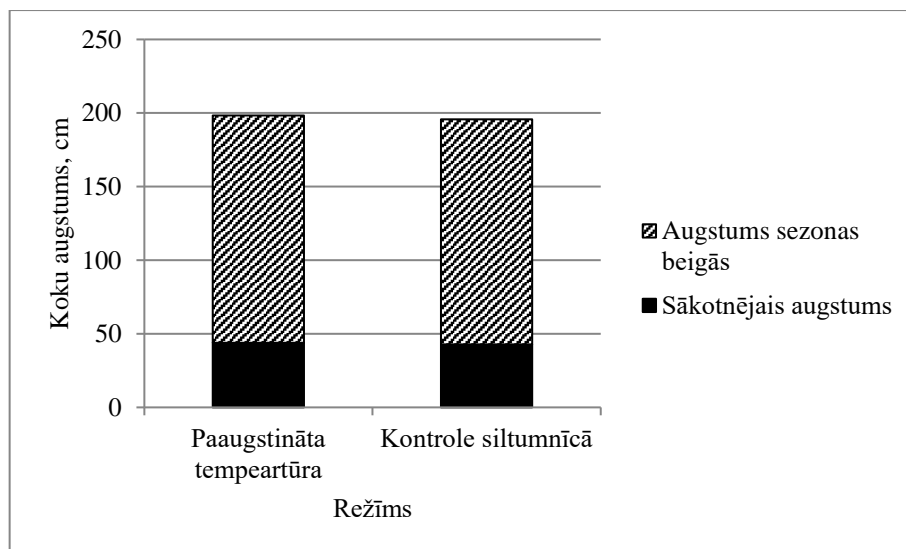
1.5.attēls. Augstuma pieauguma veidošanās (augstuma pieauguma īpatsvars kā attiecība starp pieaugumu attiecīgā mērījumu dienā un kopējo pieaugumu) atšķirīgos režīmos priecī neatkarīgi no koku izcelsmes.

Veicot divfaktoru dispersijas analīzi katram no *Gompertz* vienādojuma koeficientiem, konstatēts, ka koeficients α būtiski atšķirās starp režīmiem, bet ne starp izcelsmēm, savukārt koeficientus β un k būtiski ietekmēja gan režīms, gan izcelsme, gan šo abu faktoru mijiedarbība (koeficientam k attiecīgi $p < 0,001$, $p = 0,02$ un $p = 0,045$, bet koeficientam β visiem faktoriem $p < 0,001$). Tomēr modeļu determinācijas koeficientu R^2 vērtības bija samērā zemas – vienādojuma koeficientiem α , β un k tās bija attiecīgi 0,019; 0,108 un 0,081. Paaugstinātas temperatūras režīmā koeficients α būtiski atšķirās tikai starp divām izcelsmēm – Taigu un Dravām (Taigas izcelsmei sezonas beigās būtiski mazāks relatīvais pieaugums nekā Dravu izcelsmei), koeficients β būtiski atšķirās Sāvienas izcelsmei (būtiski garāka sākuma fāze nekā visām pārējām izcelsmēm), bet koeficients k – Taigas izcelsmei (būtiski mazāks līknes slīpums). Kontroles siltumnīcā konstatētas mazākas atšķirības starp dažādu izcelsmju koku pieauguma veidošanās gaitu: koeficienti α un k būtiski neatšķirās starp izcelsmēm, bet koeficients β tikai Klīves izcelsmei būtiski atšķirās no pārējām izcelsmēm (visgarākā sākuma fāze). Koeficients β būtiski atšķirās arī starp abām lauka apstākļos pārstāvētajām (Klīves un Dravu) izcelsmēm: Dravu izcelsmei, kam sākotnējais stādu augstums bija būtiski mazāks, sākuma fāze bija būtiski īsāka, vienlaikus pieauguma veidošanās turpmāk notika līdzīgi strauji (līdzvērtīgas koeficienta k vērtības) abām lauka apstākļos pārstāvētajām izcelsmēm.

Bērzs

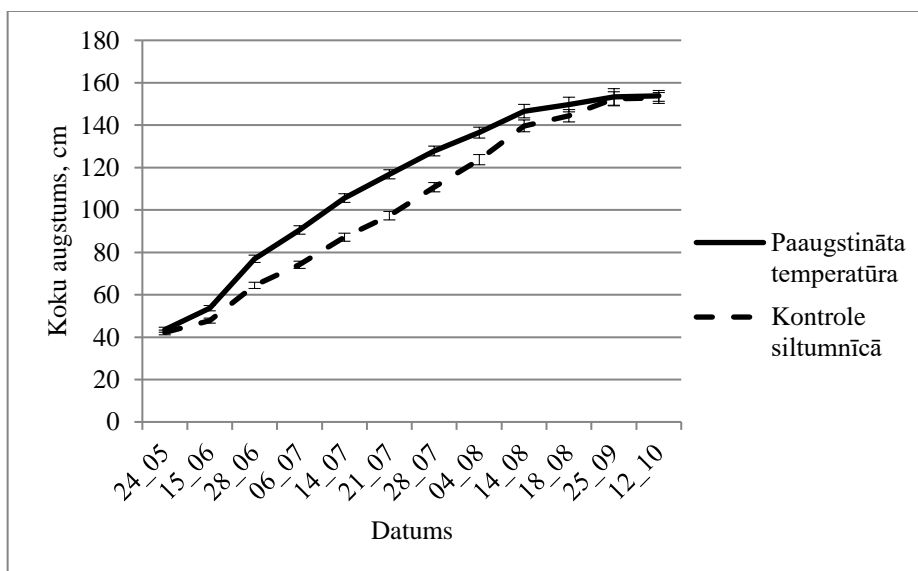
Bērzs pārstāvēts divos režīmos – paaugstinātas temperatūras un kontroles siltumnīcā – ar vienas izcelsmes viena veida stādāmo materiālu. Netika konstatētas statistiski būtiskas koku augstuma atšķirības eksperimenta sākumā starp paaugstinātas temperatūras un kontroles siltumnīcā izvietotajiem kokiem, kuru sākotnējais augstums bija attiecīgi $43,9 \pm 0,69$ cm un $42,9 \pm 0,72$ cm (1.6.att.). Arī sezonas beigās starp abos režīmos audzētajiem kokiem netika konstatētas būtiskas atšķirības: sezonas beigu augstums paaugstinātas temperatūras siltumnīcā bija $154,4 \pm 2,44$ cm un kontroles siltumnīcā – $152,9 \pm 2,21$ cm, absolūtais augstuma pieaugums

attiecīgi $110,5 \pm 2,19$ cm un $110,0 \pm 2,02$ cm, relatīvais augstuma pieaugums attiecīgi $2,57 \pm 0,059$ un $2,65 \pm 0,065$.



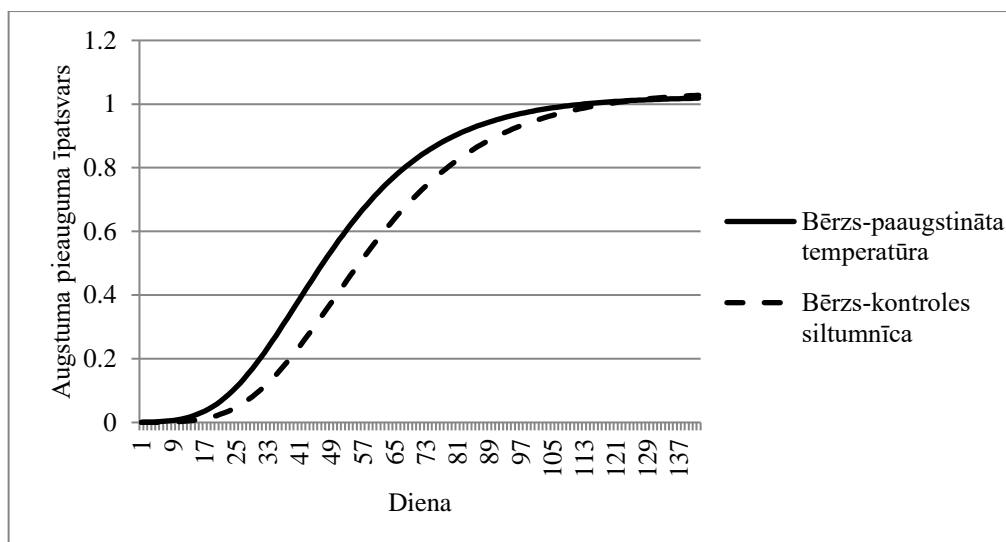
1.6.attēls. Bērza augstums eksperimenta sākumā un sezonas beigās paaugstinātas temperatūras un kontroles siltumnīcās.

Bērzam 38% no kopējā eksperimentā iesaistīto koku skaita tika veikti augstuma pieauguma dinamikas novērojumi – regulāri uzmērīts augstums veģetācijas perioda laikā 12 reizes ar aptuveni nedēļas intervālu (1.7.att.).



1.7.attēls. Augstuma pieauguma veidošanās veģetācijas sezonas laikā bērzam.

Izmantojot pieauguma dinamikas mērījumu datus, augstuma pieauguma veidošanās katrā no audzēšanas režīmiem raksturota ar *Gompertz* vienādojuma palīdzību (1.8.att.).



1.8.attēls. Bērza augstuma pieauguma veidošanās (augstuma pieauguma īpatsvars kā attiecība starp pieaugumu attiecīgā mērījumu dienā un kopējo pieaugumu) atšķirīgos režīmos.

Visiem trim šī vienādojuma koeficientiem konstatētas statistiski būtiskas atšķirības starp abiem režīmiem. Koeficienta β vērtības norādīja uz salīdzinoši vēlāku pieauguma veidošanās sākumu bērzam kontroles siltumnīcā, savukārt koeficienta k vērtības – uz straujāku pieauguma veidošanos (pēc tā sākšanās) paaugstinātas temperatūras siltumnīcā. Tomēr atšķirības pieauguma veidošanās gaitā neradīja statistiski būtiskas koku augstuma (vai pieauguma) atšķirības sezonas beigās.

Kopumā var secināt:

novērtējot koku augstuma kopējo pieaugumu, kā arī tā sezonālās veidošanās gaitu, priedei konstatētas statistiski būtiskas atšķirības gan starp dažādiem vides apstākļiem, gan starp dažādām izcelsmēm. Tomēr pašreizējie eksperimenta rezultāti neapstiprina tādu augstuma pieauguma veidošanās gaitu (konkrētā režīmā vai konkrētai izcelsmei), kura viennozīmīgi rezultētos kā būtiski atšķirīga (lielāka vai mazāka) sezonas kopējā relatīvā pieauguma vērtība. Turklāt pretēji sagaidāmajam, atšķirības konstatētas pat starp Taigas un Klīves izcelsmēm, kuras bija pārstāvētas ar izteikti viendabīgu materiālu – abās plantācijās ir praktiski vienāds māteskoku klonu sastāvs (kūdras augsnes augušanas priedes), kā arī izmantotais stādmateriāls abām izcelsmēm bija vienāda veida (2-gadīgi ietvarstādi). Starp abām šīm izcelsmēm konstatētas nozīmīgas gan kopējā relatīvā augstuma pieauguma, gan tā veidošanās gaitas atšķirības. Kopumā priedei atzīmējama tendence, ka, salīdzinājumā ar pārējiem režīmiem, paaugstinātas temperatūras režīmā koku pieaugums iesākās agrāk (koeficienta β vērtība mazāka), savukārt lauka apstākļos pieaugums notika salīdzinoši straujāk (koeficienta k vērtība augstāka), tomēr jāņem vērā, ka šo tendenci apstiprina tikai divu izcelsmju (Klīve, Dravas) pieauguma analīzes rezultāti. Pārējām divām izcelsmēm (Taiga, Sāviena) pieauguma veidošanās abās siltumnīcās sākās līdzīgi, bet lauka apstākļos šīs izcelsmes nebija pārstāvētas.

Ņemot vērā iepriekš veikto dendrohronoloģijas analīžu rezultātus, kas atspoguļoti projekta „Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” 2014. un 2015. gada pārskatos, kā arī stumbra posmu aizmetņu formēšanos galotnes pumpura veidošanās laikā, precīzāku

secinājumu izdarīšanai rekomendējams vismaz 2 priežu sēklu plantāciju pēcnācējiem turpināt mērījums vēl vienu augšanas sezonu. Līdzīgi būtu rekomendējams turpināt mērījumus vēl vienu sezonu arī bērzam, kam netika konstatētas statistiski būtiskas sezonas kopējā relatīvā pieauguma atšķirības starp abiem režīmiem, tomēr paaugstinātas temperatūras režīmā pieauguma veidošanās sākās agrāk (līdzīgi kā divām izcelsmēm priedei) un turpinājās straujāk nekā kontroles siltumnīcā.

2. Priežu sēklu plantāciju pēcnācēju salcietības pārbaudes

Sēklu plantāciju, kuru ierīkošanai pluskoki atlasīti uz kūdras augsnēm (Taigas vai Klīve), pēcnācēju audzēšana divos dažādos temperatūras režīmos (neizmainīts un paaugstināta temperatūra) un to salcietības pārbaudes

Salcietība veidošanos nosaka konkrētā genotipa reakcija uz fotoperiodu, temperatūru (galvenokārt) un ūdens pieejamību (deficītu). Salcietība nav konstanta visā ziemas periodā, tā mainās atkarībā no apkārtējās vides izmaiņām. Iepriekšējā pētījuma posmā tika konstatēts, ka priedei, kas augusi paaugstinātas temperatūras apstākļos (+4°C temperatūras režīmā) pietiekama salcietības izveidošanās notiek tikai sākot ar janvāri. Tas liecina, ka, paaugstinoties vidējai gaisa temperatūrai, bet saglabājoties aukstu periodu iestāšanās iespējamībai, priedei vismaz pirmajos augšanas gados varētu būt ievērojams sala bojājumu risks. Relatīvi augstāka salcietība konstatēta sēklu plantāciju, kuru veidošanai kloni pluskoki atlasīti audzēs uz kūdras augsnēm (Taigas un Klīve), pēcnācējiem.

Šajā pētījuma posmā veikta materiāla audzēšana saskaņā ar 1. darba uzdevumā aprakstīto metodiku, tas sagatavots salcietības testu veikšanai, kuru izpildes metodika aprakstīta šī pētījuma 2016. gada starpatskaitē.

Nav konstatētas salcietības atšķirības sēklu plantāciju Taigas un Klīve pēcnācēju un sēklu plantācijas Dravas pēcnācēju salcietības iestāšanās laikā; tā bija novērojama jau pirmajos saldēšanas ciklos (31.10., 7.11., 14.11.), kas veikti atbilstoši sākotnēji definētajai metodikai. Jāņem vērā, ka materiāls pēc audzēšanas, glabājoties poligonā, jaut ticis pakļaus pirmajai rudens salnai.

3. Introducēto un/vai reti sastopamo koku sugu pētījumi

Reto koku sugu stādījumu ierīkošana: 2 dižskābaržu un 2 sarkano ozolu jaunaudzēs.

Veikta paredzētā stādījumu ierīkošana:

1) dižskābardim – MPS Auces meža novadā 36. kvartāla 8. un 10. nogabalā, kā arī 114. kvartāla 14. nogabalā (3.1. att.)



3.1. attēls. Dižskābarža stādījumu ierīkošana

2) sarkanajam ozolam – MPS MPS Auces meža novadā 36. kvartāla 18. un 21. nogabalā, kā arī 36. kvartāla 24. nogabalā

Dižskābaržu stādījuma segaudzes kopšana ar dažādām intensitātēm.

Dižskābaržu stādījumā MPS Kalsnavas mežu novada 160. kvartālā (stādījums ierīkots zem audzes vainagu klāja) veikta koku izzīmēšana, sagatavojot platību kopšanas veikšanai, un paredzot šādus variantus – esošā biezuma samazināšana līdz 0.5 kā valdošo koku sugu saglabājot vai nu bērzu, vai priedi, paaugas, pameža un II stāva egļu izzāģēšana; tikai paaugas, pameža un II stāva egļu izzāģēšana; kontrole – bez kopšanas; kontrole – izzāģēti visi citu sugu koki. Platībā ir izņemts ciršanas paliecinājums un paredzēts veikt izstrādes darbus ziemas periodā.

Dižskābaržu augšanas gaitu raksturojošo koeficientu aprēķināšana Silavas (J.Donis) augšanas gaitas modeļiem, veicot atkārtotu ilglaicīgo parauglaukumu (6) pārmērīšanu un izmantojot 15 paraugkoku detalizētu analīžu datus.

Veikta plānotā paraugkoku zāģēšana MPS Šķēdes meža novadā 14. kvartāla 3.nogabalā un 20. kvartāla 8. nogabalā, kā arī 21. kvartāla 1;14;16;26;27;28;30. nogabalos, tos izvēloties saskaņā ar šī pētījuma 2016. gada starpatskaitē aprakstīto metodiku. Veikta paraugkoku datu apstrāde un tie izmantoti koku augstuma augšanas gaitas modeļu koeficientu iegūšanai. Veikta prof. A. Dreimaņa ierīkoto parauglaukumu 21. kvartāla 1., 25., 27. nogabalā 14. kvartāla 3. nogabalā, 23. kvartāla 25. nogabalā un 26. kvartāla 7. nogabalā pārmērīšana un datu sagatavošana, lai starpatskaitē iekļautu koeficientus šīs koku sugas caurmēra augšanas gaitas raksturošanai.

Dižskābarža augstuma pieaugums modelēts, izmantojot nelineārus augšanas modeļus, kas pārveidoti algebriskās diferences formā (Cieszewski, Bailey, 2000). Modelēšanā izmantoti Čapmana-Ričardsa, Hosfelda, Hosfelda I, Kinga-Prodana, log-loģistiskais, Slobodas un Stranda vienādojumi (3.1.tab.). Izmantotas J. Doņa modeļu iestrādnes, bet pielietoti jaukta tipa modeļi, neatkarības (mērījumi grupēti atbilstoši paraugkokam un stādījumam) problēmas novēršanai. Modeļi raksturoti, izmantojot biežāk izmantotos statistiskos rādītājus. Veikts grafisks salīdzinājums, kā arī novērtēta modeļu bioloģiskā realitāte. Dižskābarža augstuma pieauguma veidošanās gaita Šķēdes MPS salīdzināta ar pieauguma tabulām, kas izstrādātas sugas areāla ziemeļu robežas apvidiem Zviedrijas dienvidu reģionā (Carbonnier, 1971).

Dižskābarža augstuma pieauguma modelēšanā izmantotie augšanas modeļi bāzes un
vispārinātās algebriskās diferences formā

Bāzes forma	Vispārinātās algebriskās diferences forma
<p>Čapmana-Ričardsa:</p> $h = a_1[1 - \exp(-a_2 t)]^{a_3},$ <p>Audzes specifiskie parametri: a_1, a_3</p> <p>Hosfelda: $h = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{-a_3}}$</p> <p>Audzes specifiskie parametri: a_1, a_2</p> <p>Hosfelda I:</p> $h = \frac{t^2}{a_1 + a_2 t + a_3 t^2}$ <p>Audzes specifiskie parametri: a_2, a_3</p> <p>Kinga-Prodana:</p> $h = \frac{t^{a_1}}{a_2 + a_3 t^{a_1}}$ <p>Audzes specifiskie parametri: a_2, a_3</p> <p>Log-loģistiskais:</p> $h = \frac{a_1}{1 + a_2 \exp(-a_3 \log(t))}$ <p>Audzes specifiskie parametri: a_1, a_3</p> <p>Slobodas:</p> $h = a_1 \exp\left[-a_2 \exp\left(\frac{a_3}{(a_4 - 1)t^{(a_4 - 1)}}\right)\right]$ <p>Audzes specifiskie parametri: a_2</p> <p>Stranda:</p> $h = \left(\frac{t}{a_1 + a_2 t}\right)^{a_3}$ <p>Audzes specifiskie parametri: a_1, a_2</p>	<p>$h_1 = h_0 \left(\frac{1 - \exp(-b_1 t_1)}{1 - \exp(-b_1 t_0)}\right)^X$, kur $X = b_2 + \frac{b_3}{0.5(\psi + \sqrt{\psi^2 + 4b_3\phi})}$, kur $\phi = \ln(h_0) - b_2\phi$, un $\phi = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$</p> $h_1 = \frac{b_1 + \frac{h_0 - b_1}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}{1 + \frac{t_1^{-b_3} b_2 (h_0 - b_1)}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}}$ $h_1 = \frac{t_1^2}{b_1(1 + t_1^2) + \frac{t_1(1 + b_2 t_1)(t_0^2(1 - b_1 h_0) - b_1 h_0)}{t_0 h_0(1 + b_2 t_0)}}$ $h_1 = \frac{t_1^{b_1}}{b_2 + b_3 \left(\frac{t_0^{b_1}}{h_0} - b_2\right) + \left(\frac{t_0^{b_1}}{h_0} - b_2\right) \frac{t_1^{b_1}}{b_3 + t_0^{b_1}}}$ $h_1 = \frac{b_1 + X}{1 + \frac{X \exp(b_3 \log(t_1))}{4b_2 \exp(b_3 \log(t_0)) h_0^{0.5}}}$, kur $X = 0.5(h_0 - b_1 + ((h_0 - b_1)^2 +$ $4b_2 \exp(b_3 \log(t_0)) h_0^{0.5})^{0.5})$ $h_1 = b_1 \left(\frac{h_0}{b_1}\right)^{\exp\left(\frac{b_2}{(b_3 - 1)t_1^{b_3 - 1}} - \frac{b_2}{(b_3 - 1)t_0^{b_3 - 1}}\right)}$ $h_1 = \left[\frac{t_1}{\left(\frac{t_0 \left(\frac{1}{h_0^{b_3} - b_1}\right)}{1 + b_2 t_0}\right) + t_1 \left(b_1 + b_2 \left(\frac{t_0 \left(\frac{1}{h_0^{b_3} - b_1}\right)}{1 + b_2 t_0}\right)\right)} \right]^{b_3}$

Pārbaudītie modeļi uzrādīja statistiski ticamu atbilstību mērījumiem, un to koeficienti bija būtiski (koeficientu t-vērtības > 1,9; 3.2.tab.).

3.2.tabula

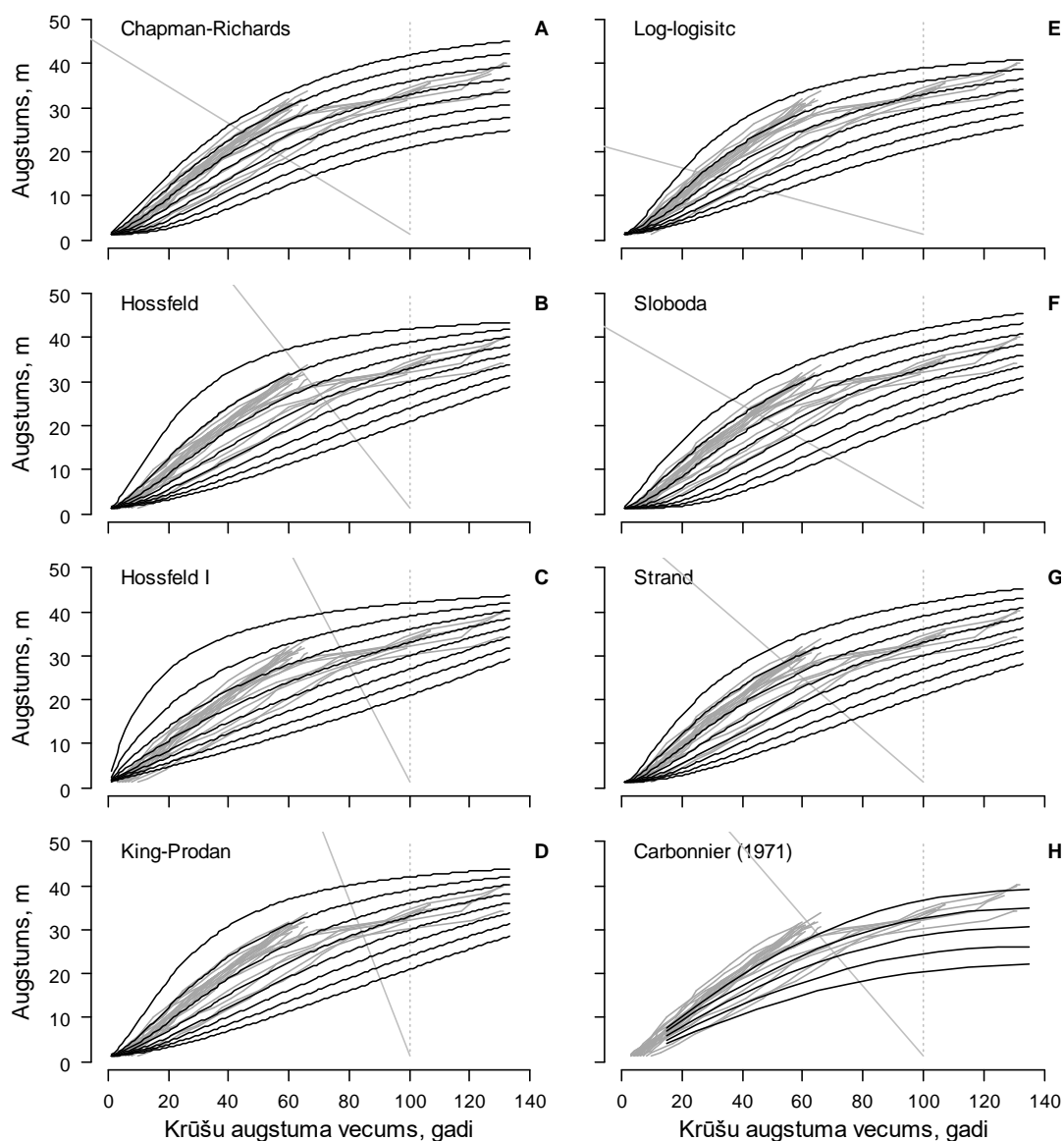
Modeļu parametri un to precizitāte (t-vērtības), kā arī modeļu kopējo precizitāti raksturojošie rādītāji (vidējā absolūtā kļūda (MR), atlikumu standartkļūda (RSE, RMSE), Akaike informācijas kritērijs (AIC), pielāgotā R^2 vērtība, kā arī nejaušo faktoru kopējā variācija (VAR))

	Čapmana-Ričardsa	Hosfelda	Hosfelda I	Kinga-Prodana	Log-logistiskais	Slobodas	Stranda
Koeficientu vērtības							
b1	0,0227	43,7466	0,0228	1,576	43,803	52,9402	0,1789
b2	-9,8636	121,078	-0,0054	118,678	-104,29	0,2502	-0,0034
b3	42,6561	1,5954		-5281,7	-1,6153	0,6489	2,2777
Koeficientu precizitāte (t-vērtība)							
b1	16,88	10,36	11,47	37,15	11,83	7,8	8,48
b2	1,91	2,65	4,7	2,17	0,06	7,57	2,03
b3	2,23	37,81		2,03	38,12	12,98	15,7
Modeļu raksturojums							
MR (m)	0,48	0,51	0,72	0,52	0,53	0,49	0,51
RSE (m)	0,6	0,65	0,83	0,65	0,67	0,63	0,64
RMSE (m)	0,6	0,64	0,82	0,65	0,66	0,62	0,64
AIC	660,3	685,3	835	686,9	694,3	656,8	677,7
Piel. R^2	0,9963	0,9956	0,9958	0,9956	0,9954	0,9959	0,9958
VAR (koks)	0,317	1,125	0,133	0,013	0,432	0,721	0,009
VAR (audze)	0,011	1,965	2,231	2,023	0,414	0,168	0,377
VAR (atlikuma)	0,367	0,418	0,553	0,422	0,441	0,384	0,409

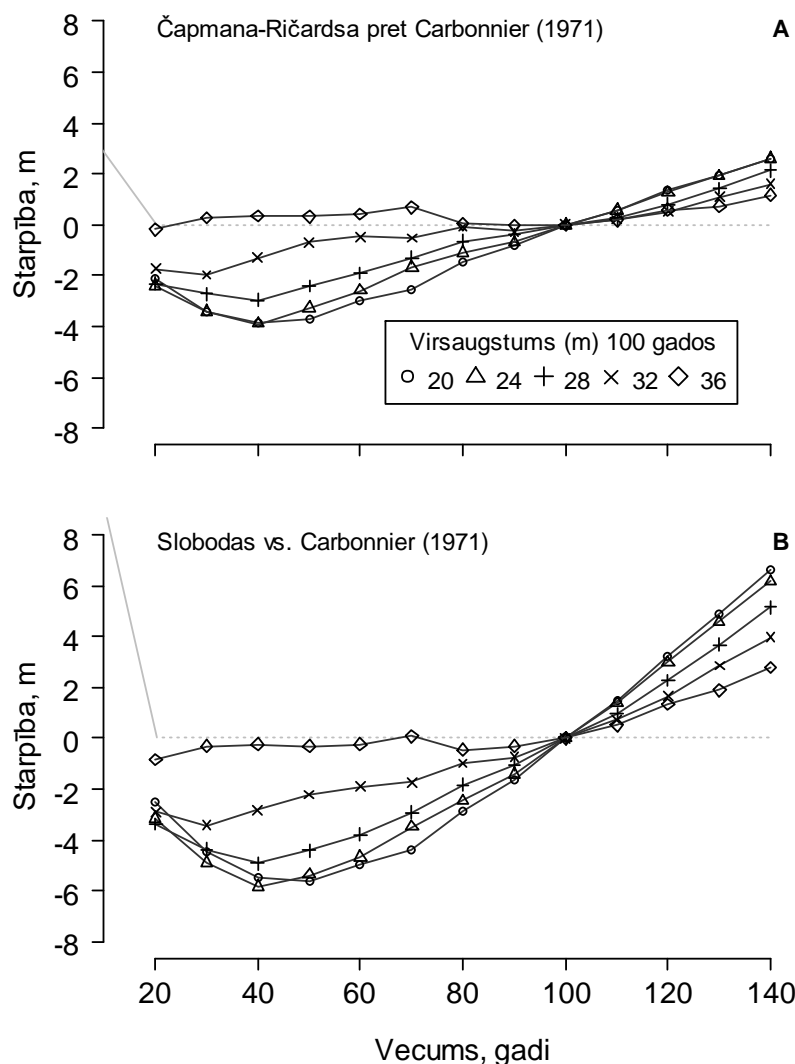
Tomēr koeficientu precizitāte atšķiras starp modeļiem, norādot uz atšķirīgu piemērotību dižskābarža augstuma pieaugumam. Balstoties uz matemātiskā modeļa atbilstību novērojumiem (AIC), Sloboda un Čapmana-Ričardsa modeļi parādīja visaugstāko spēju aprakstīt novērojumus. Šie modeļi, attiecīgi, uzrādīja arī zemākās kļūdas. Veicot grafisku novērtējumu (3.2.att.), redzams, ka šie modeļi vislabāk atbilda bioloģiskā reālisma principam, jo modelētās augšanas gaitas līknes maksimāli ietvēra empīriskos mērījumus, kā arī atsevišķu virsaugstuma bonitāšu līknes nebija pārspīlēti optimistiskas. Piemēram, Hosfelda modeļu prognozes augstākajām virsaugstuma bonitātēm bija uzkrītoši pārlielu optimistiskas. Līdz ar to var secināt, ka, izmantojot izvēlēto paraugkopu, ir iespējams ticami modelēt dižskābarža

augstuma veidošanos Latvijas rietumu daļā. Izmantojot šo pašu principiālo pieeju, līdzīgs secinājums izdarīts arī par caurmēra pieauguma veidošanos.

Dižskābarža augstuma pieaugums Šķēdes MPS (3.2.att.) pārspēja Zviedrijas dienvidu daļā novēroto (cf. Carbonnier, 1971), it īpaši jaunākās (otrās) paaudzes kokiem, kas uzrādīja pārāku augstuma pieaugumu. Salīdzinot labākos modeļus ar augšanas tabulām, redzams (3.3.att.), ka augšanas tabulas (cf. Carbonnier, 1971) sistemātiski pārvērtē augstuma pieauguma veidošanos visās virsaugstumu bonitātēs. Pieauguma veidošanās atšķirība starp pirmās un otrās paaudzes dižskābaržiem var tikt saistīta ar dabisko un antropogēno (piemērotākā stādmateriāla) atlasī.



3.2. attēls. Nelineārie dižskābarža aušanas modeļi (melnās līnijas), kas izveidoti, balsoties uz stumbra analīzes datiem (pelēkās līnijas) bonitātes klasēm 100 gadu vecumā ar trīs metru intervālu (A–G), kā arī Zviedrijas dienvidu daļas pieauguma liknes (H; cf. Carbonnier, 1971) ar 4 m virsaugstuma bonitāšu intervāliem (100 gadu vecumā).



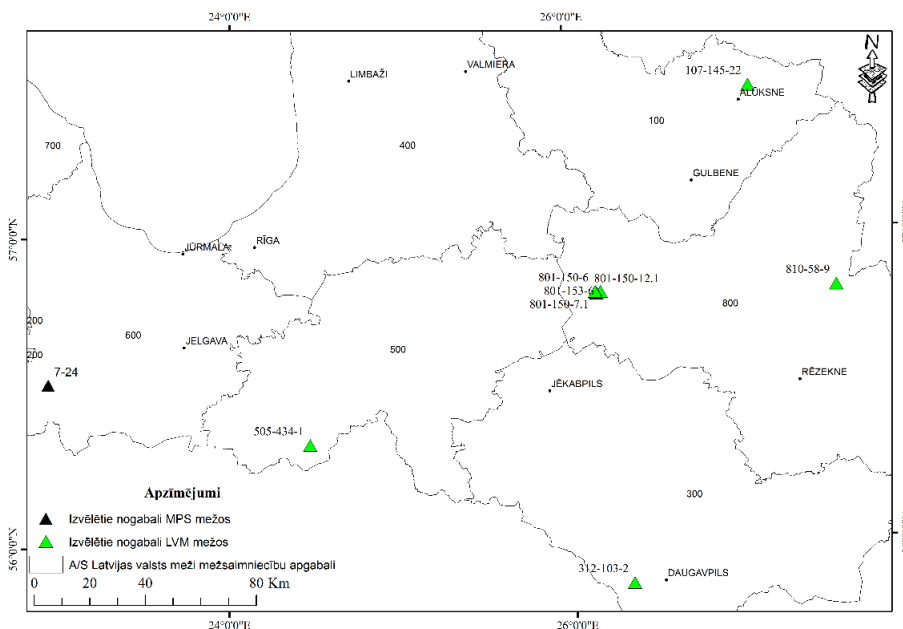
3.3.attēls. Čapmana-Ričardsa un Slobodas dižskābarža virsaugstuma modeļu salīdzinājums ar Zviedrijas dienvidu daļas augšanas tabulām (cf. Carbonnier, 1971).

Novērotā augstuma pieauguma veidošanas gaita, kā arī augstā stādījumu saglabāšanās (Puriņa et al., 2016) norāda uz sugas augsto mežsaimniecisko potenciālu, it īpaši Latvijas rietumu daļā. Iegūtie koeficienti dižskābaržu augšanas gaitu raksturošanai izmantojami LVMI Silava izveidotajos augšanas gaitas modeļos, kuru attīstīšana notiek a/s “Latvijas valsts meži” pasūtīta un finansēta, LVMI Silava īstenota pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” ietvaros.

Patstāvīgo parauglaukumu ierīkošana un uzmērīšana dabiskās atjaunošanas gaitas un kopšanas režīma ietekmes vērtēšanai 10 kļavu audzēs

Visā Latvijas teritorijā tika izvēlētas 26 Kļavu audzes, no kurām 23 objektus apsaimnieko AS „Latvijas valsts meži”, un atlikušos trīs “Meža pētīšanas stacija”, kur potenciāli būtu iespējams ierīkot ilglaicīgos zinātniski pētnieciskos objektus. Ņemot vērā faktisko audžu sastāvu, nogabala reljefu, izvēlētas 10 audzes (3.4.att.). Katrā objektā atkarībā

no nogabala platības, konfigurācijas, reljefa ierīkoti 1 – 6 parauglaukumi (parceles), kuru platība nav mazāka par 0,16 ha. Kopā visos desmit objektos ir ierīkotas 29 parcelas no kurām 7 parcelas ir nekopts/kontrolē un 21 parcele ar noteiktu koku skaitu uz vienu hektāru un kļavas grupās (citas koku sugas nozāgētas, neizzāgējot kļavas): 400 kļavas ha⁻¹ – 3 parcelas, 650 kļavas ha⁻¹ – 2 parcelas, 800 kļavas ha⁻¹ – 7 parcelas, 1300 kļavas ha⁻¹ – 4 parcelas, 1800 kļavas ha⁻¹ – 3 parcelas, kļava grupās – 3 parcelas (3.3. att.).



3.4.attēls. Kļavu audžu izvietojums Latvijas teritorijā

Visās ierīkotajās parcelēs ir veikta parauglaukumu ierīkošana audžu taksācijas rādītāju noteikšanai.

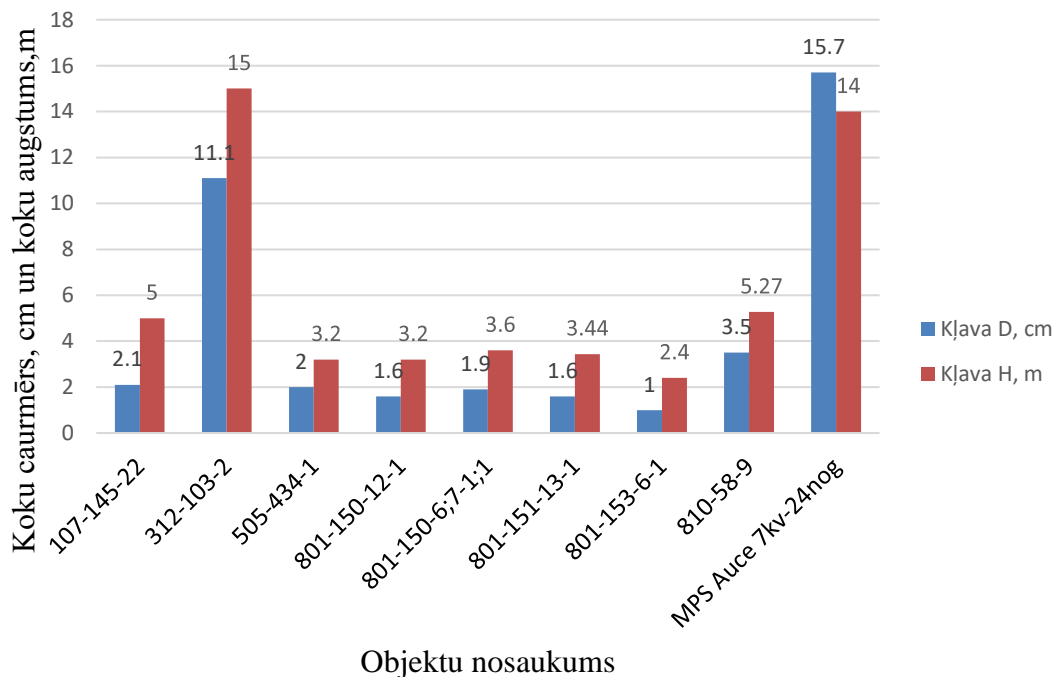
3.3. tabula.

Parceļu ar dažādu biežumu izvietojums kļavu audzēs

Apsaimniekotājs	Kv.apg-kv-nog-Anog	400 Kļ	650 Kļ	800 Kļ	1300 Kļ	1800 Kļ	Kļ (gr)	nekopts/kontrolē
LVM	107-145-22			1				1
LVM	312-103-2	1	1	2				1
LVM	505-434-1			2	1	1	5225	1
LVM	801-150-12-1			1		1		1
LVM	801-150-6/7-1/1				1	1		
LVM	801-151-13-1				1			
LVM	801-153-6-1						4894	
LVM	810-58-9		1	1	1		1237	1
MPS	7kv 24nog	1						1
MPS	14kv 2nog	1						1

Uzmērot kokus ierīkotās (nekoptās/kontroles) parcelēs pēc apļveida parauglaukuma metodes, ir secināts, ka biezāka paauga ir ar 60250 kokiem ha⁻¹ un mazākais paaugas koku skaits uz vienu hektāru ir 8300 koki (3.4. tab.).

Ierīkotajos pētnieciskos objektos kļavu taksācijas rādītāji ir līdzīgi un to caurmērs vidēji ir 18 mm, augstums 3,3 m; izņemot divus objektus, kur koku caurmērs ir 13 cm un vidējais koku augstums 14,5 m (3.5. att.).



3.5.attēls. Kļavu taksācijas rādītāji

Jaunaudžu taksācijas rādītāji kontroles parcelēs bez kļavas

Apsaimniekotajs	Kv.apg-kv-nog-Anog	Biezums koki ha-1	Egle		Bērzs		Apse		Blīgzna		Lazda		Ieva		Sausserdis	
			D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m
LVM	107-145-22	60250		1,2	95	9,5	86	12	12	3,5	8	2,4	4	1,35		0,7
LVM	312-103-2	8300		0,75	187	17,5						0,7				0,5
LVM	505-434-1	38100									19	3,5	5	1,7		0,65
LVM	801-150-12-1	22500			11,5	2,8			10	2,55	9,5	2,35				
LVM	810-58-9	29300	15	1,4			61	8,7	36	4,9	13	3,5				
MPS	7kv 24nog	17500		0,25		0,6		0,8				1,2		1		0,4
MPS	14kv 2nog	28400			70	7,1					20	0,9				

Apsaimniekotajs	Kv.apg-kv-nog-Anog	Ozols		Liepa		Pīlādzis		Priede		Irbene		Plūškoks	
		D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m	D, mm	H, m
LVM	107-145-22												
LVM	312-103-2	45	5		0,6		0,6						
LVM	505-434-1							0,65	4	1,5			
LVM	801-150-12-1					3,5	1,4						
LVM	810-58-9	3	1,4	17	3,4		1,1						
MPS	7kv 24nog						0,45						1,3

4. Priežu caurmēra pieaugumu ietekmējošo faktoru izmaiņas nākotnes klimatā

Pētījuma uzdevuma izpildei būtiski novērtēt no klimatiskajiem faktoriem atkarīgu koeficientu izmantošanas lietderību un veidu augšanas gaitas modeļos to precizitātes paaugstināšanai. Šim mērķim iegūti un izmantoti dati 121 koku no 22 parauglaukumiem sešos nogabalos (701_112_28, 701_115_8, 703_74_17, 704_8_21, 706_336_4, 706_393_12). Ņemti tikai tie koki, kurus bija iespējams savstarpēji šķērsdatēt, t.i., mērījumos neuzrādījās iztrūkstošās vai papildus izmērītās gadskārtas. Modeļos kā klimatiskos datus iekļāva konkrētā gada februāra vidējo gaisa temperatūru un aprīļa mēneša sausuma indeksa vērtības (SPEI), ko ņēma no CRU 3.24 datu masīva. Šie rādītāji izraudzīti, jo uzrādīja augstāko korelāciju ar gadskārtu hronoloģijas vērtībām.

Par pamatu koku diametra izmaiņu laikā modelēšanai izraudzīts Hossfeld IV modelis (saukts arī par McDill-Amateis augšanas modeli) (Sharma et al. 2015), ko izmanto arī LVMI Silava realizētos augšanas gaitas pētījumos:

$$D_1 = \frac{b_0}{1 - \left(1 - \frac{b_0}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3}}$$

Modelī D_1 ir koka diametrs konkrētajā gadā, D_0 - koka diametrs iepriekšējā gadā, t_0 koka kambiālais vecums iepriekšējā gadā, t_1 - koka kambiālais vecums konkrētajā gadā.

Modeļa koeficientu aprēķināšanai izmantota programmas R 3.4.2 (R Core Team 2017) pakete nlme (Pinheiro et al. 2017). Modeļos parauglaukuma ID un koka ID izmantoja kā pakārtotus nejaušos (random) efektus, lai ņemtu vērā, ka no viena parauglaukuma ir vairāki koki, kā arī, ka no katra koka ir vairākas datu rindas. Modeļiem pārbaudīja atlikuma vērtības. Tā kā tās uzrādīja augstu autokorelāciju, tad izveidoja jaunus modeļus ar autokorelācijas struktūru (AR1 un ARMA). Labāko modeli izraudzījās, balstoties uz AIC vērtībām, kā arī apskatot prognozētās diametra pieauguma līknes, lai tās atbilstu bioloģiski iespējamai augšanas gaitai.

Izveidoja trīs modeļu saimes. Pirmajā modelī izmantoja oriģinālo Hossfeld, papildus modelī tikai iekļaujot autokorelācijas struktūru.

Otrajā modelī iekļāva klimatisko faktoru ietekmi tikai uz koeficientu b_0 (bez autokorelācijas struktūras un ar to):

$$D_1 = \frac{b_0 + b_1 * T_{feb} + b_2 * SPEI_{apr}}{1 - \left(1 - \frac{b_0 + b_1 * T_{feb} + b_2 * SPEI_{apr}}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3}}$$

Trešajā modelī iekļāva klimatisko faktoru ietekmi gan uz koeficientu b_0 , gan arī uz b_3 (bez autokorelācijas struktūras un ar to):

$$D_1 = \frac{b_0 + b_1 * T_{feb} + b_2 * SPEI_{apr}}{1 - \left(1 - \frac{b_0 + b_1 * T_{feb} + b_2 * SPEI_{apr}}{D_0}\right) \left(\frac{t_0}{t_1}\right)^{b_3 + b_4 * T_{feb} + b_5 * SPEI_{apr}}}$$

Lai pārbaudītu modeļu spēju prognozēt diametru izmaiņu gaitu, no katras modeļu saimes izraudzīts labākais modelis. Pēc tam, izmantojot šo modeļu koeficientus, veikts diametru aprēķins 23 kokiem no citiem parauglaukumiem, kas iepriekš netika izmantoti modeļu koeficientu aprēķinā. Modeļa prognozēto diametru aprēķināšana veikta no tā brīža (gada), kad ir pieejami gan klimatiskie dati, gan koku mērījumu dati.

Kopumā izveidoti septiņi modeļi (4.1., 4.2. tab.), kuru koeficienti bija būtiski un prognozētās vērtības atbilda reāli iespējamām vērtībām.

4.1.tabula

Izveidoto Hossfeld modeļu koeficienti un to būtiskums

Koeficienti	Bez klimata (1)	Bez klimata (AR1) (2)	Klimats b ₀ (3)	Klimats b ₀ (AR1) (4)
b ₀	57,807*** (14,842)	105,639*** (6,290)	238,785*** (20,435)	-144,681*** (12,709)
b ₁			-7,925*** (0,653)	28,113*** (4,002)
b ₂			75,454*** (7,204)	-26,407*** (3,597)
b ₃	1,048*** (0,068)	0,995*** (0,032)	0,897*** (0,031)	0,728*** (0,028)
Novērojumi	12,549	12,549	12,549	12,549
AIC kritērijs	-22 136,740	-28 853,740	-20 479,630	-29 030,560

*** p<0,01

4.2.tabula

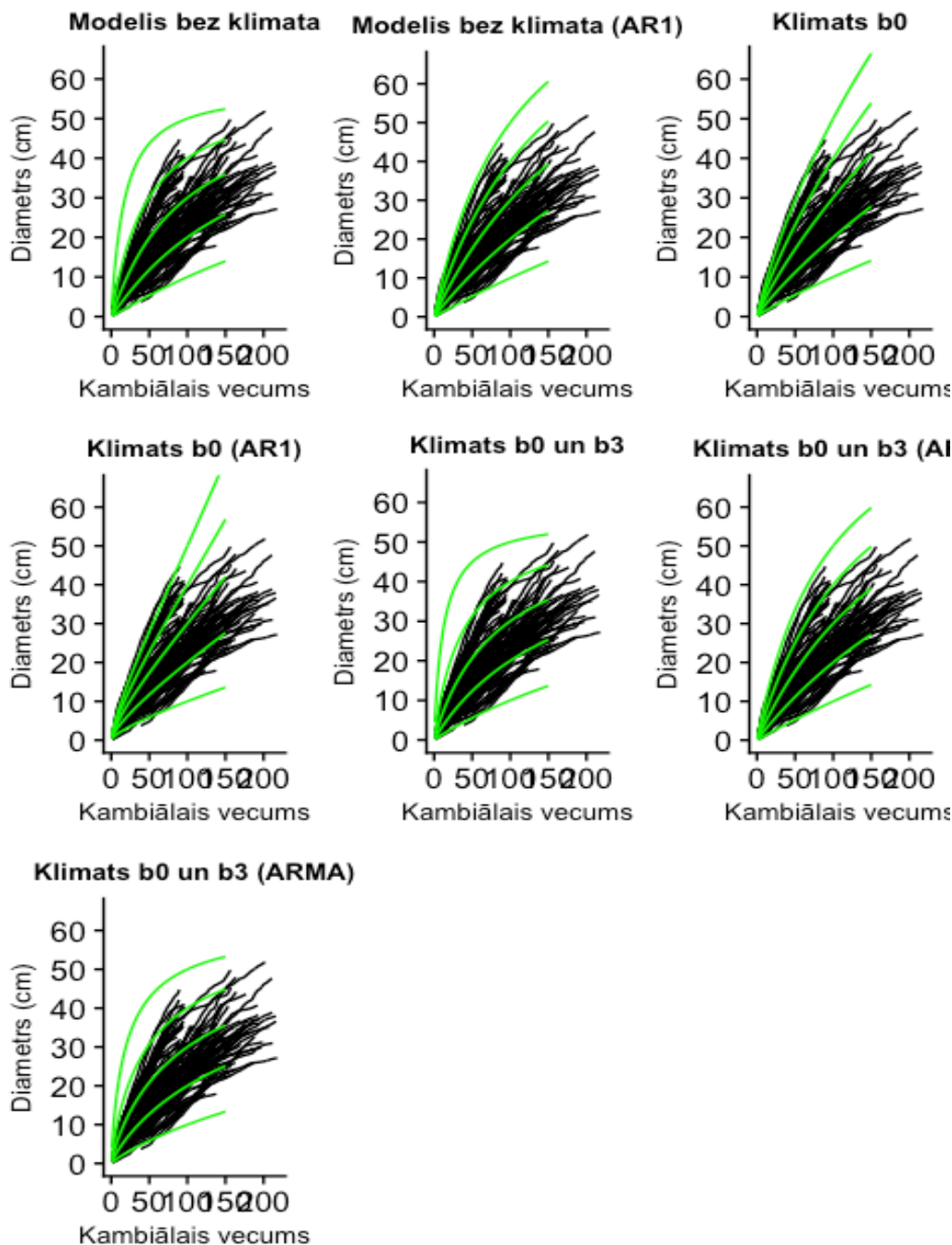
Izveidoto Hossfeld modeļu koeficienti un to būtiskums (turpinājums)

Koeficienti	Klimats b ₀ un b ₃ (1)	Klimats b ₀ un b ₃ (AR1) (2)	Klimats b ₀ un b ₃ (ARMA) (3)
b ₀	56,061*** (6,147)	99,898*** (5,260)	60,588*** (6,270)
b ₁	-0,148*** (0,014)	0,281*** (0,357)	-0,623*** (0,042)
b ₂	-0,485*** (0,045)	-1,301*** (1,173)	0,465*** (0,040)
b ₃	1,001*** (0,101)	1,067*** (0,023)	0,960*** (0,097)
b ₄	0,008*** (0,001)	0,018*** (0,001)	0,022*** (0,001)
b ₅	0,023*** (0,002)	-0,005*** (0,004)	-0,017*** (0,001)
Novērojumi	12,549	12,549	12,549
AIC kritērijs	-20 440,440	-29 798,560	-29 351,370

*** p<0,01

Visās modeļu saimēs pamatmodeļu atlikumu vērtības uzrādīja ļoti augstu autokorelāciju (virs 0,7 pirmajam gadam), tāpēc modeļi ar iekļautu pirmās pakāpes (AR1) vai otrās pakāpes (ARMA) autokorelācijas struktūru bija ievērojami labāki (AIC vērtības mainījās, piemēram, no -20 440 uz -29 798). AIC vērtības liecina, ka vislabākais modelis ir tāds, kurā klimata ietekme ir modelēta uz abiem koeficientiem, kā arī modelī iekļauta AR1 autokorelācijas struktūra.

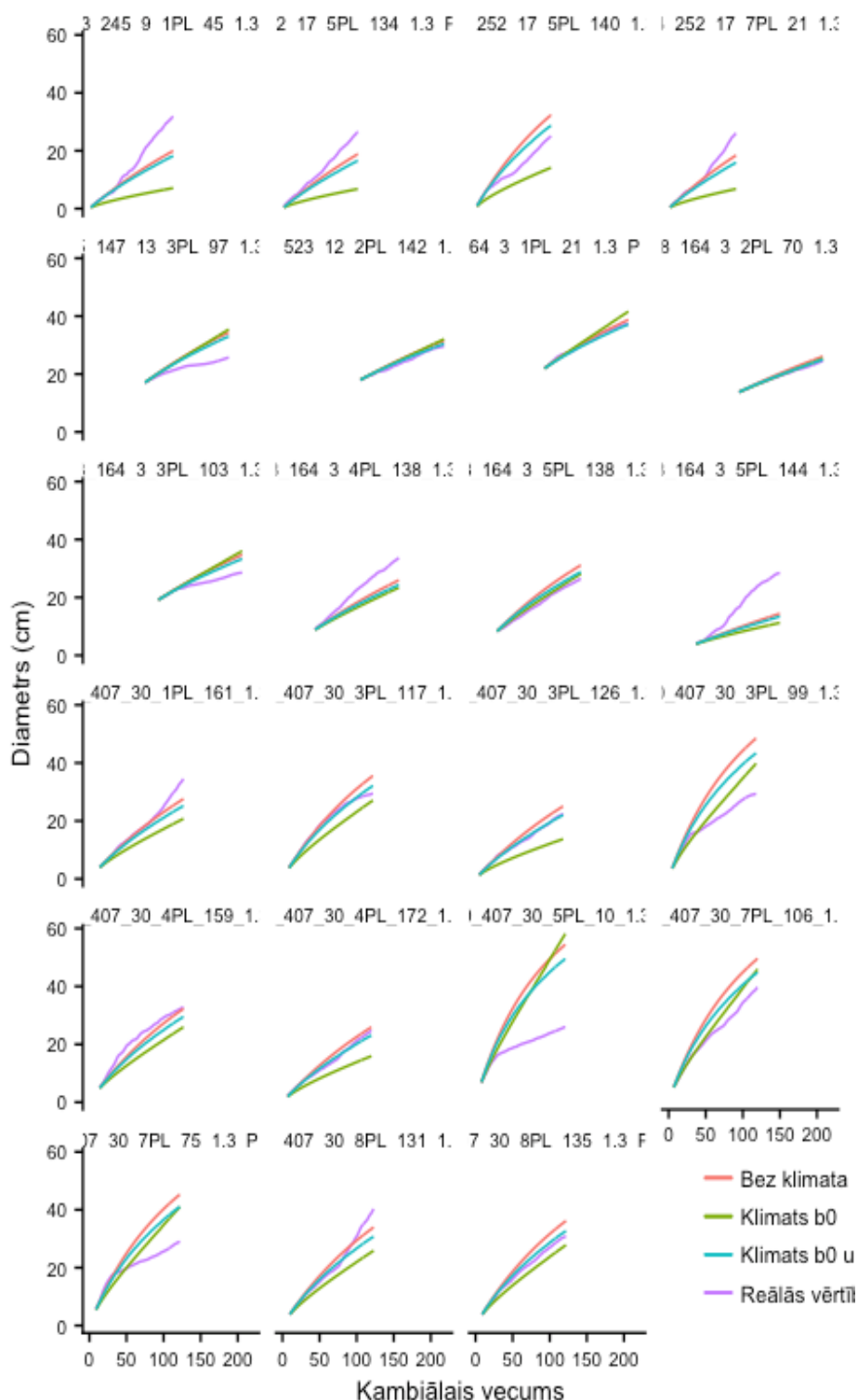
Apskatot modeļu grafiskos attēlojumus (4.1.att.), var redzēt, ka vairāki modeļi (sevišķi bez autokorelācijas struktūras) nespēj adekvāti aprakstīt augšanu situācijā, kad 100 gadu vecumā koks ir sasniedzis 50 cm diametru - ļoti straujam diametra pieaugumam seko gandrīz plato fāze. Daļēji tas skaidrojams ar to, ka nav izejas datu par reāliem šāda diametra kokiem, tātad, veidojot modeļa koeficientus, šāda veida augšanas gaita nav ņemta vērā. Arī grafiski modelis ar klimatu abiem koeficientiem un AR1 autokorelācijas struktūru uzrāda adekvātāko ainu.



4.1.attēls. Modeļu prognozētais diametru pieaugums situācijā, kad 100 gadu vecumā sasniegts diametrs attiecīgi 10, 20, 30, 40 vai 50 cm.

Modeļu adekvātuma novērtēšanai izraudzīti 23 koki no parauglaukuma, kas nav izmantots modeļu koeficientu aprēķināšanai. Kā pārbaudāmie modeļi izraudzīti: (a) bez klimata (AR1), (b) klimats b_0 (AR1), (c) klimats b_0 un b_3 (AR1).

Visu trīs modeļu un reālās diametra vērtības katram no 23 kokiem ir parādītas 4.2.attēlā. Vizuāli novērojams, ka ir koki, kuriem modeļi ļoti adekvāti prognozē diametra vērtības, bet ir situācijas, kad prognozētās vērtības ir ļoti atšķirīgas no reāli esošajām. Šeit jāņem vērā, ka kokiem prognozes aprēķina sākums ir dažādā kambiālajā vecumā, kā arī šie modeļi neņem vērā nekādus notikumus audzē (piemēram, retināšana).



4.2.attēls. Reālās un trīs modeļu prognozētās diametra vērtības atkarībā no kambiālā vecuma.

Prognozes adekvātuma novērtēšanai katram kokam, katram modelim aprēķināta RMSE vērtība (4.3.tab.).

Trīs modeļu RMSE vērtības, salīdzinot reālās un prognozētās diametra vērtības

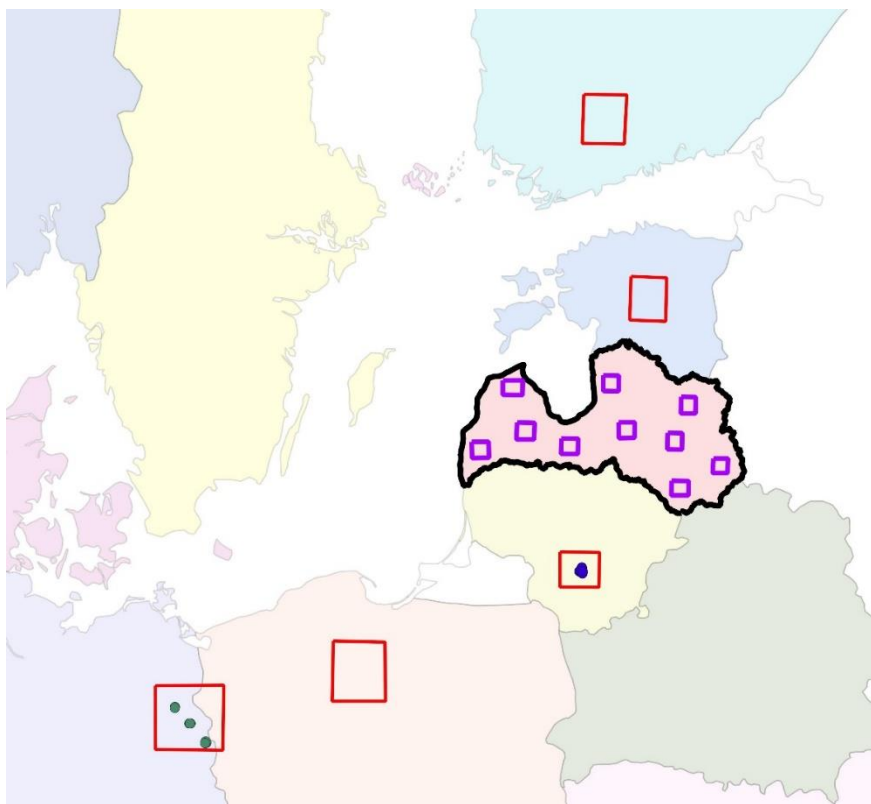
Nr. p.k.	Koka ID	Bez klimata	Klimats b_0	Klimats b_0 un b_3
1	103_245_9_1PL_45_1.3_P	5,88	13,39	6,84
2	104_252_17_5PL_134_1.3_P_serde	3,73	10,90	5,03
3	104_252_17_5PL_140_1.3_P	5,90	5,90	3,72
4	104_252_17_7PL_21_1.3_P	3,16	9,76	4,49
5	105_147_13_3PL_97_1.3_P	5,13	5,36	4,31
6	106_523_12_2PL_142_1.3_P	1,21	1,26	0,63
7	108_164_3_1PL_21_1.3_P_serde	0,59	1,78	0,65
8	108_164_3_2PL_70_1.3_P	1,03	0,44	0,41
9	108_164_3_3PL_103_1.3_P	3,50	3,95	2,65
10	108_164_3_4PL_138_1.3_P	4,62	6,35	5,58
11	108_164_3_5PL_138_1.3_P	3,32	1,06	1,99
12	108_164_3_5PL_144_1.3_P	8,63	10,48	9,21
13	110_407_30_1PL_161_1.3_P	2,35	6,38	3,59
14	110_407_30_3PL_117_1.3_P	2,42	4,17	1,09
15	110_407_30_3PL_126_1.3_P	1,91	5,13	0,41
16	110_407_30_3PL_99_1.3_P	12,42	4,98	9,05
17	110_407_30_4PL_159_1.3_P	2,32	6,43	3,73
18	110_407_30_4PL_172_1.3_P	1,61	4,81	0,75
19	110_407_30_5PL_10_1.3_P	18,63	17,48	15,34
20	110_407_30_7PL_106_1.3_P	8,45	3,59	5,37
21	110_407_30_7PL_75_1.3_P_serde	10,04	6,10	7,41
22	110_407_30_8PL_131_1.3_P	2,53	6,32	3,45
23	110_407_30_8PL_135_1.3_P_serde	3,45	2,55	1,31

Šīm vērtībām ir ļoti plaša variēšana gan viena modeļa ietvaros, gan arī viena koka ietvaros. Tas norāda, ka neviens no modeļiem nav pietiekami adekvāts individuālo koku vērtību prognozēšanai. Zemākā vidējā RMSE vērtība ir modelim ar klimata ietekmi uz abiem koeficientiem (4,22), bet augstākā vērtība ir modelim ar klimata ietekmi tikai uz koeficientu b_0 (6,02).

Kopu var secināt, ka precīzākais (kā kritēriju izmantojot AIC) augšanas gaitas modelis ir tāds, kurā iekļauta klimata ietekme uz abiem koeficientiem, kā arī iekļauta autokorelācijas struktūra (AR1). Iegūtie rezultāti tiks integrēti LVMI Silava izveidotajos augšanas gaitas modeļos, kuru attīstīšana notiek a/s “Latvijas valsts meži” pasūtīta un finansēta, LVMI Silava īstenota pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” ietvaros.

Turpmākais šī pētījuma uzdevums ir noteikt klimata ietekmi raksturojošo koeficientu vērtības nākotnē prognozētajos apstākļos, ņemot vērā, ka dažādā klimatā var mainīties pieaugumu determinējošie (limitējošie) faktori. Nākotnes klimata ietekmes un tās izmaiņu vērtēšana tiks veikta, ņemot vērā bioklimatisko veģetācijas modeļu (cf. Hickler et al., 2012) un iepriekš veikto pētījumu rezultātus par reģioniem, kuros šobrīd klimats līdzīgākais Latvijā nākotnē sagaidāmajam. Pārskata periodā ir izveidots parauglaukumu tīkls, kas aptver Latvijas

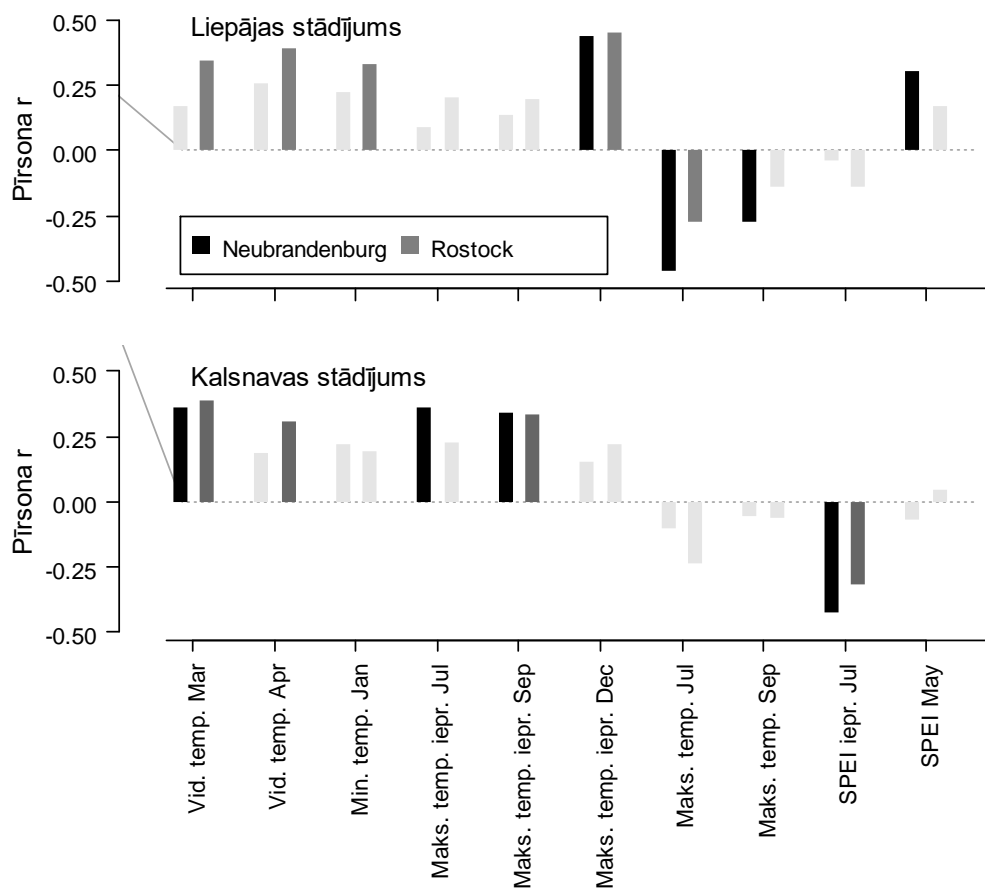
mērogam salīdzinoši plašu reģionu (4.3. att.). Pašlaik jau ir ievākts un apstrādāts materiāls no Vācijas un Lietuvas. Audzes līmenī noteikti gadskārtu platumu variēšanai būtiskie meteoroloģiskie faktori. Kopējie rezultāti (klimatisko ietekmi raksturojošo koeficientu kopa) tiks sagatavoti pēc nākamā pētījuma posma realizācijas, kad būs ievākti un analizēti dati arī no parauglaukumiem Polijā, Igaunijā un Somijā (4.3. att.).



4.3. attēls. Paraugojamo reģionu izvietojums. Katrā no sarkanajiem parauglaukumiem plānots ievākt priedes koksnes paraugu no četrām līdz sešām reģionam un sugai tipiskām audzēm. Katrā no violetajiem parauglaukumiem plānots paraugot vienu līdz divas priedes audzes. Punkti norāda teritorijas, kurās paraugi ir ievākti pārskata periodā.

Šajā pētījuma etapā priedes augšanas reakcijas prognozētajos nākotnes klimata apstākļos raksturošanai papildus ievākts materiāls no ģeogrāfisko provenienču stādījumiem. Šie stādījumi sniedz informāciju par iekšsugas (starppopulāciju) augšanas jutības atšķirībām (Rehfeldt et al., 2003). Divos stādījumos – Liepājas un Kalsnavas – veikta inventarizācija. Balstoties uz iepriekšējās un atkārtotās inventarizācijas datiem (Jansons, Baumanis, 2005), atlasītas produktīvākās proveniences, proti, Rostock un Neubrandenburg. Šo provenienču rangu starpība bija lielāka skarbāka klimata apstākļos Kalsnavas stādījumā, tomēr abas proveniences bija produktīvāko starpā. Katrā stādījumā katrai proveniencī ar dendrohronoloģijas metodēm (cf. Jansons et al., 2016) noteikti gadskārtu platumam būtiskie meteoroloģiskie faktori. Skarbāka klimata apstākļos Kalsnavas stādījumā abu provenienču pieaugums bija līdzīgi jutīgs pret pavasara un vasaras temperatūras režīmu (4.4. att.), norādot uz kopīgu radiālo pieaugumu limitējošu faktoru ietekmi. Līdzīgas saistības novērotas arī vietējām priežu populācijām (Jansons et al., 2016). Maigāka (piejūras) klimata apstākļos Liepājas stādījumā vairāk izpaudās abu provenienču specifiskās augšanas reakcijas iezīmes. Acīmredzot, Liepājas stādījuma klimats ir salīdzināms ar klimatu provenienču izcelsmes reģionā, pieļaujot specifisko un

ģenētiski noteikto pielāgojumu realizēšanos (Rehfeldt et al., 2003; Taeger et al., 2013). Rostock proveniencē bija jutīga pret apstākļiem pavasarī, bet Neubrandenburg (kontinentālākos apstākļos augušās) priedes bija jutīgas pret ūdens deficītu augšanas sezonā. Var secināt, ka Neubrandenburg proveniencē priedes varētu būt labāk piemērotas Latvijas rietumu daļai, jo tās bija mazāk jutīgas pret apstākļiem miera periodā, bet spēja izmantot garāku veģetācijas periodu (reaģēja uz faktoriem, kas saistīti ar veģetācijas sezonas garumu; 4.4. att.). Iegūtie rezultāti liecina par iespēju veikt sākotnējo izvērtēšanu un iekļaut atsevišķu proveniencu (vai sēklu plantāciju) materiālu Latvijā notiekošā selekcijas darbā.



4.4. attēls. Pīrsona korelācijas koeficienti starp Rostock un Neubrandenburg priedes proveniencu gadskārtu platumu indeksu sērijām un meteoroloģiskajiem faktoriem Liepājas un Kalsnavas stādījumos. Būtiskās korelācijas (pie $\alpha = 0,05$) parādītas ar intensīvāku toni.

5. Mistrojuma ietekmes vērtējums

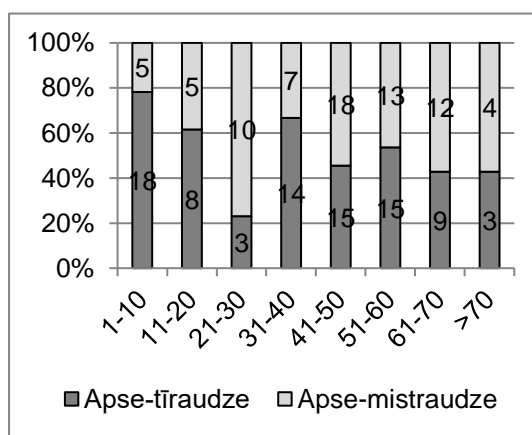
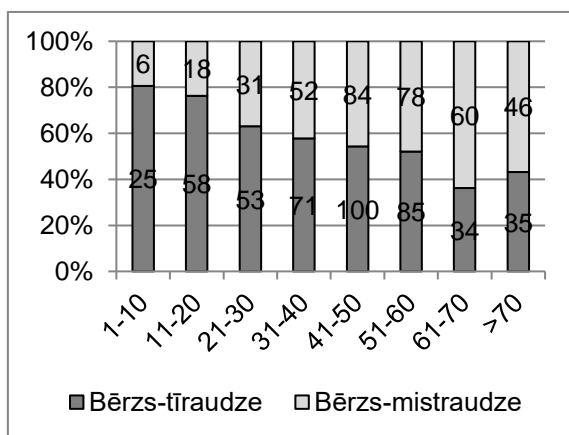
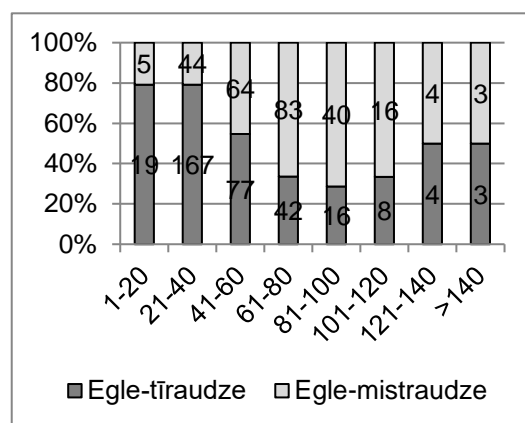
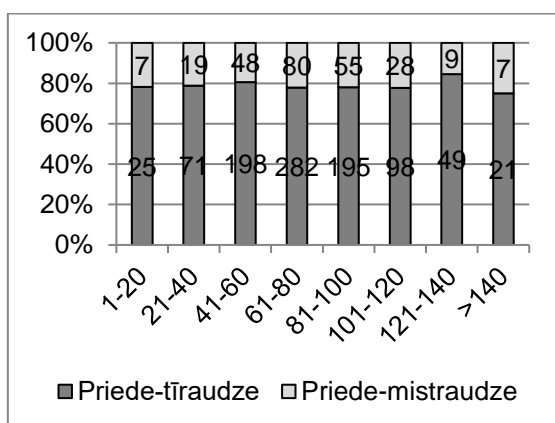
Vērtējums par mistrojuma ietekmi uz egļu bruņots bojājumu sastopamību meža masīvos un koku augstuma/caurmēra attiecību audzēs

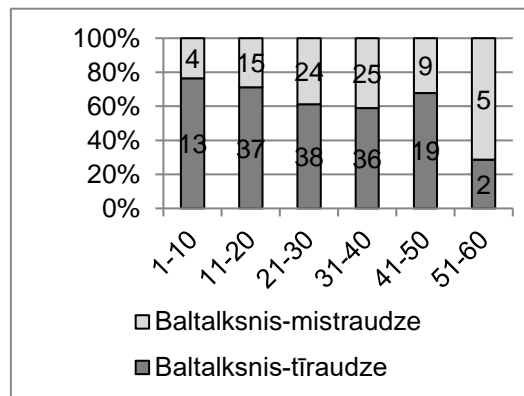
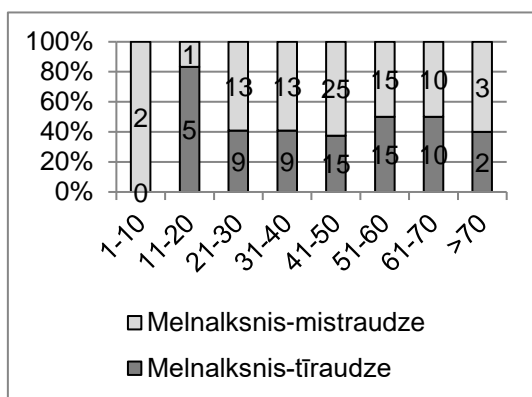
Dažādu koku sugu mistraudžu veidošana, kā arī tīraudžu pārveidošana par mistraudzēm vairākos pētījumos tiek rekomendēta kā nozīmīgs risinājums audžu noturības paaugstināšanai pret dažādu nelabvēlīgu faktoru – dendrofāgo kukaiņu, slimību, vēja, sausuma, uguns u.c. – radītajiem koku bojājumiem un reizē ar to – finansiāliem zaudējumiem. Šādu ieteikumu pamatā galvenokārt ir uzskats, ka mistraudzēs traucējumi notiek retāk, ar zemāku intensitāti un audzes atjaunošanās pēc traucējuma ir straujāka nekā tīraudzēs, uzsverot arī mistraudžu labāku pašregulēšanās un pielāgošanās spēju klimata pārmaiņu kontekstā. Tomēr jāatzīmē, ka šādas rekomendācijas parasti ir vispārīgas, tāpēc nav iespējams novērtēt to pamatotību, kā arī piemērot tās izmantošanai meža apsaimniekošanai Latvijā. Pētījumi par mistraudžu noturību pret traucējumiem lielākoties publicēti kā apskati vai arī ietver modeļu rezultātus vai pieņēmumus. Tikai atsevišķos pētījumos analizēti empīrisku datu apstrādes rezultāti, turklāt šajos gadījumos izvirzītās hipotēzes par labāku mistraudzes noturību pret traucējumiem mēdz būt pamatotas ar pieredzi no citām nozarēm un ekosistēmām (Hooper et al. 2005; Loreau et al. 2001b, 2002; Mittelbach et al. 2001; Tilman et al. 2001). Informācija par šo hipotēžu atbilstību tādai kompleksai ekosistēmai kā mežs ir limitēta (Pretsch 2003; Vila et al. 2003). Trūkst pētījumu par mistrojuma ietekmi uz audzes noturību hemiboreālajā mežu zonā (Jactel et al., 2005) un dažādā meža vecumā, piemēram, jaunaudzēs (Sobek et al., 2009). Bieži publikācijās trūkst precīzu mistrojumu raksturojošu datu: sugu īpatsvars, analizētās paraugkopas apjoms, koku dimensijas, dažādu sugu koku savstarpējais izvietojums. Vairāki autori uzsver, ka ir vieni no pirmajiem, kas veikuši empīriskos pētījumus, novērtējot mistraudžu noturību pret dendrofāgajiem kukaiņiem (Jactel et al., 2002; Kaitaniemi et al., 2007; Vehviläinen et al., 2006) un slimībām (Hantsch et al., 2013, 2014). Atsevišķos analizētajos gadījumos konstatēts, ka mistrojumam var būt pozitīva ietekme, paaugstinot kokaudzes noturību pret konkrētu faktoru, tomēr tā nav absolūta: faktoram (vēja ātrumam, dendrofāgu skaitam ionvāzijas brīdī u.tml.) pārsniedzot noteiktu robežvērtību, mistrojuma pozitīvais efekts neizpaužas. Tāpat mistrojuma efekts atkarīgs no sugu specifikas; noteiktā mistrojumā noturība pret vienu riska faktoru var palielināties, tajā pašā laikā pret kādu citu – samazināties. Citviet veiktu pētījumu rezultāti bieži vien nav tieši attiecināmi mūsu apstākļiem, jo atšķiras gan sastopamās koku un kukaiņu (ne tikai dendrofāgu, bet arī to parazitāru un dabisko ienaidnieku) sugas, gan klimatiskie apstākļi, kas nosaka, piemēram, kukaiņu attīstības cikla ilgumu. Kopumā var teikt, ka trūkst precīzas informācijas par mistraudžu pārkumu vai trūkumiem attiecībā pret tīraudzēm audžu bojājumu kontekstā Latvijas apstākļos, tomēr valstī izveidotie atbalsta mehānismi mežu īpašniekiem uzsver to nozīmi: *Latvijas lauku attīstības programmā 2014.-2020.gadam* atbalsts meža ieaudzēšanai mazproduktīvās lauksaimniecības zemēs paredzēts, veidojot mistraudzi, turklāt, veicot jaunaudzju kopšanu, augstāka atbalsta intensitāte paredzēta mistraudzēm.

Šajā kontekstā svarīgi ir noskaidrot Latvijai raksturīgo riska faktoru ietekmi uz mežsaimnieciski nozīmīgāko koku sugu audzēm, balstot secinājumus Latvijā iegūtu empīrisku datu analīzē.

Šī pētījuma iepriekšējā posmā, veicot dažāda veida bojājumu novērtējumu atšķirīga vecuma mežaudzēs Latvijā, tika analizēti MSI dati atsevišķi tīraudzēs un mistraudzēs, par

attiecīgās sugas tīraudzi uzskatot audzi, kurā valdošās sugas īpatsvars bija vismaz 80% no pirmā stāva koku šķērslaukuma, bet par mistraudzi – audzi, kurā valdošās sugas īpatsvars bija mazāks. Kopumā no 3156 MSI parauglaukumiem tīraudžu bija 64% (2031 audze), bet mistraudžu 36% (1125 audzes). Parauglaukumu sadalījums mistraudzēs/ tīraudzēs dažādās vecuma grupās (šajā analizē vecumu grupu skujkokiem izdalot ar 20 gadu intervālu, bet lapu kokiem – ar 10 gadu intervālu) katrai sugai bija atšķirīgs (5.1. att.). Priedei kā koku sugai, kas bioloģisko īpašību dēļ pārsvarā aug tīraudzē, tīraudžu parauglaukumu (939) bija ievērojami vairāk nekā mistraudžu (253); mistraudžu īpatsvars visās vecuma grupās bija līdzīgs (no 16 līdz 25%), un statistiski būtiski neatšķīrās starp vecuma grupām (χ^2 tests; $p=0,95$). Eglei mistraudžu īpatsvars vecuma grupās bija atšķirīgs, sasniedzot 21% jaunaudzū vecumā, tad palielinoties līdz ~70% briestaudzēs un pieaugušās audzēs, un pēc tam atkal nedaudz samazinoties līdz 50% pāraugušās audzēs ($p<0,001$). Bērzam mistraudžu īpatsvars līdz ar vecuma palielināšanos pieauga pakāpeniski – no ~20% jaunaudzēs līdz ~60% briestaudzēs un vecākās audzēs ($p<0,001$). Apsei parauglaukumu skaits bija ievērojami mazāks nekā priedei, eglei un bērzam, un mistraudžu īpatsvara svārstības starp vecuma grupām bija nozīmīgas ($p=0,02$), turklāt nebija vērojama ar vecuma palielināšanos saistāma tendence. Mistraudžu īpatsvars vecuma grupās bija līdzīgs – no 50 līdz 63% (testu veicot, sākot ar vecuma grupu 21-30 gadi, $p=0,85$). Baltalksnim līdz 50 gadu vecumam mistraudžu īpatsvars vecuma grupās bija samērā līdzīgs – no 24 līdz 41% (testu veicot šīm vecuma grupām, $p=0,51$).





5.1. attēls. Priedes, egles, bērza, apses, melnalkšņa un baltalkšņa mistraudžu/tīraudžu sadalījums (īpatsvars (%) un parauglaukumu skaits) dažādās vecuma grupās (MSI dati).

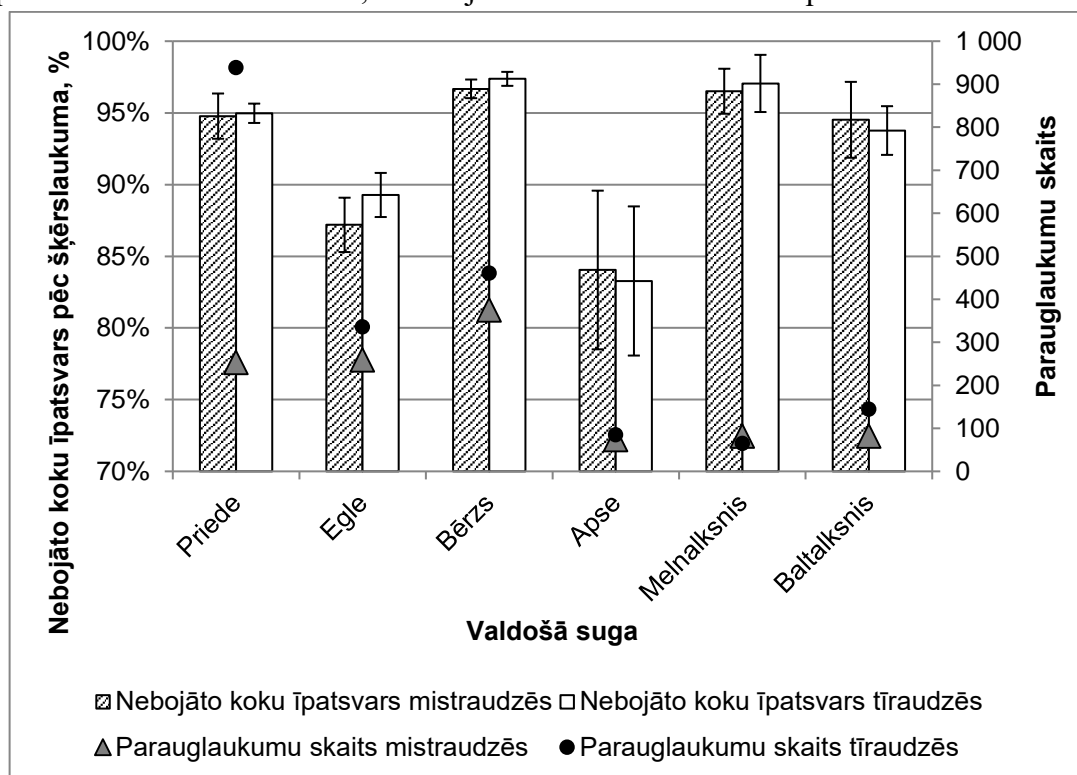
Mistrojuma ietekmes novērtēšanu un rekomendāciju pielietošanas iespējas apgrūtina tas, ka mistraudzes definīcijas pētījumos ir atšķirīgas (noteikts – dažāds – procents no, piemēram, pirmā stāva vai kopējā šķērslaukuma, krājas, koku skaita u.c.) un mēdz būt neprecīzas. Pat gadījumos, kad mistraudzes definēšanai tiek lietots vienots parametrs, robežvērtības mēdz atšķirties. Jāņem vērā, ka mistrojuma ietekmes novērtēšanai svarīgi definēt arī tā telpisko izvietojumu, platību, jo ar dažādiem paņēmieniem (dažāda izmēra un formas – vienlaidus, grupu, joslu – audžu mistrojumu) iespējams panākt līdzīgu efektu. Vienmērīgs dažādu sugu koku izvietojums audzē rada vienveidīgus apstākļus, savukārt grupu vai nelielu tīraudžu mistrojums nodrošina atšķirīgus apstākļus grupas vai tīraudzes iekšienē, kamēr to saskares zonā vērojams sugu mijiedarbības efekts. Latvijā jau K. Bušs, postulējot un pamatojot principu „tīraudzes mistrotā mežā”, uzsvēris mistrojuma meža masīva, nevis katras audzes ietvaros, nozīmi. Šāds mistrojums var veidoties gan atbilstoši augsnes nevienmērībai, gan meža īpašumu struktūrai un katra īpašnieka dažādajiem lēmumiem par meža apsaimniekošanu (Rendenieks, 2015). Mistrojuma veidošanās meža masīva līmenī saistībā ar īpašumu struktūru analizēta, piemēram, Vācijā, kur tikai trešdaļa meža īpašnieku ir atkarīgi no ieņēmumiem par koksnes pārdošanu (Schaich, Plieninger, 2013; Wiersum et al., 2005), secinot, ka tai ir nozīmīgi ietekme un līdz ar to loma dabas aizsardzībā. Nav veikta mistrojuma ainavas līmenī iespējamās ietekmes uz audžu bojājumiem analīze. Tāpat lielākoties mistrotu mežaudžu veidošanas rekomendācijas nesniedz informāciju par mistrojuma telpisko mērogu, t.i., vai rekomendētais mistrojums nepieciešams visā platībā vienmērīgi, vai arī līdzīgu rezultātu nodrošinātu, piemēram, divas blakus esošas nelielas tīraudzes (t.i., mistrojums meža masīva līmenī).

Latvijā meža ainavai raksturīgs gan mistrojums mežaudzes, gan meža masīva mērogā. Meža teritoriju iedalījums nogabalos ir administratīvi noteikts – tas tiek veikts atbilstoši konkrētām mežaudzes pazīmēm (t.sk., sugu sastāvam), saskaņā ar 2016.gada 21.jūnija Ministru kabineta noteikumos Nr. 384 “Meža inventarizācijas un Meža valsts reģistra informācijas aprites noteikumi” norādītajiem “Parametriem meža sadalīšanai nogabalos”. Meža inventarizācijā nodalāmo nogabalu minimālā platība ir 0,1 hektārs, vienlaikus meža zemi saskaņā ar iepriekšminēto Parametru nosacījumiem var nenodalīt atsevišķā nogabalā, ja nogabala platība ir mazāka par 0,3 hektāriem. Atsevišķs nogabals jāizdala, ja valdošās koku sugas īpatsvars mežaudzē atšķiras vairāk nekā par 20% un/vai pārējo koku sugu īpatsvars atšķiras vairāk nekā par 30%. Tātad vienas sugas koku “grupa” salīdzinoši nelielā platībā var

tikt klasificēta kā neliela tīraudze vai arī kā piemistrojums lielākas platības nogabalā. Līdz ar to var atšķirties mistraudzes definīcija bioloģiskā un normatīvā aspektā.

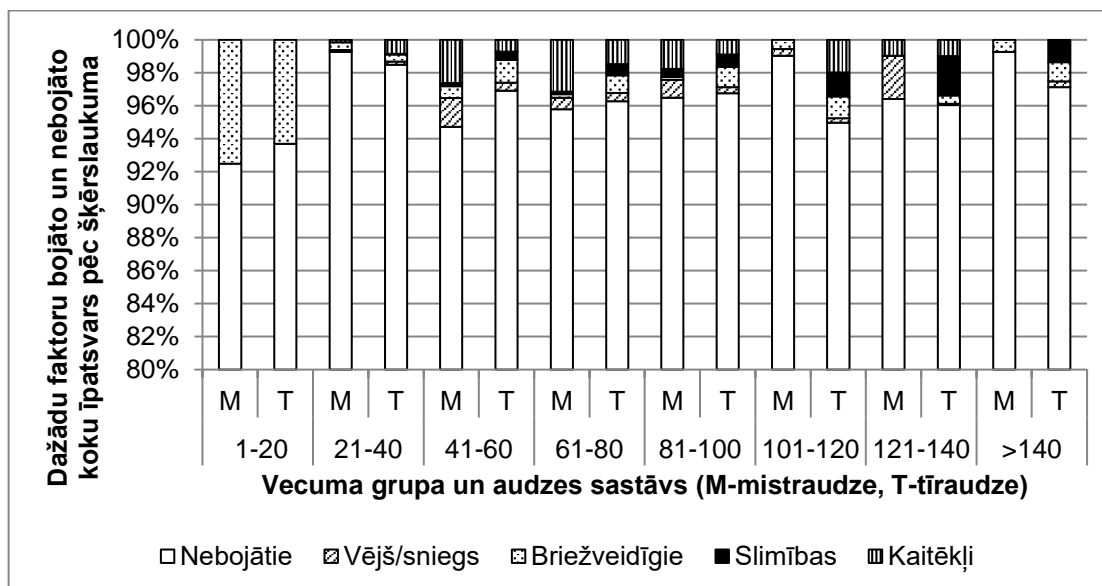
Mistraudžu sastopamības un dažāda veida bojājumu vērtējumu mežaudzes mērogā Latvijā iespējams veikt, izmantojot MSI parauglaukumu datus. Savukārt, uzskatot meža masīvu, piemēram, kvartālu par mistrotu mežu, ko veido nelielas tīraudzes (nogabali) ar atšķirīgu koku sugu sastāvu un īpatsvaru, iespējams raksturot mistrojuma ietekmi meža masīva līmenī, un šāda veida mistrojuma dati Latvijā bojājumu kontekstā iepriekš nav analizēti.

MSI parauglaukumos, salīdzinot nebojāto koku īpatsvaru (gan pēc šķērslaukuma (5.2. att.), gan pēc koku skaita), nevienai no valdošajām sugām netika konstatētas būtiskas atšķirības starp tīraudzēm un mistraudzēm, analizējot visu vecumu audzes kopā.

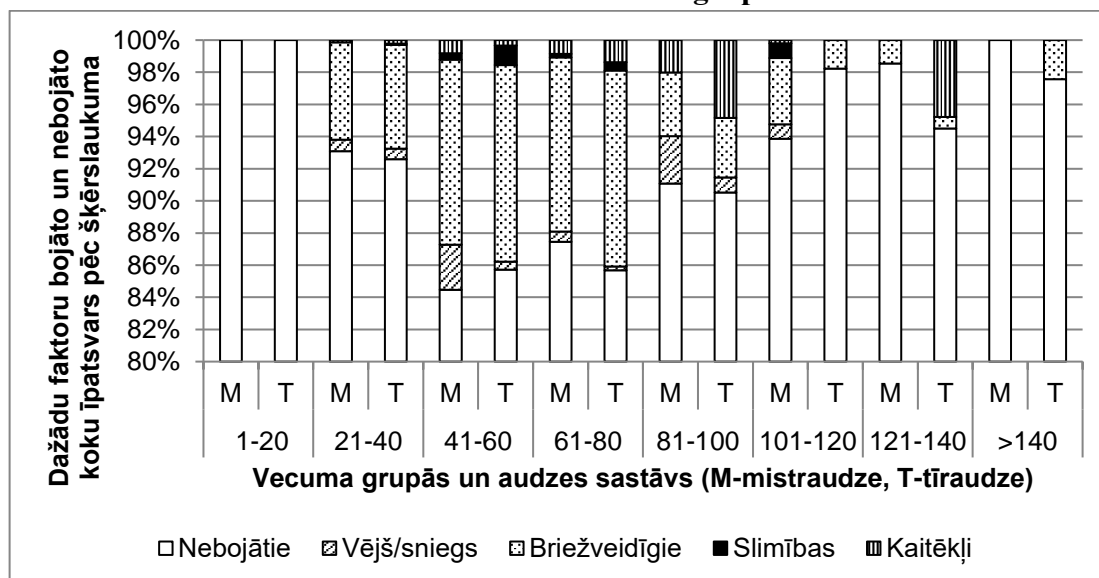


5.2. attēls. Nebojāto koku īpatsvars pēc koku šķērslaukuma un analīzei izmantoto parauglaukumu skaits dažādu sugu tīraudzēs un mistraudzēs.

Veicot bojājumu analīzi MSI parauglaukumos atsevišķiem bojājumu veidiem, tikai nedaudzos gadījumos priedei un egļei kādā no vecuma grupām piemistrojumam konstatēta būtiska ietekme uz bojāto koku īpatsvaru. Piemēram, priedei (5.3. att.) vecuma grupās 61-80, 101-120 un 121-140 tīraudzēs slimību bojāto koku īpatsvars (gan pēc šķērslaukuma, gan koku skaita) bija būtiski augstāks nekā mistraudzēs. Savukārt egļei (5.4. att.) mistraudzēs konstatēts būtiski lielāks vēja un/vai sniega bojāto koku īpatsvars (atšķirības būtiskas pēc koku skaita) nekā tīraudzēs vecuma grupā 41-60. Analizētajām lapu koku sugām (bērzam, apsei, melnalksnim, baltalksnim) netika konstatētas būtiskas bojāto koku īpatsvara atšķirības (ne šķērslaukumam, ne koku skaitam) starp mistraudzēm un tīraudzēm nevienam no bojājumu veidiem.



5.3. attēls. Nebojāto un dažādu faktoru bojāto koku īpatsvars priedes mistraudzēs un tīraudzēs dažādās vecuma grupās.

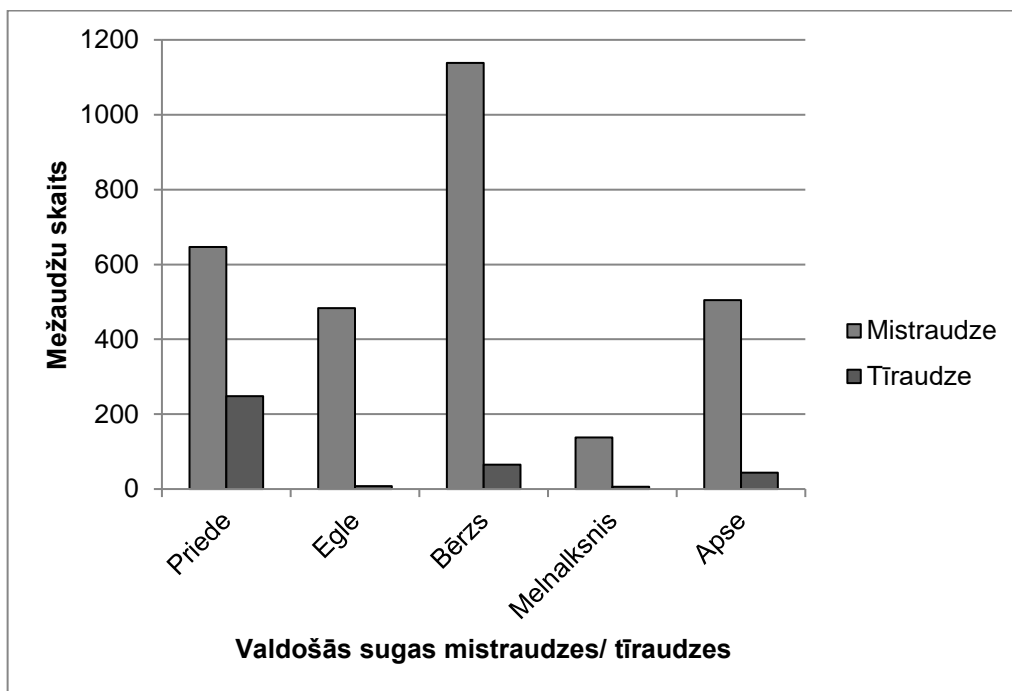


5.4. attēls. Nebojāto un dažādu faktoru bojāto koku īpatsvars egles mistraudzēs un tīraudzēs dažādās vecuma grupās.

5.1. Mistrojuma ietekme uz koku augstuma/caurmēra attiecību

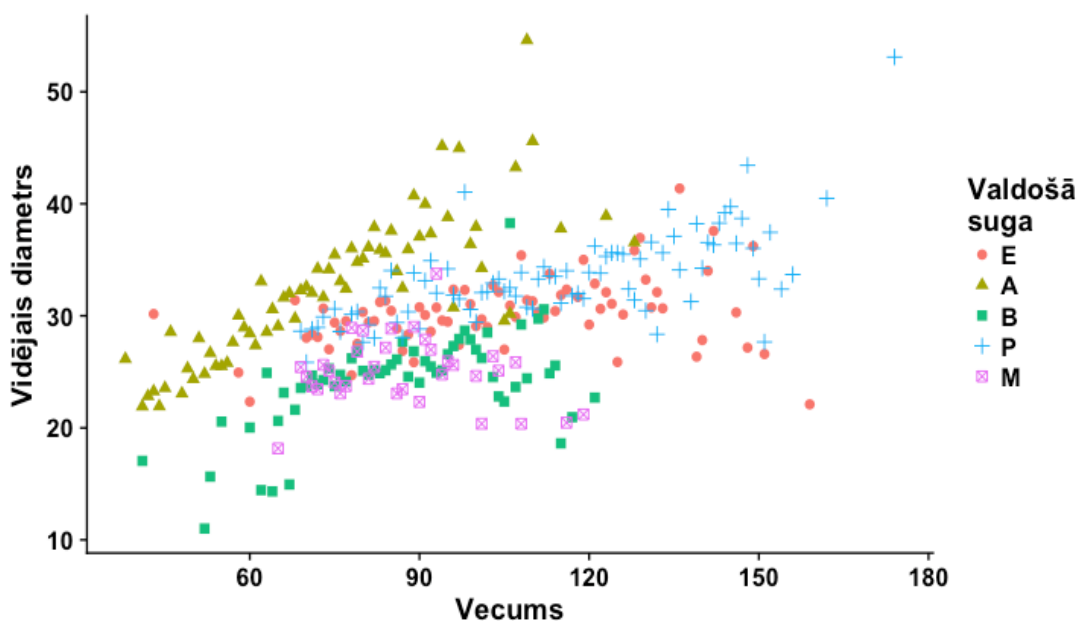
Mežaudžu noturības kontekstā svarīgs parametrs (un vienlaikus – koku noturības pret vēja bojājumiem indikators) ir koku augstuma/ caurmēra (H/D) attiecība (Wang et al., 1998). Lai to novērtētu, pārskata perioda ietvaros veikta koku H/D attiecības salīdzināšana mistraudzēs un tīraudzēs, izmantojot datus no 3077 mežaudzēm, kas izvietotas visā Latvijas teritorijā (LVM dati). Katrā mežaudzē I stāva kokiem noteikta suga, diametrs 1,3 m augstumā un augstums. Ja mežaudzē sugas šķērslaukuma īpatsvars bija $\geq 75\%$, tad audze definēta kā attiecīgās sugas tīraudze, bet pārējās audzes definētas kā tās sugas mistraudzes, kurai bija lielākais šķērslaukuma īpatsvars. Attiecinot I stāva koku vidējo augstumu pret I stāva koku vidējo diametru, iegūta H/D attiecība. Datu analīzē izmantots Meža inventarizācijas datos norādītais vecums dominējošai sugai, kā arī meža tips, kas precizēts dabā. Analizētas audzes, kur dominējošā suga

ir priede, egle, bērzs, melnalksnis, apse. Audžu sadalījums mistraudzēs un tīraudzēs katrai sugai parādīts 5.5.attēlā.



5.5.attēls. Pētījumā izmantoto tīraudžu un mistraudžu skaits katrai no valdošajām sugām.

Pārstāvētas audzes no 38 līdz 174 gadu vecumam, to vidējais caurmērs atspoguļots 5.6.attēlā.



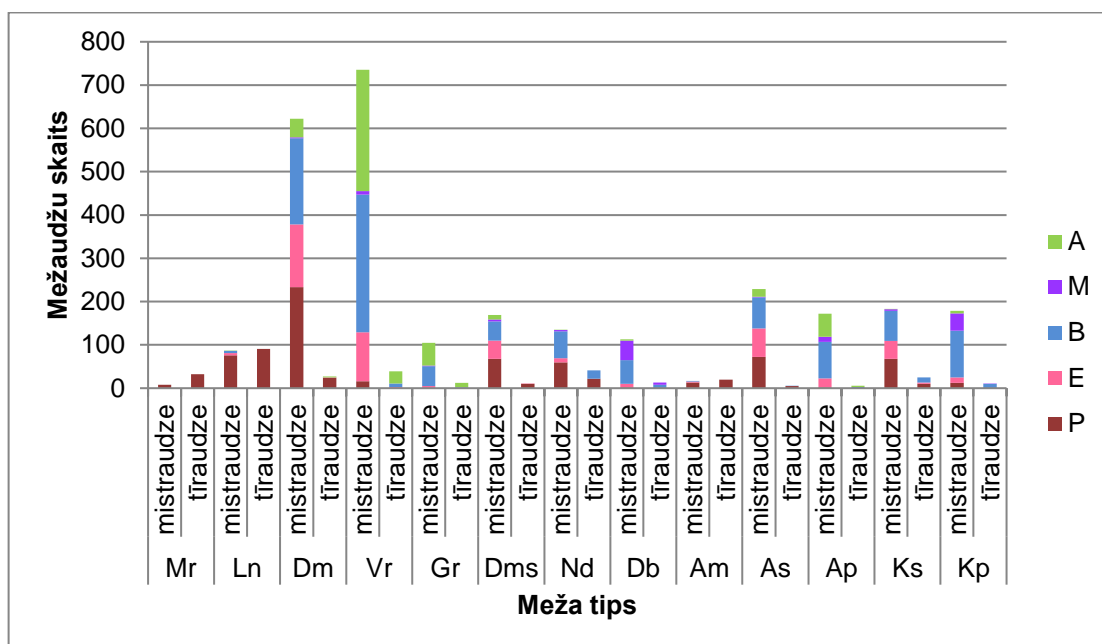
5.6.attēls. I stāva koku vidējais diametrs (cm) dažādu valdošo sugu mežaudzēs.

Pētījumā pārstāvēti šādi meža tipi (5.7.att.):

- sausieņi: mētrājs, lāns, damaksnis, vēris, gārša;
- slapjāiņi: slapjais damaksnis;
- purvaiņi: niedrājs, dumbrājs;

- āreņi: mētru ārenis, šaurlapju ārenis, platlapju ārenis;
- kūdreņi: šaurlapju kūdreņis, platlapju kūdreņis.

Pārējos meža tipos mežaudžu skaits nebija pietiekams analīzes veikšanai.



5.7.attēls. Pētījumā izmantoto tīraudžu un mistraudžu skaits dažādos meža tipos sadalījumā pa valdošajām sugām.

Analīzes veiktas, veidojot atsevišķus lineāros modeļus (dispersijas un kovariācijas analīzes) katrām divām ietekmējošām pazīmēm. Tas darīts, jo ir ļoti nevienmērīgs datu sadalījums pa meža tipiem, sugām, kā arī pazīmes ir savstarpēji korelējošas. Ja faktoru ietekme bija būtiska, tad veikts faktoru līmeņu salīdzinājums (PostHoc testi).

Mērķis: novērtēt H/D attiecību atkarībā no audzes I stāva valdošās sugas, vecuma, šķērslaukuma, meža tipa, un salīdzināt šo faktoru ietekmi mistraudzēs un tīraudzēs.

Vispirms analīze veikta mežaudzēs ar atšķirīgām valdošajām sugām kopumā, neizdalot atsevišķi mistraudzes un tīraudzes. Novērtēta vecuma un šķērslaukuma ietekme uz H/D attiecību audzēs ar atšķirīgām valdošajām sugām.

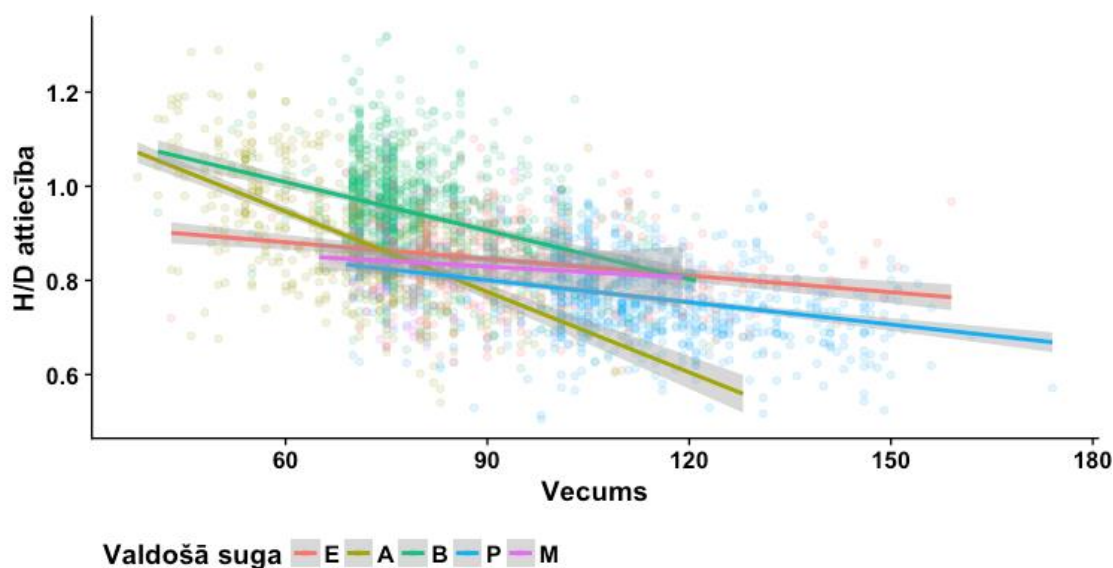
Augstākā H/D attiecība bija bērza audzēs, bet zemākā – priedes audzēs. Būtiskas H/D attiecības atšķirības konstatētas starp visu valdošo sugu audzēm, izņemot egles un melnalkšņa audzes (5.1.tab.).

5.1.tabula

Valdošā suga	H/D attiecība mežaudzēs ar atšķirīgu valdošo sugu H/D attiecība*
Bērzs	0,939 ^a
Apse	0,896 ^b
Egle	0,840 ^c
Melnalksnis	0,836 ^c
Priede	0,766 ^d

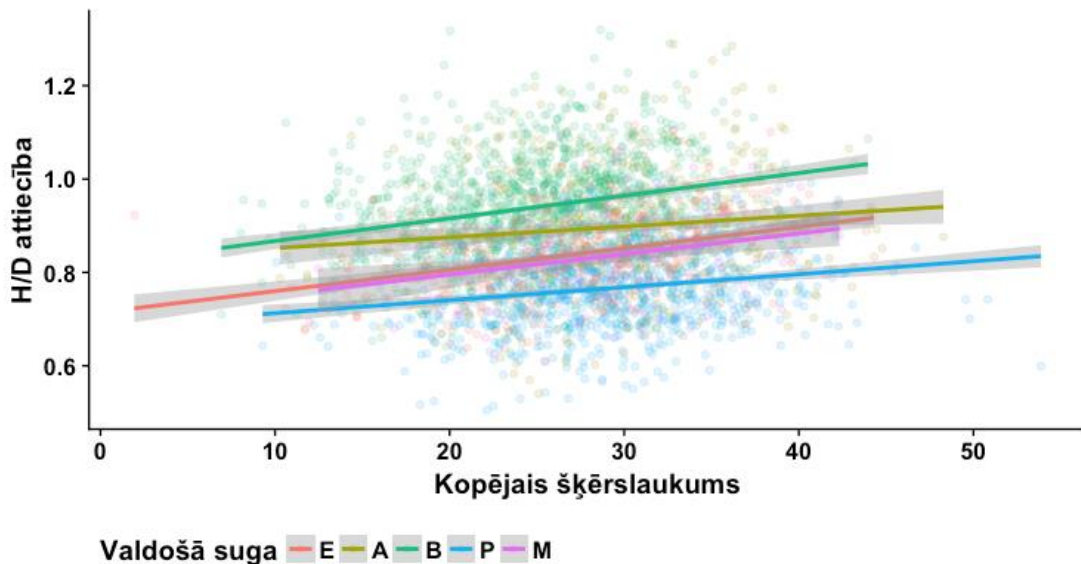
Atšķirīgi burti pie H/D attiecības vērtības norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām ($p < 0,05$).

H/D attiecību būtiski ietekmēja gan valdošā suga, gan vecums, gan šo faktoru kombinācija (5.8.att.). Vecuma ietekme bija negatīva, t.i., palielinoties vecumam, H/D attiecība samazinājās, tomēr audzēs ar atšķirīgām valdošajām sugām šī ietekme atšķīrās (līknes slīpums bija atšķirīgs). Apsei vecuma ietekme bija visizteiktākā (slīpums bija būtiski lielāks nekā pārējām sugām). Bērzam līknes slīpums būtiski atšķīrās no citām sugām – tas bija mazāks nekā apsei un lielāks nekā priedei, eglei un melnalksnim. Priedei līknes slīpums būtiski neatšķīrās no eglei un melnalksnim konstatētā līknes slīpuma, turklāt eglei un melnalksnim arī netika konstatētas savstarpējas būtiskas līknes slīpuma atšķirības.



5.8.attēls. I stāva valdošās sugas koku vecuma ietekme uz H/D attiecību atšķirīgu valdošo sugu audzēs (95% ticamības intervālu norāda pelēkais iekrāsojums ap katrai sugai atbilstošās krāsas līniju).

H/D attiecību būtiski ietekmēja arī šķērslaukums – tā ietekme bija pozitīva, t.i., palielinoties audzes šķērslaukumam, H/D attiecība palielinājās (5.9.att.). Modelī pieņemot egles audzes kā references līmeni, konstatēts, ka no egles audzēm atšķīrās tikai apses audzes, kurās šķērslaukuma ietekme bija mazāk izteikta nekā eglei. Pārējo sugu audzēs šķērslaukuma ietekme uz H/D attiecību būtiski neatšķīrās no egles audzēs konstatētās ietekmes.



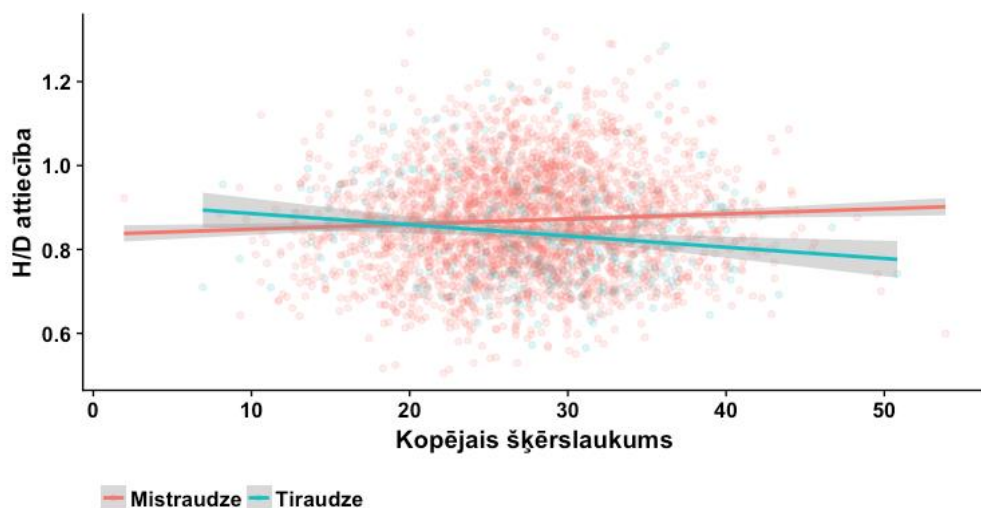
5.9.attēls. Šķērslaukuma ietekme uz H/D attiecību atšķirīgu valdošo sugu audzēs (95% ticamības intervālu norāda pelēkais iekrāsojums ap katrai sugai atbilstošās krāsas līniju).

Tālākajā analizē salīdzināta H/D attiecība starp mīstraudzēm un tīraudzēm, neatkarīgi no valdošās sugas.

Mīstraudzēs vidēji H/D attiecības vērtības bija statistiski būtiski, bet praktiski nenozīmīgi (par 0,032) lielākas nekā tīraudzēs.

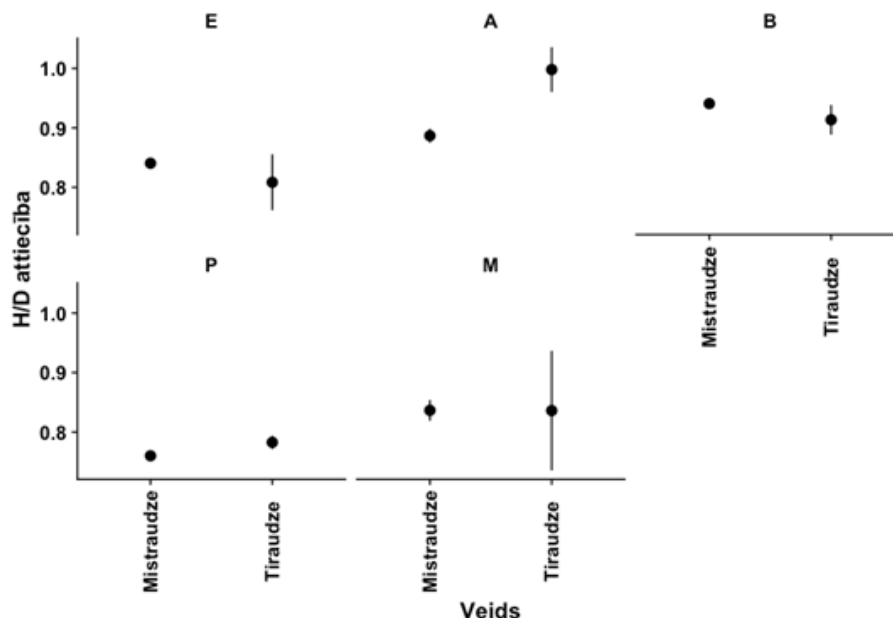
Vecuma ietekme uz H/D attiecību starp tīraudzēm un mīstraudzēm būtiski neatšķīrās. Kopējais vienādojums: $H/D \text{ attiecība} = 1,159 - 0,003289 * \text{vecums}$.

Kopējā šķērslaukuma ietekme uz H/D attiecību starp tīraudzēm un mīstraudzēm būtiski atšķīrās. Mīstraudzēs tā bija pozitīva, bet tīraudzēs – negatīva (5.10.att.).



5.10.attēls. Šķērslaukuma ietekme uz H/D attiecību mīstraudzēs un tīraudzēs (95% ticamības intervālu norāda pelēkais iekrāsojums ap mīstraudzēm un tīraudzēm atbilstošās krāsas līniju).

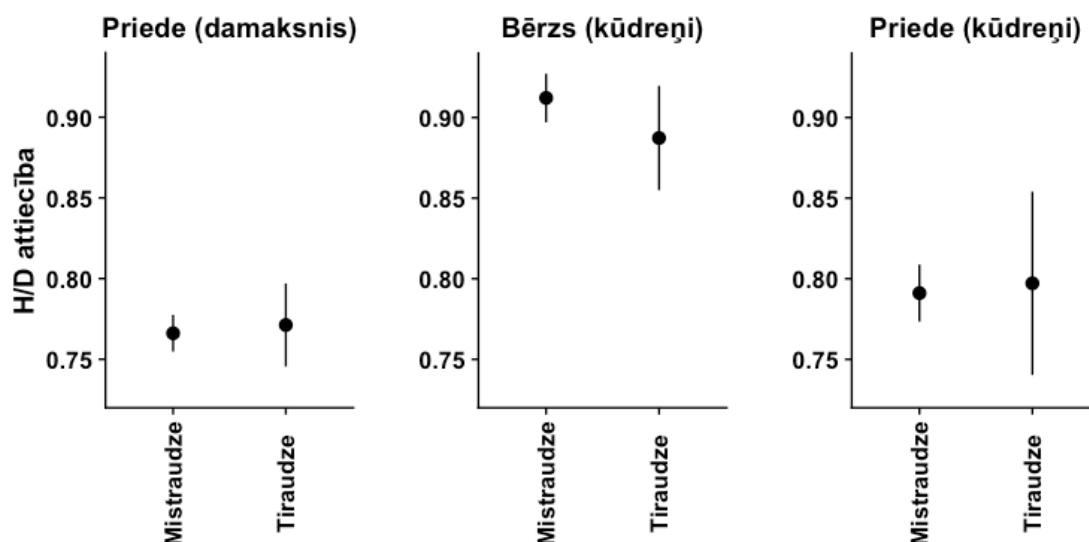
Savstarpēji salīdzinot H/D attiecību starp audzes veidiem (mīstraudze/ tīraudze) katrai valdošajai sugai atsevišķi (neatkarīgi no meža tipa), konstatēts, ka priedes un apses tīraudzēs H/D attiecība bija būtiski lielāka nekā mīstraudzēs, bērzam lielākas vērtības bija mīstraudzēs ($p=0,0408$), bet egles un melnalkšņa audzēm audzes veidam nebija būtiskas ietekmes uz H/D attiecību (5.11.att.).



5.11.attēls. H/D attiecība mistraudzēs un tīraudzēs ar atšķirīgām valdošajām sugām (95% ticamības intervālu norāda vertikālā līnija caur punktu).

Turpmāk veikts novērtējums konkrēta meža tipa ietvaros, atkarībā no valdošās sugas, un salīdzināta H/D attiecība starp mistraudzēm un tīraudzēm. Salīdzinājumu bija iespējams veikt tikai tiem meža tiptiem un valdošajām sugām, kas bija pārstāvētas ar statistiskajai analīzei nepieciešamo mistraudžu un tīraudžu skaitu.

Meža tipos, kur mistraudžu ierīkošana varētu būt rekomendējama, H/D attiecība mistraudzēs un tīraudzēs būtiski neatšķirās. Damaksnī priedes audzēm netika konstatētas būtiskas atšķirības starp H/D attiecību tīraudzēs un mistraudzēs (5.12.att.). Kūdreņos (Ks un Kp kopā) nedz priedes, nedz bērza audzēm netika konstatētas būtiskas atšķirības starp H/D attiecību tīraudzēs un mistraudzēs.



5.12.attēls. H/D attiecība mistraudzēs un tīraudzēs damaksnī priedes audzēm un kūdreņos bērza un priedes audzēm (95% ticamības intervālu norāda vertikālā līnija caur punktu).

Kopumā konstatēts, ka mežaudzes līmenī koku noturību (H/D attiecību) ietekmē valdošā suga, vecums un šķērslaukums. Mistraudzēs vidēji H/D attiecības vērtības bija statistiski būtiski, bet praktiski nenozīmīgi (par 0,03) lielākas nekā tīraudzēs. Meža tipos, kur mistraudžu ierīkošana varētu tikt praktizēta (Dm, Ks, Kp), H/D attiecība mistraudzēs un tīraudzēs būtiski neatšķīrās.

5.2. Mistrojuma meža masīva līmenī ietekme egļu bruņuts sastopamību

Viens no visvairāk pētītajiem mistrojuma ietekmes uz audzes vitalitāti aspektiem saistīts ar dendrofāgo kukaiņu izraisītiem bojājumiem. Pastāv uzskats, ka, samazinoties attiecīgās sugas saimniekkoku sastopamībai audzē, mistrojums ierobežo kaitēkļu speciālistu izplatību (samazina kopējo ietekmi). Turklāt mistraudzē ir daudzveidīgāka vide, kas nodrošina labvēlīgus apstākļus dendrofāgo kukaiņu parazītiem un dabiskajiem ienaidniekiem, kas skaidrojams ar pieņēmumu, ka dendrofāgie kukaiņi lielākoties ir speciālisti, bet to parazīti - ģenerālisti. Tomēr pētījumu rezultāti nav viennozīmīgi. Piemēram, pieredze Somijas rietumu daļā liecina, ka parastās priedes-kārpainā bērza (koku skaita attiecība 1:1, telpiskais izvietojums nav norādīts) mistrojumam ir pozitīva ietekme priežu rūsganās zāglapsenes (*Neodiprion sertifer*) ierobežošanai jaunaudzēs (Kaitaniemi et al., 2007). Bērza piemistrojumam audzē bija pozitīva ietekme uz rūsgano meža skudru (*Formica rufa*) sastopamību, kas būtiski negatīvi ietekmēja rūsganās zāglapsenes olu un kāpuru sastopamību un kāpuru izdzīvošanu. Tomēr dendrofāgo kukaiņu (t.sk. speciālistu) masveida savairošanās gadījumā novērota arī kopumā negatīva mistrojuma ietekme, t.i., augstāka kopējā koku mirstība mistraudzēs, kā pētījumā konstatējuši, piemēram, Bouchard et al. (2005), analizējot dendrofāga *Choristoneura fumiferana* ietekmi uz Kanādas egles, melnās egles un papīra bērza mirstību triju veidu audzēs – balzāma baltegles dominējošās, mistrotās skuju koku un mistrotās lapu koku audzēs – šī dendrofāga masveida savairošanās gadījumā Kanādā, Kvebekas provinces rietumu daļā.

Galvenais iemesls 2009.-2010.gadā Latvijā novērotajiem egļu masveida bojājumiem bija kaitēkļa egļu bruņuts (*Physokermes piceae*) savairošanās, ko iepriekšējos gados novēroja arī Polijā, Lietuvā un Skandināvijas valstīs.

Literatūras analīze (AS “Latvijas valsts meži” valdījumā esošajos mežos bojāto egļu audžu masveida bojājumu iemeslu noskaidrošana un rekomendāciju izstrāde bojāto audžu apsaimniekošanai, 2011) liecina, ka egļu bruņuts ir Latvijā parkos sastopams kukainis, kas parasti nav saistīts ar nopietniem mežaudžu postījumiem. Egļu bruņuts veido vienu paaudzi gadā. Mātītes aizsargātas ar apaļām, spīdīgām dzintarkrāsas bruņām 3-6 mm diametrā. Tēviņiem ir spārni, to garums 1 mm, sastopami reti. Mātītes jūnijā zem bruņām dēj no 800 līdz 3000 sarkanīgas olas (Turguter, Ülgentürk, 2006; Valstybinė Miškų Tarnyba, 2010), no kurām jūlijā izšķīlas nelieli rozā kāpuri, kas piesūcas jaunajiem dzinumiem vai skuļām to apakšējā daļā. Oktobrī kāpuri nomet čaulu un maina krāsu no rozīgas uz brūnu. Lielākā daļa kāpuru pēc ziemošanas piesūcas starp galotnes pumpura zvīnām zaru galos, tur nomet čaulu un pārvēršas apaļās dzeltenīgās mātītēs, kas pakāpeniski kļūst tumšākas un ir viegli pamanāmas (Valstybinė Miškų Tarnyba, 2010; McDaniel, 1929).

Par egļu bruņuts klātbūtni liecina medusrasas izdalījumi. Mātītes izdala lipīgu masu, kas sastāv no ekskrementiem un nepārstrādātiem cukuriem. Medusrasas melno krāsu nosaka kvēpsarmas sēnes *Apiosporium piniphilum* klātbūtne, kas saldus izdalījumus izmanto kā barības bāzi (Valstybinė Miškų Tarnyba, 2010; McDaniel, 1929). Iespējams, ka bruņuts izdalījumi un kvēpsarmas sēnes aizķepina atvārsnītes un traucē gāzu apmaiņu skuļās, sekmējot egļu

novājināšanas. Tomēr pierādījumu šādam pieņemumam pagaidām nav. Ir zināms, ka kvēpsarmas stipri noklātu koku vitalitāte samazinās un koki kļūst uzņēmīgi pret slimībām, īpaši “ziemas izžūšanu” (McDaniel, 1929). Raksturīgi, ka bruņuts čaulas strauji nobirst. Kaltušās egles identificējot gadu pēc to bojāejas, novājinātajos kokos vairs nav atrodamas bruņutis, toties novērojami masveidīgi dažādu sugu mizgraužu bojājumi, tādējādi radot priekšstatu par citu, ar bruņutīm nesaistītu bojājumu iemeslu. (Egļu audžu masveida bojājumu cēloņu izzināšana SIA “Rīgas meži” nosusinātās meža zemēs, 2010). Arī pētījumā “Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” (2012) konstatēts, ka bruņuts stipri bojātie koki tiek pakļauti sekundāro kaitēkļu (galvenokārt mizgraužu) ietekmei. Augstākais mizgraužu bojājumu īpatsvars (vidēji 8,7%) konstatēts kokiem ar augstāko egļu bruņuts bojājumu pakāpi iepriekšējā gadā.

Egļu bruņutu savairošanās parasti ilgst 2-3 gadus. Pēc tam normālos apstākļos to dabiskie ienaidnieki ierobežo kaitēkļa populāciju.

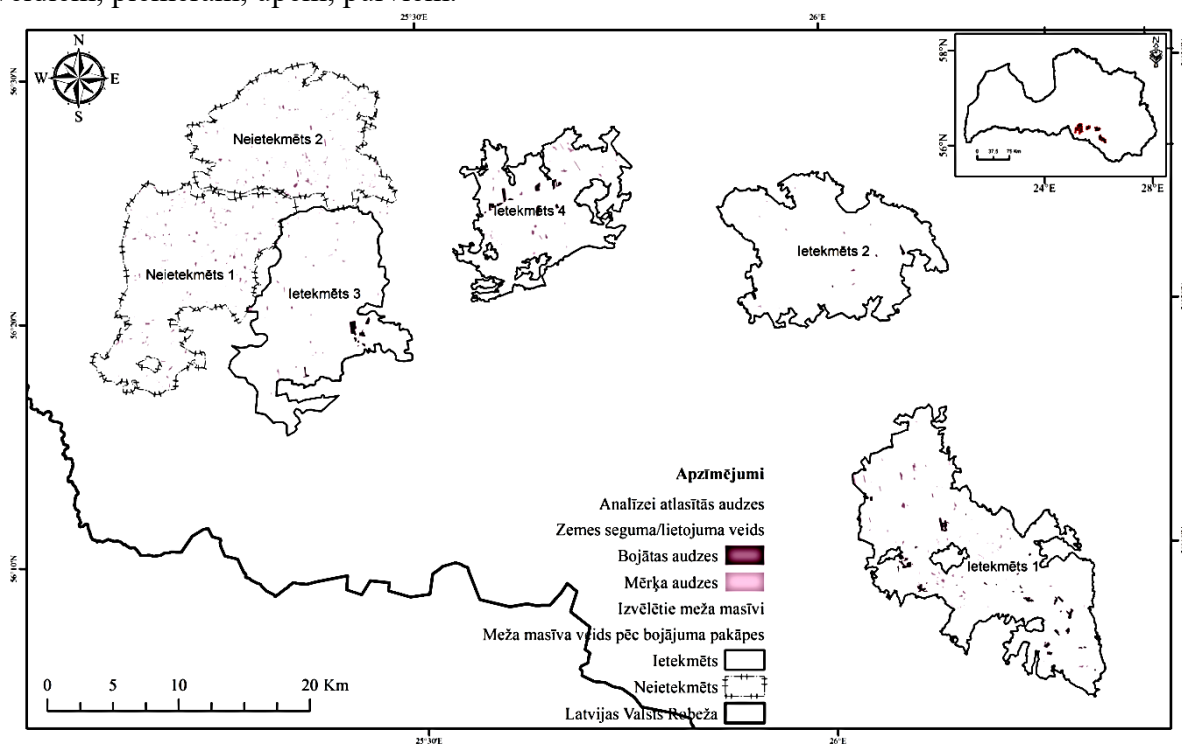
Egļu bruņuts posta egles (gan parastās egles, gan citu egļu sugu audzes), bet ne citu ģinšu kokus. Literatūrā minēts, ka egļu bruņuts vispirms parādās uz apakšējiem zariem un tad virzās pa vainagu uz augšu (McDaniel, 1929), taču gan Latvijā, gan arī Lietuvā un Zviedrijā konstatēts, ka bojājumi vispirms parādās egļu galotnēs. Egļu bruņuts sastopama visā egļu izplatības areālā mežos uz dabiski mitrām, sausām un susinātām augsnēm. Vislielākos bojājumus labvēlīgos meteoroloģiskajos apstākļos (ilgstošs sausums) egļu bruņuts nodara plantāciju tipa stādījumos uz susinātām augsnēm (Боголюбов & Кравченко, 2002). Pētījuma “Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām” (2012) ietvaros apkopotā informācija liecina, ka Skandināvijas valstīs un Lietuvā bruņuts izplatību un bojājumu intensitātes palielināšanos saistīja ar klimata izmaiņām, kas radījušas šī kaitēkļa attīstībai labvēlīgus meteoroloģiskos apstākļus un līdz ar to priekšnosacījumus šo kukaiņu virzībai uz ziemeļiem (Olsson et al., 2012; Valstybinė Miškų Tarnyba, 2010). Saskaņā ar pētījumiem, kas veikti Turcijā, egļu bruņuts savairošanos veicina ilgstoši sausuma periodi (1-2 nedēļas bez nokrišņiem) veģetācijas perioda laikā. Nākotnē Latvijā šādu bezlietus periodu iestāšanās varbūtība palielināsies (Jansons, 2011). Laikā, kad Latvijā un Lietuvā notika masveida egļu bruņuts savairošanās, Igaunijā un Somijā tika bojāti tikai atsevišķi koki; šajās valstīs klimatiskie apstākļi vēl nav bijuši piemēroti, lai notiktu masveidīga šī dendrofāga savairošanās. Paredzams, ka nākotnē egļu bruņuts bojājumu rašanās iespējamība un intensitāte palielināsies, tāpēc savlaicīgi veicami profilaktiskie pasākumi, lai ierobežotu šī kaitēkļa izplatību un sekmētu bojāto audžu atveseļošanu.

Baltijas valstīs egļu bruņuts savairošanās sākās egļu tīraudzēs uz nosusinātām kūdras un minerālaugsnēm, bet pēc tam turpinājās egļu audzēs uz dabiski sausām minerālaugsnēm (“Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām”, 2012). Netika konstatēta bojājumu izplatības korelācija ar citu sugu koku piemirstojumu mežaudzēs vai koku dimensijām. Tas liecina, ka riskam vienādi pakļautas gan egļu tīraudzes, gan mistraudzes, taču vispirms egļu bruņuts savairojas novājinātās egļu audzēs. Bojāto audžu apsekošana 2010. gadā liecināja, ka bojātās egļu audzes parasti ir uz nosusinātās augsnes, un tajās nesen veikta krājas kopšana.

VMD dati par egļu bruņuts radītiem bojājumiem izmantoti ainavas līmeņa mistrojuma ietekmes uz bojājumu sastopamības novērtēšanai. Šādas izvēles pamatā ir tas, ka bojājumi ir nozīmīgi, labi dokumentēti, koncentrēti laikā (2010.-2011.gads) un šis kaitēklis Latvijā ir monofāgs.

Pētījums izstrādāts vairāko no egles bruņuts (*Physokermes piceae*) 2010. gadā vissmagāk ietekmētajiem parastās egles (*Picea abies* L. Karst.) meža masīviem Latvijas dienvidaustrumu

daļā, Daugavpils un Jēkabpils novados. Atsevišķi meža nogabali bija bojāti arī citviet Latvijā – šos datus iespējams izmantot iegūtā modeļa verificēšanai turomākos pētījuma etapos. Meža masīvi izvēlēti kā meža nogabalu grupas, neizslēdzot meža infrastruktūras objektus, nelielas nemeža zemes un purvus, ja tie iekļāvās meža masīva robežās, un vismaz no trim debespusēm robežojās ar meža nogabaliem. Par meža masīva ārējo robežu pieņemta robeža, kur meža nogabalu grupas robežojas ar citiem zemes seguma veidiem, piemēram, pļāvām, purviem, laucēm, upēm vai ezeriem u.c. Kopumā izvēlēti seši meža masīvi, no kuriem četros konstatēti egļu bruņuts bojājumi (turpmāk – Ietekmēti masīvi), bet divi izvēlēti salīdzināšanai kā kontrole (turpmāk – Neietekmēti masīvi) (5.13.att.). Trīs meža masīvi (Ietekmēts meža masīvs Nr. 4, Neietekmēts meža masīvs Nr. 1 un Neietekmēts meža masīvs Nr. 2) izdalīti no lielāka meža masīva, balstoties uz ortofotoattēlos saskatāmām robežām dabā ar citiem zemes seguma veidiem, piemēram, upēm, purviem.



5.13.attēls. Pētījumā izvēlēto meža masīvu un analīzei atlasīto zemes seguma/lietojuma veidu novietojums Latvijas teritorijā.

Kopumā pētījumam atlasīti un turpmākajā analīzē izmantoti dati par 194 bruņuts bojātām egļu (vismaz 70% no pirmā stāva šķērslaukuma) audzēm, kurās veikta sanitārā kailcirte (turpmāk *Bojātās audzes* BA) un kuru kopējā platība sastādīja 460,3 ha (vienas audzes platība no 0,09 līdz 13,5 ha), bet vecums izvēlētajām audzēm bija no 40 līdz 70 gadiem (vecums, kurā konstatēts visvairāk bruņuts bojājumu – Marčiulynas, 2016). Līdzīga vecuma un sastāva egļu audzes bez nozīmīgiem bruņuts bojājumiem (nav veikta sanitārā cirte) definētas kā *Mērķa audzes* (MA). Kontroles MA izvēlētas no visām MA pēc nejaušības principa, izmantojot ArcGis 10.2 rīku *Sampling design tool* (Buja, Menza, 2013; ESRI, 2014), atlasot kopumā 194 kontroles MA ietekmētajos meža masīvos, kā arī 150 kontroles MA katrā no neietekmētajiem meža masīviem. Kontroles MA skaits katrā no ietekmētajiem meža masīviem izvēlēts proporcionāli BA skaitam. Kontroles MA skaits pa meža tipu grupām izvēlēts proporcionāli BA skaitam meža tipu grupās. Atlasot kontroles MA, izveidots papildus nosacījums, ka tās

atrodas vismaz 501 m attālumā no bruņuts skartajām audzēm (tādejādi mazinot iespēju, ka kontroles audzē tomēr bijuši kādi bojājumi).

Datu avoti un apstrāde.

Pētījumam izmantots Latvijas Valsts meža dienesta kartogrāfiskais materiāls. Iegūti telpiskie dati vektoru (.shp) formātā, poligona objekti, kuriem atribūtu tabulas veidā pievienota informācija par zemes lietojuma veidu, meža tipu, mežaudzes taksācijas datiem (valdošā suga, valdošās sugas vecums u.c.), kas aktualizēta līdz 2010. gadam. Bruņuts skarto mežaudžu robežas pārbaudītas, izmantojot Latvijas 4. cikla aerofotografēšanas ortofotoattēlus (LGIA, 2012).

Sākotnēji datu apstrādes fāze veikta GIS vidē, izmantojot datorprogrammu ArcGis 10.2 versiju (ESRI, 2014), ar kuras palīdzību katrs meža masīvu veidojošo poligonu vektoru datu slānis konvertēts uz rastra datu failu, izmantojot nosacījumu, ka viena pikseļa (šūnas) lielums ir 10 m × 10 m dabā, kas atbilst augstai izšķirtspējai; iegūtie attēli saglabāti, izmantojot Tagu attēlu failu formātu (.tiff). Iegūtie rastra attēli analizēti, izmantojot datorprogrammu *Fragstats 4.2.* versiju (McGarigal, Marks, 1995), un ArcGis 10.2 rīku *Patch analyst tool*.

Meža masīva ainavas raksturošanai izmantoti šādi indikatori (McGarigal, Marks, 1995): Šenona daudzveidības indekss (SHDI), zemes seguma/lietojuma grupas īpatsvars ainavā (PLAND), vidējais plankuma izmērs (MPS), kodolzonas platība (CA), kodolzonas īpatsvars jeb indekss (TCAI), vidējais plankuma formas indekss (MSI), vidējais plankuma malas garums (MPE), malu blīvums (ED), vidējās fraktālu dimensijas (FRAC_MN), saskares indekss (CONTIG). Indikatoru vērtības vispirms tika aprēķinātas katram ainavas plankumam, un tad vispārinātas klases līmenī. Analizējot egļu bruņuts savairošanās iemeslus, savstarpēji salīdzinātas divas klases: bruņuts ietekmētās audzes, kurās veikta sanitārā kailcirte (t.i., *Bojātas audzes*), un kontroles MA (t.i., atlasītās audzes no *Mērķa audžu* grupas), kuras atrodas gan ietekmētajos meža masīvos, gan neietekmētajos meža masīvos. Gan meža masīva (ainavas) līmeņa, gan klases līmeņa analīzes veikšanai meža masīvā esošie zemes seguma veidi vai zemes lietojuma veidi (saskaņā ar informāciju Meža valsts reģistra datubāzē) apvienoti 16 zemes seguma/lietojuma grupās (5.2.tab.).

5.2.tabula

Definēto zemes seguma/lietojuma grupu apraksts

Definētās zemes seguma/lietojuma grupas	Apraksts
Bojātas audzes	Egļu bruņuts bojātās parastās egles audzes, kur 2010. gadā veikta sanitārā kailcirte
Priedes tīraudzes ¹	Priedes tīraudzes
Priedes mistraudzes ²	Priedes mistrojums ar egli, bērzu vai apsi
Egles tīraudzes MA ³	Egles tīraudzes vecumā no 40 līdz 70 gadiem
Egles mistraudzes	Egles mistrojums ar priedi, bērzu, melnalksni, baltalksni, apsi, osi
Egles tīraudzes – nemērķa audzes	Egles tīraudzes, jaunākas par 40 gadiem un vecākas par 70 gadiem
Nemeža zemes	Lauksaimniecības zeme, pļava vai buferzona ārpus meža masīva robežām
Lapu koki-šaurlapu-tīraudzes	Bērza, melnalkšņa, baltalkšņa, apses tīraudzes
Lapu koki-šaurlapu-mistraudzes	Bērza, melnalkšņa, baltalkšņa, apses mistraudzes
Lapu koki (platlapu)	Ozola, oša, liepas, gobas, kļavu audzes

Citi bojājumi	Vējgāzes, snieglauzes, citu kukaiņu bojājumi vai dzīvnieku bojātas jebkādas sugas audzes
Infrastruktūra	Infrastruktūras objekti, t.sk., lielceļi, meža ceļi, kvartālistigas
Lauces	Audzes atvērums
Mitrzemes	Pārplūstoši klajumi, bebru appludinājumi, upes, ezeri, grāvji
Izcirtumi	Nocirstas (kailcirtē) jebkādas sugas audzes
Purvi	Zemais, pārejas vai augstais purvs

Paskaidrojumi: ¹tīraudzēs attiecīgās sugas šķērslaukums ir vismaz 70% no pirmā stāva šķērslaukuma; ²mistraudzēs sugas šķērslaukums ir mazāks par 70% no kopējā šķērslaukuma, mistraudzēm zemes seguma/lietojuma veida nosaukums dots pēc sugas ar lielāko šķērslaukumu; ³grupā MA ietilpst arī kontrolei izmantotās MA (t.i., 194 audzes ietekmētajos masīvos un 300 neietekmētajos masīvos), kas atlasītas detalizētākai analīzei.

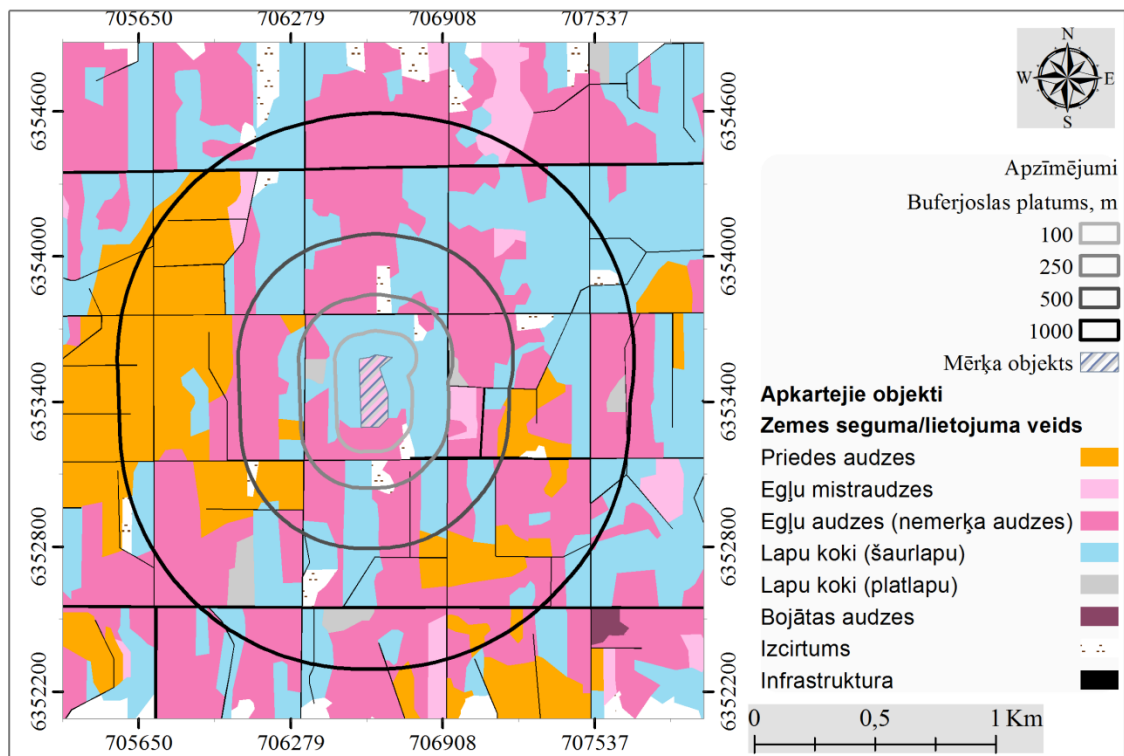
Papildus ģeotelpisko datu apstrāde veikta, lai analizētu nevienmērīguma apstākļus ap ainavu veidojošiem elementiem, t.i., noskaidrots, cik daudzveidīga audžu struktūra ir ap mērķa objektiem (BA un MA). Šim uzdevumam izmantots Šenona daudzveidības indekss, kurš noteikts katram ainavas elementam atsevišķi, izmantojot dažāda platumā buferzonu: 100 m, 250 m, 500 m un 1000 m (5.14.att.), katru zonu izdalot atsevišķā vektora formātā slānī (.shp). Pirms daudzveidības analīzes, katram meža masīvam izveidota 1000 m plata ārējā buferzona: (1) gadījumos, kad meža masīvam nav kopīgas robežas ar citu pētījumā izmantotu meža masīvu, buferzonā ietilpstošajām teritorijām piešķirta zemes seguma/lietojuma grupa “Nemeža zemes”, savukārt (2) gadījumos, kad meža masīvam bija kopīga robeža ar citu pētījumā izmantotu meža masīvu, blakus esošie nogabali un to zemju seguma/lietojumu grupas no šī cita meža masīva izmantoti, raksturojot daudzveidību.

Daudzveidības raksturošanai izmantotā metode paredz savā starpā kombinēt ESRI ArcMap 10.2. vidē (ESRI, 2014), pieejamo telpiskās analīzes rīku *Tabulate Intersection* un datorprogrammu R Version 3.0.2 vidē (R Development Core Team, 2013) pieejamās pakotnes *Vegan* funkciju *Diversity*. Ar rīku *Tabulate intersection* aprēķināts, kādu platības daļu no katra poligona veida objekta buferzonas aizņem apkārt esošie zemes seguma/lietojuma veidi. Iegūtās platības integrētas funkcijā *Diversity*, kur Šenona daudzveidības indekss ir definēts kā

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_b p_i$$

kur p_i ir i -tā zemes seguma/lietojuma veida īpatsvars no buferzonas platības ap poligona veida objektu, S ir zemes seguma/lietojuma veidu skaits ap poligona veida objektu, b ir logaritma bāze.

Rezultātā iegūti četri meža ainavu veidojošo elementu apkārtējās mikrovides raksturojoši Šenona daudzveidības rādītāji SHDI 100, SHDI 250, SHDI 500 un SHDI 1000 – atbilstoši buferzonas platumam.



5.14.attēls. Mērķa objekts ar tam izveidotām dažāda platuma buferzonām.

Datu statistiskā apstrāde.

Sākotnēji pārbaudīta egļu bruņuts bojāto audžu savstarpējā grupēšanās un izvietojums meža masīva ietvaros, izmantojot ArcGIS 10.2. (ESRI, 2014) statistiskās analīzes rīku *Spatial autocorrelation (Moran's I)* telpiskās autokorelācijas skaitlisko rādītāju noteikšanai. Datu sadalījuma pārbaudē izmantots *Shapiro-Wilk* normalitātes tests (būtiskuma līmenis $\alpha = 0,05$). Pētījumā iegūto ainavas indikatoru vidējo vērtību salīdzināšanai starp zemes seguma/lietojuma veidiem izmantotas neparametriskās statistiskās metodes *Kruskal-Walis* tests un *Hi kvadrāta* tests. Statistiskie testi veikti programmā R Version 3.0.2 (R Development Core Team 2013). Vispārīgā jaukta efekta lineārais modelis (GLMMs) izmantots, lai definētu faktorus, ar kuru palīdzību būtu iespējams prognozēt egļu bruņuts sastopamību (modelī izmantoti kā binārie dati) atkarībā no meža masīva struktūru un konfigurāciju raksturojošiem rādītājiem. Modelī meža masīvi tika iekļauti kā nejaušs faktors, bet kā izskaidrojošie mainīgie izmantoti ainavas indikatori (piemēram, vidējā plankuma lielums, vidējais plankuma formas indekss, vidējais plankuma malas garums, vidējās fraktālu dimensijas, saskares indekss un iekļaušanās indekss) un aprēķinātie dažādu buferzonas platumu ainavas daudzveidības rādītāji (SHDI100, SHDI250, SHDI500 un SHDI1000). Modelī iekļauti tikai tādi regresori (indikatoru), starp kuriem nepastāv izteikta kolinearitāte ($r > 0,50$); ja kolinearitāte pastāv, regresijas modelī iekļauj tikai to rādītāju, kuram augstāka izskaidrojošā vērtība. Modelis izveidots programmā R Version 3.0.2 (R Development Core Team 2013), izmantojot funkciju *glmer*, kas pieejama pakotnē *lmer4* (Winter, 2013). Precīzākais modelis izvēlēts, izmantojot Akaikes kritēriju (Akaike, 1974).

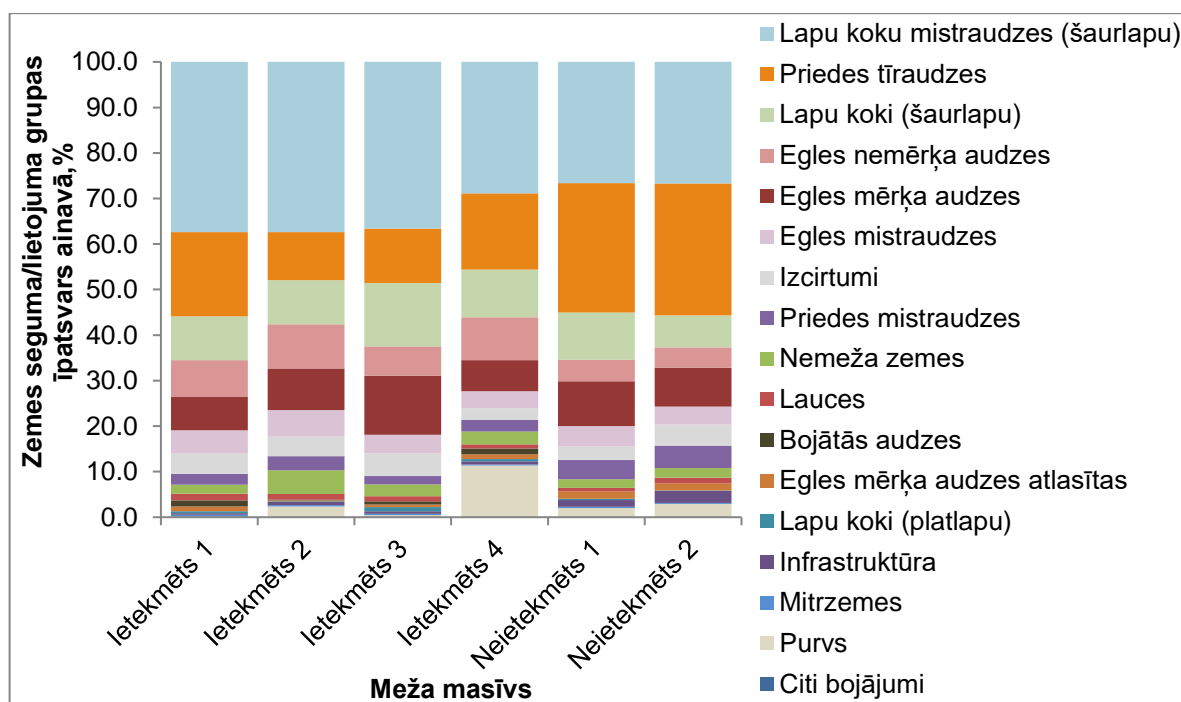
Rezultāti

Lielākā daļa no 194 bruņuts bojātajām audzēm konstatēta meža masīvā "Ietekmēts 1": 112 audzes ar kopējo platību 234 ha jeb 1,36% no kopējās šī meža masīva platības (PLAND). Vismazākais bojāto audžu īpatsvars konstatēts masīvā "Ietekmēts 2" – 21,5 ha jeb 0,18% no masīva platības. Masīvā "Ietekmēts 3" bojāto audžu platība veidoja 87,5 ha jeb 0,70% no

kopējās šī meža masīva platības, un masīvā “Ietekmēts 4” bojātās audzes veidoja 125,0 ha jeb 1,28% no meža masīva platības. Ietekmētajos masīvos kontroles MA aizņemtās platības daļa no meža masīva variēja līdzīgi – tā bija robežās no 0,16% līdz 1,04% (attiecīgi no 67,8 ha līdz 181,5 ha) (5.15.att.).

Zīmīgi, ka neietekmētajos masīvos kopumā konstatēts augstāks priedes tīraudžu īpatsvars. Kā zināms, priede ir saimniekaugs bruņuts dabiskajam ienaidniekam platsmecerim *Anthribus nebulosus*. Serbijā veiktā pētījumā bruņuts populācijas īpatsvars samazinājās par 68 līdz 80%, ja tuvumā bija novērots *Anthribus nebulosus* (Graora et al., 2012). Arī pētījumā Lietuvā konstatēta *Anthribus nebulosus* nozīmīga loma bruņuts populācijas ierobežošanā (Marčiulynas, 2016).

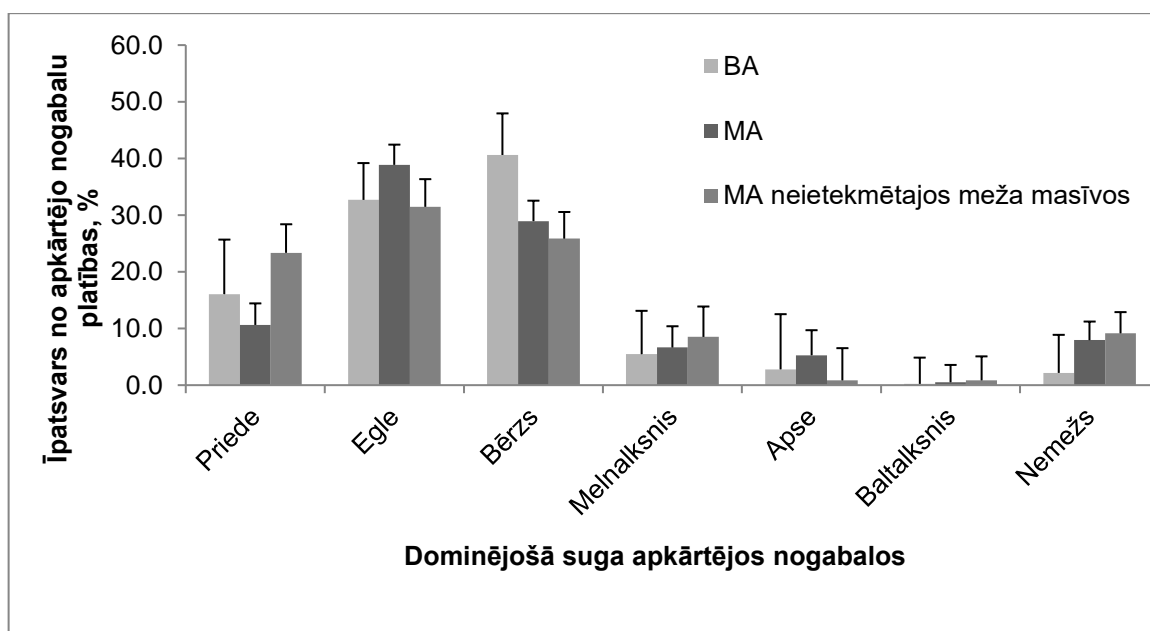
Telpiskās autokorelācijas rezultāti liecina, ka meža masīvos “Ietekmēts 1”, “Ietekmēts 2” un “Ietekmēts 4” egļu bruņuts bojātajās audzēs veidoja izteiktas agregācijas, t.i., starp šīm audzēm novērotas izteiktas grupēšanās pazīmes, bet meža masīvā “Ietekmēts 3” bruņuts bojātajām audzēm novērots nejaušs telpiskais izvietojums ainavā. Pētījumu rezultāti Zviedrijā, analizējot līdzīgas dendrofāgu sugas – Ungārijas bruņuts – ietekmēto audžu ievietojumu, arī liecina par šo audžu grupēšanos, kas skaidrota ar kukaiņa migrāciju no bojātajām uz blakus esošajām, veselajām audzēm (Olsson et al., 2012). Tas saskan ar citos pētījumos konstatēto, ka izteikta bruņuts izplatīšanās uz blakus audzēm notiek 1-2 gadus (Kunkel, 1997; Turguter, Ülgentürk, 2006). Tomēr, vērtējot tāda paša vecuma un sastāva nebojātās egļu audzes gan ietekmētajos, gan neietekmētajos (kontroles) meža masīvos, konstatēts, ka arī tās telpiski izvietotas grupveidā. Tas liecina, ka kukaiņu izplatība bojātajās egļu audzēs, kas izraisījusi šo audžu bojāeju, visticamāk, ir saistīta ar citiem faktoriem, nevis audžu savstarpējo tuvumu.



5.15.attēls. Zemes seguma/lietojuma grupu platību īpatsvars meža masīvos.

Tomēr mežaudžu kompozīcijai meža masīva un reģiona līmenī var būt nozīmīga ietekme uz dendrofāgo kukaiņu populāciju dinamiku (Jactel et al., 2005, Li, Reynolds, 1994, Setiawan et al., 2014). Kopumā konstatētas būtiskas atšķirības (χ^2 tests, $p < 0,001$) starp meža masīviem zemes seguma/lietojuma grupu sadalījumā, analizē iekļaujot šādas visvairāk pārstāvētās zemes seguma/lietojuma grupas: lapu koki-šaurlapu-mistraudzes, priedes tīraudzes, lapu koki-

šaurlapu-tīraudzes, egles tīraudzes-nemērķa audzes, egles tīraudzes-mērķa audzes. Raksturojot apkārtējo vidi ap izvēlētajām zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA ietekmētajos meža masīvos un neietekmētajos meža masīvos, no kopējās datubāzes atlasīti objekti, kuriem vismaz viena mala ir kopīga ar izvēlēto zemes seguma/lietojuma grupu. Apkopojot atlasītos objektus pēc to valdošās koku sugas, konstatētas būtiskas ($\chi^2 = 2785,9$, $p < 0,001$) savstarpējas atšķirības starp zemes seguma/lietojuma grupām BA ietekmētajos meža masīvos, kontroles MA ietekmētajos meža masīvos un kontroles MA neietekmētajos meža masīvos. Ap bojātām audzēm konstatētas galvenokārt bērza audzes (41% no kopējās ap BA esošo audžu platības), egļu audzes (33%) un priedes audzes (16%). Apkārtējo vidi ietekmētajos meža masīvos ap kontroles MA lielākoties veidoja trīs dominējošās koku sugas egļu audzes (39%), bērza audzes (29%) un priežu audzes (11%), bet gandrīz 12% no apkārt esošo audžu platības veidoja melnalkšņa un apšu audzes. Salīdzināšanai izmantojot kontroles MA neietekmētajos meža masīvos, konstatēts, ka no apkārtējām audzēm ap šo zemes seguma/lietojuma grupu lielāko platības daļu veidoja egļu audzes (31%). Ievērojami lielāku platības daļu, salīdzinot ar ietekmētiem meža masīviem, veidoja priežu audzes (24%), tajā pašā laikā relatīvi mazākā apjomā konstatētas lapu koku audzes (bērza audzes 26%, melnalkšņa audzes 9%) (5.16.att.). Ietekmētajos masīvos salīdzināts, vai starp bojātām un mērķa audzēm atšķiras tādu apkārtējo nogabalu malu garums, kuru sastāvā ir egle. Konstatēts, ka ap bojātām audzēm katrā no 4 ietekmētajiem masīviem audžu, kuru sastāvā ir egle, nogabalu malu garums ir mazāks nekā ap mērķa audzēm, tomēr atšķirības bija nelielas un nebija statistiski būtiskas. Tātad apstiprinās jau iepriekš konstatētais – tieša citu egļu klātbūtne nav nozīmīgākais bojājumu risku ietekmējošais faktors.



5.16.attēls. Apkārtējo nogabalu raksturojums (pēc nogabala taksācijas aprakstā norādītās dominējošās sugas) ap zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA ($\pm 95\%$ ticamības intervāls).

Daudzus ekoloģiskos procesus, tajā skaitā egļu bruņuts savairošanos un izplatību audzē (klases līmenis) vai meža masīvā (ainavas līmenis), skaitāma ar tādiem ainavas indikatoriem, kā plankuma izmērs un forma un zemes seguma/lietojuma grupu daudzveidība ainavā (Hunter, 1999). Savstarpēji salīdzinot atlasīto zemes seguma/lietojuma grupu vidējos ainavas

indikatorus gan viena masīva ietvaros, gan ar neietekmēto meža masīvu, konstatētas būtiskas atšķirības (*Kruskal-Wallis* tests, $p < 0,05$).

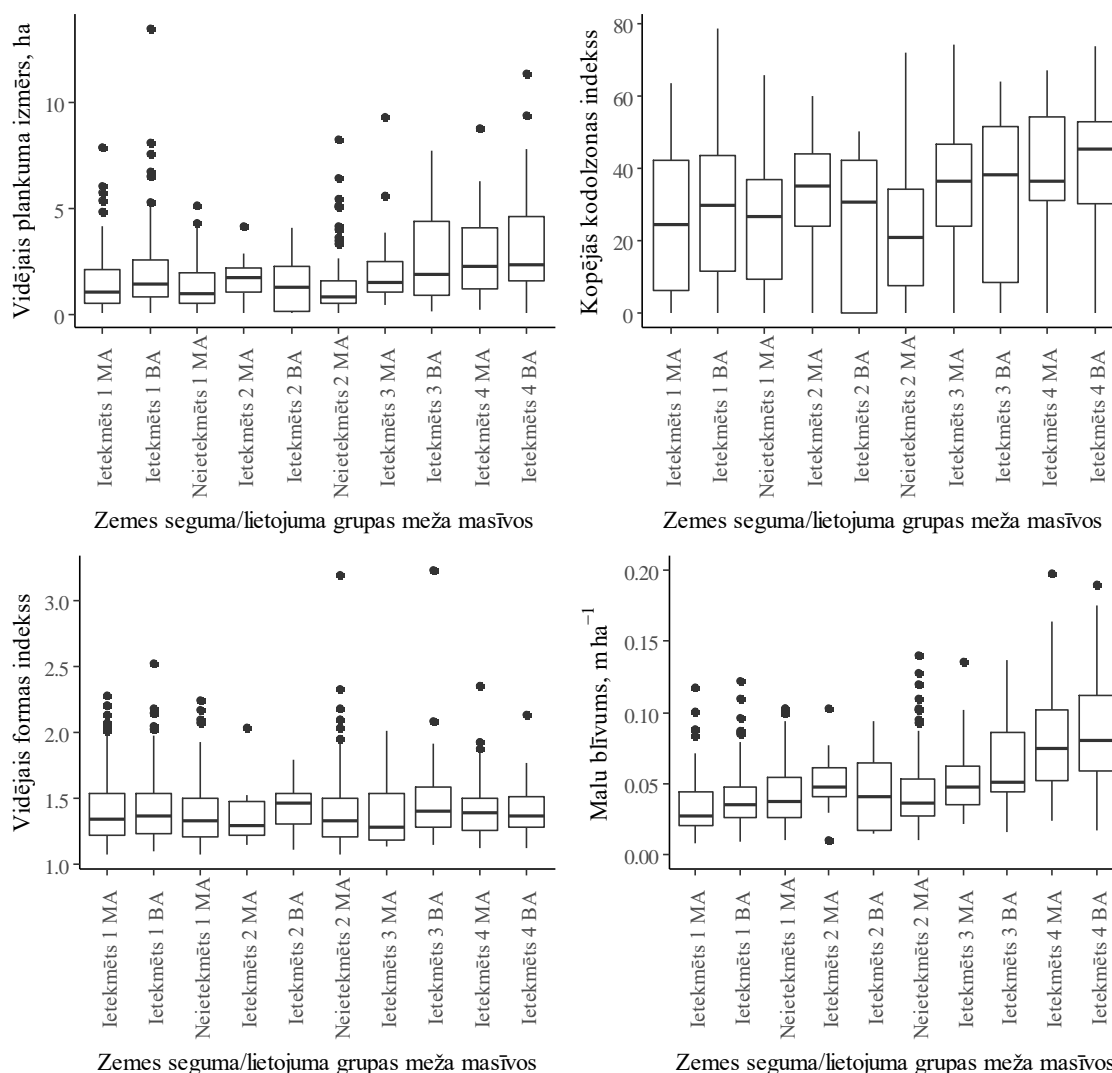
BA grupai, salīdzinot ar kontroles MA, ietekmētajos meža masīvos raksturīgi lielāki vidējie plankumu izmēri jeb nogabalu platības, turklāt būtiski ($p < 0,05$) lielāks šis rādītājs bija tikai meža masīvā "Ietekmēts 1" (attiecīgi 2,07 un 1,58 ha), citos meža masīvos atšķirības nebija statistiski būtiskas. Salīdzinot ar neietekmētajos meža masīvos konstatētajiem kontroles MA grupas plankumu izmēriem (vidēji 1,32 ha), BA plankumu izmēri bija ievērojami (vidēji 2,37 ha) un statistiski būtiski ($p < 0,001$) lielāki. Lietuvā veiktā pētījumā nav konstatēta audzes platības būtiska ietekme uz egļu bruņuts bojājumu apmēru parastās egles audzēs (Marčiulynas, 2016).

Kodolzonas platība pētījumā definēta kā plankuma platība, neskaitot 20 metrus platu buferzonu no plankuma malām. Konstatēts, ka ietekmētajos meža masīvos vidējā kodolzonas platība BA grupas plankumiem bija lielāka, salīdzinot ar kontroles MA grupu (attiecīgi $1,11 \pm 0,11$ un $0,82 \pm 0,07$ ha); statistiski būtiski ($p < 0,01$) lielāka tā bija tikai meža masīvā "Ietekmēts 1". Ievērojami mazākas plankumu kodolzonas platības ($0,47 \pm 0,04$ ha) konstatētas neietekmētajos meža masīvos, turklāt šīs atšķirības bija statistiski būtiskas ($p < 0,001$), salīdzinot ar ietekmēto meža masīvu zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA. Arī plankuma kopējās kodolzonas īpatsvars ietekmētajos meža masīvos bija augstāks BA grupai (34,1%), salīdzinot ar kontroles MA plankumiem gan ietekmētajos, gan neietekmētajos meža masīvos (attiecīgi, 29,0% un 23,8 %; $p < 0,001$). Ainavu ekoloģijā ļoti svarīga ir arī plankuma robeža un forma (Tērauds, 2011). Malās sugu uzvedība ir atšķirīga; mūsu pētījumā konstatētas atšķirības starp zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA, salīdzinot plankumu malu garumu vidējās vērtības (attiecīgi $711,5 \pm 26,63$ m un $645,3 \pm 24,97$ m), kaut gan būtiskas ($p < 0,05$) atšķirības novērotas tikai meža masīvā "Ietekmēts 1". Tajā pašā laikā kontroles MA malu garums ($536,2 \pm 15,94$ m) neietekmētajos meža masīvos statistiski būtiski ($p < 0,001$) atšķīrās no ietekmēto meža masīvu BA un kontroles MA plankumiem. Attiecinot zemes seguma/lietojuma grupu BA un kontroles MA plankumu malu garumus pret ainavas kopējo platību (malu blīvums ED), konstatēts, ka ED vidējās vērtības meža masīviem variē robežās no $0,03 \text{ m ha}^{-1}$ līdz $0,08 \text{ m ha}^{-1}$, bet, savstarpēji salīdzinot ED vērtības starp zemes seguma/lietojuma klasēm BA un kontroles MA viena meža masīva ietvaros, konstatēts, ka būtiski ($p < 0,05$) atšķirīgs malu blīvums bija tikai meža masīvā "Ietekmēts 1". Plankuma malās veidojas atšķirīgs mikroklimats un var būt labvēlīgāki apstākļi sauli mīlošām sugām (Radeloff, Mladenoff, 2003), t.sk. egļu bruņutij, kas savairojas saulainās, labi vēdinātās vietās (Turguter, Ülgentürk, 2006). Tajā pašā laikā plankuma malas ir arī piemērotāka vide šo sugu dabiskajiem ienaidniekiem (Cappuccino et al., 1998).

Plankuma formu raksturojošie indikatori parāda plankuma sarežģītību, kas var būt būtiska dažādiem ekoloģiskiem procesiem (Forman, 1995). Piemēram, apaļam plankumam ir vismazākais perimetrs, salīdzinot ar tā laukumu, bet formas indeksa vērtība pieaug, ja plankumi ir daudz izstieptāki vai tiem ir sarežģītas robežas (Radeloff, Mladenoff, 2003; Tērauds, 2011). Novērtējot plankumu formas indeksu (MSI) meža ainavā, konstatēts, ka tā vidējās vērtības būtiski neatšķīrās, salīdzinot starp zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA ietekmētajos un neietekmētajos meža masīvos (attiecīgi, $1,43 \pm 0,02$, $1,42 \pm 0,02$ un $1,40 \pm 0,02$). Tikai meža masīvā "Ietekmēts 4" kontroles MA zemes seguma/lietojuma grupai konstatēts lielāks formas indekss nekā BA. Bieži ainavu veidojošo elementu formu raksturošanai izmanto fraktāļu dimensijas (FRAC_MN), šis ainavas indikators, atšķirībā no formas indeksa, nav atkarīgs no mēroga (Krummel et al., 1987). Lai gan fraktāļu dimensiju indikatoram nav tiešas

fiziska vai ekoloģiska rakstura ietekmes uz dzīvotņu ekoloģisko kvalitāti, to bieži izmanto, lai raksturotu plankumu formu sarežģītību vienas ainavas (reģiona) ietvaros, kā arī lai novērtētu ainavas telpisko struktūru un rakstu (Imre, Bogaert, 2004). Tradicionāli mežsaimniecībā izmantojamām zemes teritorijām raksturīgi vienkāršotu formu plankumi. Kvadrātam, kas ir salīdzinoši zemas sarežģītības forma, FRAC_MN vērtība ir viens, bet maksimāli iespējamā FRAC_MN vērtība ir divi, kas atbilstu sarežģītu formu plankumiem (Mandelbort, 1983). Mūsu pētījumā, analizējot formas sarežģītības pakāpi, ietekmētajos meža masīvos nav novērotas būtiskas atšķirības starp zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA, konstatēts, ka FRAC_MN vērtības variē no 1,24 līdz 1,57.

Telpiskajai struktūrai ir svarīga loma, nosakot dzīvo organismu pārvietošanos starp blakusesošajām ekosistēmām (Forman, 1995). Vērtējot plankumu formu un strukturālo savienojamību ietekmētajos meža masīvos, konstatēts, ka augstāks saskares indekss (CONTIG) ir BA zemes seguma/ lietojuma grupai, salīdzinot ar kontroles MA (attiecīgi 0,87 un 0,83). Statistiski būtiskas ($p < 0,05$) CONTIG atšķirības starp zemes seguma/ lietojuma klasēm konstatētas meža masīvos "Ietekmēts 1" un "Ietekmēts 3" (5.17.att.), turklāt šajos masīvos konstatēts viens no augstākajiem BA grupas īpatsvaram, liecinot par plankumu savienojamības nozīmīgu ietekmi uz egļu bruņus izplatīšanos ainavā. Neietekmētajos meža masīvos konektivitāte starp kontroles MA plankumiem (0,81) bija statistiski būtiski mazāka gan par BA plankumiem, gan kontroles MA plankumiem ietekmētajos meža masīvos.



5.17.attēls. Ainavas kompozīcijas un konfigurācijas rādītāji zemes seguma/lietojuma klasēm bojātās audzēs (BA) un kontroles mērķa audzēs (MA) dažādos meža masīvos.

Ainavas daudzveidības novērtēšanā nozīmīgs aspekts ir telpiskais mērogs; tā izvēle var būtiski ietekmēt pētījuma rezultātus (Miller, Rusnock, 1993; Kumar et al., 2006). Mūsu pētījumā, analizējot meža masīvu telpiskā raksta daudzveidību (SHDI), sākotnēji izdalītas četras dažāda platuma buferzonas. SHDI vērtībass joslās ap abām analizējamām zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA parādītas 5.3.tabulā.

5.3.tabula

Šenona daudzveidības indekss SHDI bojātajās un mērķa audzēs ietekmētajos un neietekmētajos meža masīvos dažāda platuma buferzonas

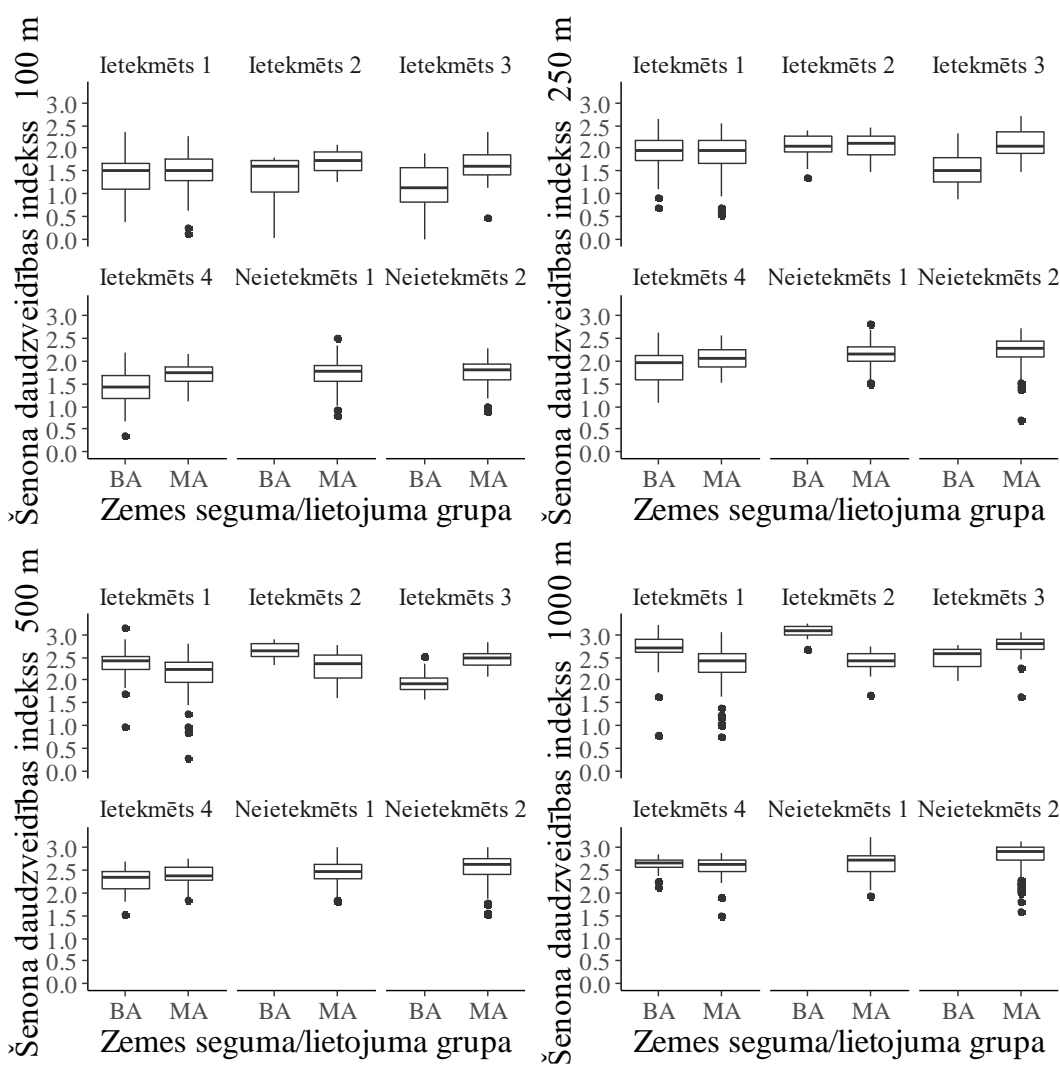
Meža masīvi	BA	Kontroles MA	Atšķirību būtiskums (p-vērtība) starp				
			BA un MA _{Iet.}	BA un MA _{Neiet.1}	BA un MA _{Neiet.2}	MA _{Iet.} un MA _{Neiet.1}	MA _{Iet.} un MA _{Neiet.2}
SHDI 100							
Ietekmēts1	1,40	1,50	0,116	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)
Ietekmēts2	1,38	1,71	0,060	0,006(<)	0,002(<)	0,850	0,590
Ietekmēts3	1,12	1,64	0,001(<)*	0,001(<)	0,001(<)	0,174	0,050
Ietekmēts4	1,40	1,72	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,790	0,310
Neietekmēts1		1,72					
Neietekmēts2		1,76					
SHDI 250							
Ietekmēts1	1,94	1,89	0,047(>)	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)
Ietekmēts2	2,07	2,04	0,810	0,169	0,030(<)	0,289	0,050
Ietekmēts3	1,55	2,09	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,138	0,014(<)
Ietekmēts4	1,86	2,06	0,029(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,019(<)	0,001(<)
Neietekmēts1		2,16					
Neietekmēts2		2,22					
SHDI 500							
Ietekmēts1	2,38	2,15	0,001(>)	0,002(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)
Ietekmēts2	2,67	2,29	0,009(>)	0,003(>)	0,465	0,088	0,010(<)
Ietekmēts3	1,96	2,45	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,515	0,009(<)
Ietekmēts4	2,27	2,39	0,044(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,068	0,001(<)
Neietekmēts1		2,47					
Neietekmēts2		2,55					
SHDI 1000							
Ietekmēts1	2,72	2,32	0,001(>)	0,091	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)
Ietekmēts2	3,06	2,39	0,001(>)	0,001(>)	0,001(>)	0,002(<)	0,001(<)
Ietekmēts3	2,48	2,74	0,001(<)	0,001(<)	0,001(<)	0,056	0,012(<)
Ietekmēts4	2,62	2,56	0,442	0,105	0,001(<)	0,020(<)	0,001(<)
Neietekmēts1		2,67					
Neietekmēts2		2,81					

*iekavās aiz tām p-vērtībām, kas norāda uz atšķirību būtiskumu ($p < 0,05$), norādīts sakarības virziens, piemēram, Ietekmētajā masīvā 3 SHDI100 ap bojātajām audzēm bija būtiski mazāks nekā ap mērķa audzēm.

MA_{Iet.} - mistraudzes attiecīgajā ietekmētajā masīvā; MA_{Neiet.1}, MA_{Neiet.2} – mistraudzes neietekmētajos masīvos 1 un 2.

Analizējot telpiskā raksta daudzveidības atšķirības starp zemes seguma/lietojuma grupām BA un kontroles MA 100 m buferzonā, noskaidrots, ka BA grupai daudzveidības rādītājs SHDI100 bija būtiski ($p < 0,001$) mazāks meža masīvos “Ietekmēts 3” un “Ietekmēts 4”, salīdzinot ar kontroles MA attiecīgajā meža masīvā. Līdzīgi arī 250 m buferzonā ap interesējošo plankumu BA grupai SHDI250 vērtības bija statistiski būtiski ($p < 0,05$) zemākas, salīdzinot ar

kontroles MA plankumiem masīvos “Ietekmēts 3” un “Ietekmēts 4”; masīvā “Ietekmēts 2” atšķirības nebija būtiskas, bet masīvā “Ietekmēts 1” konstatēta pretēja situācija – ap BA plankumiem telpiskā raksta daudzveidība bija sarežģītāka nekā ap kontroles MA grupu ($p=0,047$). Analizējot apkārtējās vides daudzveidības atšķirības ap BA un kontroles MA ietekmētajos meža masīvos 500 m platā buferzonā (SHDI500), konstatēts, ka ap BA grupas plankumiem telpiskais raksts ir sarežģītāks ($p<0,05$) ne tikai meža masīvā “Ietekmēts 1”, bet arī “Ietekmēts 2”, salīdzinot ar kontroles MA grupas plankumiem šajos pašos masīvos. Būtiski ($p<0,05$) augstākas SHDI500 vērtības, kas liecina par daudzveidīgas vides apstākļiem ap izvēlēto plankumu, kontroles MA grupas plankumiem salīdzinājumā ar BA konstatētas masīvos “Ietekmēts 3” un “Ietekmēts 4”. Arī 1000 m plašā rādiusā ap interesējošo plankumu daudzveidīgāks telpiskais raksts ($p<0,05$) ap BA grupas plankumiem, salīdzinājumā ar kontroles MA grupas plankumiem konstatēts meža masīvos “Ietekmēts 1”, “Ietekmēts 2”, un meža masīvā “Ietekmēts 3” daudzveidīgāka ($p<0,05$) apkārtējā vide bija ap kontroles MA grupas plankumiem; masīvā “Ietekmēts 4” atšķirības nebija būtiskas (5.18.att.). Salīdzinot plankumu grupu daudzveidību ap kontroles MA ietekmētajos un neietekmētajos meža masīvos, konstatēts, ka neietekmētajos masīvos daudzveidība bija augstāka nekā ietekmētajos vai neatšķīrās no tās, bet nevienā masīvā nevienam no buferzonas platumiem tā nebija zemāka. Konstatēta augsta savstarpējā korelācija ($r^2=0,60$) Šenona daudzveidības rādītājiem starp secīga platuma buferzonām, piemēram SHDI100 un SHDI250 vai SHDI500 un SHDI1000.



5.18.attēls. Ainavas daudzveidīgums (Šenona daudzveidības indekss SHDI) analizējamām zemes seguma/lietojuma grupām dažādos meža masīvos.

Ar jaukta efekta binārās regresijas modeli pārbaudīta iespējamība, ka egļu tīraudzēs egļu bruņuts bojājumi ir atkarīgi no ainavas indikatoriem. Rezultāti rāda, ka ietekmētajos meža masīvos egļu bruņuts populācijas izplatīšanās egļu audzēs ir būtiski ($p < 0,001$) atkarīga no plankuma vidējā izmēra, kā arī Šenona daudzveidības rādītāja 100 m un 1000 m buferzonā. Lielāka iespējamība, ka audze būs bojāta, pastāv teritorijās ar lielāka izmēra plankumiem un mazāku lokālo audžu daudzveidību (SHDI100), kaut arī ar augstu daudzveidību reģionālā mērogā (SHDI1000). Ietekmētajos meža masīvos, izmantojot izstrādāto modeli prognozējamā bojājuma iespējamība BA grupai bija 60,9%, bet kontroles MA grupai 38,6%.

Kopumā var secināt, ka lielākai tuvāko (līdz 500m no konkrētās audzes) audžu daudzveidībai meža masīva līmenī konstatēta **pozitīva** ietekme, samazinot bruņuts invāzijai atbilstošu egļu audžu bojājumu iespējamību, tomēr sarežģītāka meža masīva kompozīcija pilnībā neizslēdz šī dendrofāga radīto bojājumu varbūtību.

6. Egļu astoņzobu mizgrauža attīstība kontrolētos apstākļos

Dendrofāgo kukaiņu ietekmes izmaiņu vērtēšana: eksperimenta ierīkošana kontrolētos meteoroloģiskajos apstākļos klimata izmaiņu ietekmes uz egļu astoņzobu mizgrauzi vērtēšanai

Egļu astoņzobu mizgrauzis *Ips typographus* barojas un attīstās parastajā eglē, un tikai retos gadījumos novērots uz citu sugu skujkokiem, ja tie atrodas blakus inficētām eglēm, masu uzliesmojumu laikā (Ozols, 1985). *I. typographus* parasti savairojas vēja gāztās vai novājinātās augošās eglēs, vai nemizotos baļķos ar diametru virs 12 cm. Taču, sasniedzot ekoloģisko kapacitāti, vaboles uzsāk barošanu ar augošām, nenovājinātām eglēm, kuras vecākas par 40 gadiem. *I. typographus* masu savairošanās Eiropā novērotas visā parastās egles izplatības reģionā (Ozols, 1985). Latvijā tam sekmīgi attīstās divas paaudzes (Ozols, 1968, 1985; Bičevskis, Ozols, 1983). Salīdzinoši nesen novērota arī trešās paaudzes veidošanās (Šmits, 1999). Latvijā *I. typographus* lidošana sākas aprīļa otrajā pusē, maija sākumā (Bičevskis, Ozols, 1983). Pirmā paaudze izlido jūnijā vai jūlija sākumā, bet otrā paaudze – augusta beigās, septembrī (Bičevskis, Ozols, 1983). Jaunās vaboles pārziemo zem mizas vai augsnē netālu no attīstības vietas. Lai egļu astoņzobu mizgrauža vaboles spētu kolonizēt dzīvu koku, tām jāsapulcējas pietiekami lielā skaitā, lai pārvarētu koka pretestību. Šo procesu veicina agregācijas feromons, kuru izstrādā pieaugušās vaboles. Šis feromons kalpo kā informācija par barības avota esamību un piesaista lielāku mizgraužu skaitu, vietai kurā tas tiek izdalīts (Thalendorst, 1958; Bičevskis, Ozols, 1983; Mulock, Christiansen, 1986).

Invāzijas laikā tēviņi zem koka mizas izveido kopulāciju telpu, pievilinot 2 - 4 mātītes. Pēc olu dēšanas mizgrauži lido vēlreiz, veidojot masu paaudzi (Ozols, 1968; Allard et al., 2003). Apmēram jūnija vidū jaunā paaudze jau ir attīstījusies par vabolēm, bet vēl papildbarojas zem koka mizas un attīstības vietas nepamet. Jaunā paaudze lido jūlijā, augustā. Atkarībā no laika apstākļiem, jaunā paaudze vai nu dodas ziemot zemsegā, vai daļa vaboļu veido otro paaudzi, kura, ja sekmīgi attīstījusies - ziemot zem koka mizas (Annala, 1977; Ozols, 1985).

Latvijā lielākā masu savairošanās novērota pēc 1967. un 1969. g vējgāzēm (Ozols, 1985). Lai gan Skandināvijā savairošanās ilga 10 gadus (Christiansen, Bakke, 1988), Latvijā tā apdzisa pēc 5 gadiem (Ozols, 1985). No 1993. līdz 1997. gadam novēroto masu savairošanos Latvijā izraisīja vairākas secīgas karstas vasaras (VMD meža kaitēkļu monitoringa dati; Šmits, 2007); 1996. gadā vēsāka un mitrāka laika ietekmē savairošanās apdzisa Vidzemē, bet turpinājās pārējā Latvijas teritorijā. 2005. gada vētra veicināja jaunu šī mizgrauža masu savairošanos, kura apdzisa 2009. gadā (VMD meža kaitēkļu monitoringa dati).

Egļu astoņzobu mizgrauža savairošanās parasti notiek pēc plašām vējgāzēm, kā arī pēc ilgstošiem sausuma periodiem, tāpat - arī citu faktoru novājinātās eglu audzēs (sakņu trupe, skuju graužēji kaitēkļi u.c.) (Inouye, 1962; Ozols, 1985; Christiansen, Bakke, 1988; Barbosa et al., 2012). Tā kā vētru biežums saistāms arī ar klimata izmaiņām, tad šī mizgrauža dinamika ir tieši saistīta ar klimatisko faktoru ietekmi. Klimatiskie apstākļi ietekmē *I. typographus* populāciju 3 galvenajos veidos: 1) biežākas vētras rada lielu apjomu svaigas egles koksnes, kurā mizgrauzis sekmīgi vairojas; 2) karstas, sausas vasaras novājina egles un samazina to rezistenci pret šo kaitēkli; 3) silti un ilgstoši rudenī veicina sekmīgu divu paaudžu attīstību (Bombosch, 1954; Bernays, Chapman, 1994; Barbosa et al., 2012). Turklāt, veiksmīga otrās paaudzes attīstība ir atkarīga no pārziemojušo mātīšu auglības un kāpuru attīstības sekmēm, ko

labvēlīgi ietekmē augstākas temperatūras pavasarī (Christiansen, Bakke, 1988; Kolk, Starzyk, 1996; Allard et al., 2003; Barbosa et al., 2012).

Tipiskākie mizgraužu dabiskie ienaidnieki ir plēsīgie kukaiņi, piemēram, īsspārņi (*Staphylinidae*) un skudrulīši (*Thanasimus formicarius* L.). *I. typographus* kāpuru mirstību izteikti veicina parazitoīdi brakonīdi (*Braconidae* - melnie jātnieciņi). Šiem parazītiem raksturīgi kokoni ir viegli pamanāmi kāpureju galos (Inouye, 1962; Мамаев, 1977; Barbosa et al., 2012) (6.1. att.).



6.1. attēls. Parazitoīdu brakonīdu kokoni egļu astoņzobu mizgraužu kāpureju galos (foto: I. Siliņš).

Egļu sešzobu mizgrauža *Pityogenes chalcographus* bioloģija un ekoloģija ir ļoti līdzīga egļu astoņzobu mizgraužu raksturīgajai. Sugas morfoloģiski atšķiras ar izmēru – *P. chalcographus* vaboles ir vidēji 2 mm lielas, kamēr *I. typographus* vaboles ir vidēji 4 – 5 mm lielas. Turklāt, *P. chalcographus* ķermeņa galā izšķir 6, nevis astoņus, hitīna izciļņus. *P. chalcographus* tipiski ir sekundārais egļu kaitēklis, kas visbiežāk savairojas astoņzobu mizgrauža uzliesmojumu laikā (Ozols, 1985). Tā lidošana sākas aprīļa beigās un turpinās līdz maija vidum, bet otrās paaudzes izlidošana novērojama no jūnija beigām līdz augusta vidum. Abu šo mizgraužu masu uzliesmojumi “iet roku rokā”. Taču, pretēji egļu astoņzobu mizgraužiem, egļu sešzobu mizgrauži izvēlas baroties un attīstīties zem salīdzinoši plānākas mizas egles galotnē un vainaga augšējos zaros, mazāk – stumbra vidusdaļā, reti - apakšdaļā (Ozols, 1985; Kolk, Starzyk, 1996). Arī egļu sešzobu mizgraužim ir liela saimnieciska nozīme, radot nozīmīgus bojājumus novājinātās egļu mežaudzēs un plantāciju mežos (Kolk, Starzyk, 1996). Masu uzliesmojumu laikā abas mizgraužu sugas pārnēsā simbiotisku sēņu sporas. Šo sēņu hifas aizsprosto egles vadaudus, palīdzot vaboļu kāpuriem baroties, un šādi kļūst par papildus faktoru koku bojāejai (Ozols, 1985; Barbosa et al., 2012).

Mūsu pētījuma mērķis ir noskaidrot, kā iespējamās klimata izmaiņas nākotnē (temperatūras paagstinašanās) var ietekmēt dažādu, Latvijai nozīmīgāko, dendrofāgo kukaiņu sugu attīstību un to plēsēju ietekmi uz to attīstības sekmēm, simulējot atšķirīgu klimatisko apstākļu ietekmi kontrolētos laboratorijas apstākļos, par modeļorganismiem izmantojot egļu astoņzobu un sešzobu mizgraužus un to dabiskos ienaidniekus.

Eksperimenta dizains balstās uz hipotēzi, ka pastāv dendrofāgu sugas, kurām salīdzinoši augstākas temperatūras pavasarī var sekmēt pēcnācēju attīstību un veicināt koksnes invāziju. Pasaules praksē zināms, ka tieši vēja ietekmei – t.i., vējgāzēm – ir liela nozīme, veicinot mizgraužu savairošanos, tomēr ir daudz pētījumu, kuros novērota arī temperatūras ietekme. Turklāt zināms, ka tieši pirmās paaudzes attīstības sekmes var noteikt veiksmīgu turpmāko

paaudžu attīstību un savairošanās iespējas vienas vasaras sezonas ietvaros. Lai gan tiek pieļauts, ka egļu astonezobu mizgraužu *Ips typographus* un egļu sešzobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* attīstību var labvēlīgi sekmēt tieši sauss, silts (vai straujš) pavasaris ar temperatūras paaugstināšanos, kas pārsniedz vidējos rādītājus, tomēr nav izslēgts, ka to pēcnācēju izdzīvošanu krasi samazinās plēsēji, kuru aktivitāte paaugstinātas temperatūras apstākļos var pārsniegt mizgraužu aktivitāti. Piemēram, parastā skudruļša *Thanasimus formicarius* kāpuri attīstās līdzīgos apstākļos kā mizgrauži – to galerijās zem mizas, un barojas ar mizgraužu kāpuriem un olām. Tā kā šādi pētījumi Latvijā nav veikti, ir svarīgi izprast, kādas mizgraužu izdzīvošanas sekmes varētu būt tuvākajā nākotnē, ņemot vērā pieejamos klimata scenārijus, plānojot mežsaimniecību un prognozējot ar to saistītos riskus.

Paraugkoki izvēlēti kārtējās ziemas cirsumā MPS Auces novada mežos (56°49'N, 22°10'E).



6.2. attēls. Paraugkoku sagatavošana eksponēšanai izcirtumā (foto: I. Siliņš).

Novērojot pirmo astonezobu mizgrauža lidojošo vaboļu parādīšanos 2017. gada 10. maijā nozāģētas un atzarotas piecas atšķirīga diametra cirsma malā augošas dažādu faktoru

novājinātas egles (6.2. att.). Egļu stumbri, kā arī zari novietoti cirsnā 40 m attālumā no meža sienas, 5 m no tuvākā zaru krāvuma (6.3. att.).



6.3. attēls. Cirsnā novietotie paraugkoki (foto: I. Siliņš).

Lai pievilinātu egļu astoņzobu mizgrauzi, katram egles stumbram piestiprināja sintētiskos agregācijas feromonu dispenserus “Ipsodor W”, kas ražoti Polijā, Chemipan rūpnīcā. Agregācijas feromonam, kas tiek izmantots, lai pievilinātu egļu astoņzobu mizgrauzi, ir sinerģiska iedarbība ar svaigām skuju koku ciršanas atliekām, kuras izdala α -pinēnu. Galvenās šī sintētiskā agregācijas feromona sastāvdaļas ir 2-metil-3-buten-2-ols un cis-verbēnols. Uz katra egles baļķa novietoti vairāki feromonu dispenseru 1 - 2 m attālumā viens no otra.

Lai noteiktu egles paraugkoku kolonizēšanas intensitāti, cirsma apsekota reizi nedēļā, piecu nedēļu garumā – 2017.g. 12., 17., 24. un 31. maijā, 7. jūnijā. Jau 24. maijā tika novērotas pirmās mizgraužu ieskrejas. Ieskrejas ir viegli detektējamas, jo to lielums parasti variē no 2 līdz 5 mm un pie tām vai zem tām krājas mizas un koksnes milti. Apsekojot cirsma 2017. g. – 7. jūnijā, konstatēts, ka egles paraugkoki ir blīvi kolonizēti ar egļu astoņzobu mizgrauzi. Kolonizēšanas intensitāte noteikta pēc mizgraužu ieskreju skaita. 15. jūnijā paraugkoki savākti laboratorijas eksperimentam, kad ieskreju daudzums sasniedza vismaz vidēji 3 - 4 ieskrejas uz 40 cm² mizas. Pirms transportēšanas paraugkoki sagarināti, un pēc tam transportēti tālākiem laboratorijas pētījumiem LVMI “Silava” klimata kamerā.

Pirms laboratorijas eksperimenta sagarinātos paraugkokus sazāģēja 1 m garos nogriežņos (turpmāk tekstā – paraugbaļķos), katru ievietojot plastikāta maisā inkubēšanai kontrolētos klimata apstākļos. Saskaņā ar Ulda Betheras klimata izmaiņu scenārijiem Latvijai (Jansons,

2010), eksperimentā izmantots prognozētais gaisa temperatūras pieaugums aprīlim. Eksperimenta paredzētais laiks – trīs gadi. Katram gadam paredzēta viena no trim klimata stimulācijām:

1) Scenārijs 1 - nozīmīgu izmaiņu veģetācijas perioda simulācija tālai nākotnei (2071. – 2100. g.): 20°C (paredzēts izmantošanai 2018.g.);

2) Scenārijs 2 - nozīmīgu izmaiņu veģetācijas perioda simulācija tuvai nākotnei (2021. – 2050. g.): 17,8°C (izmantots 2017.g.);

3) Scenārijs 3 (jeb kontrole) - mūsdienu klimata veģetācijas perioda simulācija: 15,5°C (izmantots 2016. g.).

Visu simulāciju relatīvais gaisa mitrums tiek uzstādīts vienāds – 65%. Tā kā mizgraužu kāpuri attīstās zem mizas, netiek nodrošināts mainīgs apgaismojums (fotoperiods). Katras simulācijas ietvaros LVMI “Silava” klimata kamerā inkubēšanai polietilēna plēvē tiek ievietoti 54 egles paraugbaļķi: 18 ar nelielu diametru – 14 – 19,5 cm, 18 ar vidēju diametru – 20 – 26 cm, 18 ar lielu diametru – 26,5 un vairāk cm.

Ekspozīcijas ilgums – 45 dienas (no 15. jūnija līdz 29. jūlijam) – atbilst vidējam laika periodam, kad zem mizas attīstās mizgraužu 1. paaudze. Ik gadu eksperimenta gaitā katru nedēļu veikta viena uzskaitē (15., 22., 29. jūnijs un 6., 13., 20., 27. jūlijs), kuras laikā no katra paraugbaļķa izgriezts 25 x 25 cm liels mizas fragments datu analīzei, zem kura uzskaitītas *I. typographus* un *P. chalcographus* mizgraužu galerijas, noteikti mātes eju, kāpureju garumi un mizgraužu preimago attīstības stadijas, neizlidojušo un izlidojušo pieaugušo mizgraužu vaboļu skaits un noteikti citu, līdzīgu, ksilofāgu taksoni, attīstība, kā arī mizgraužu plēsēju (piemēram, parastā skudrulīša *Thanasimus* spp. un īsspārņu Stahylinidae kāpuru) un parazītu klātbūtne. Iegūtie mizas fragmenti pirms iepriekšminētās analīzes izplāksnoti un žavēti. Izlidojušās mizgraužu vaboles iegūtas un uzskaitītas, izkratot maisus virs agroplēves. Mizgraužu attīstības un lidošanas dinamika laboratorijā salīdzināta ar dabā esošo – par pamatu izmantojot Nacionālā meža monitoringa mizgraužu uzskaites slazdus pie Dobeles (6.5. att.), kas ir ģeogrāfiski tuvākais parauglaukums (56°42'N, 23°08'E) izvēlētajai cirsmā Auces novadā.

Izlidojušu parazītoīdu (pamatā brakonīdu) iegūšanai izmantoti no polietilēna pudelēm paškonstruēti slazdi ar diametru 6,4 cm, augstumu 14 cm un tilpumu 450 ml. Katram slazdam apakšā tika izgriezta sprauga, lai, novietojot to uz paraugbaļķa, tajā brīvi iekļūtu no koka izlidojušie mizgraužu parazītoīdi. Slazdiem apakšā aplīmēta 4,5 cm plata sintētiskā mikrošvamme, lai polietilēna maisā, kurā ievietots paraugbaļķis, tiktu nodrošināta gaisa apmaiņa un neuzkrātos lieks mitrums. Noķertie kukaiņi tika eitanēti, izmantojot 100% etilacetātu, un uzglabāti 60 ml paraugu savākšanas traukos. Parazītoīdu taksonomiskā piederība noteikta pēc to ārējās morfoloģijas, izmantojot binokulāru Nikon SMZ 1500 (ražotājvalsts – Japāna).



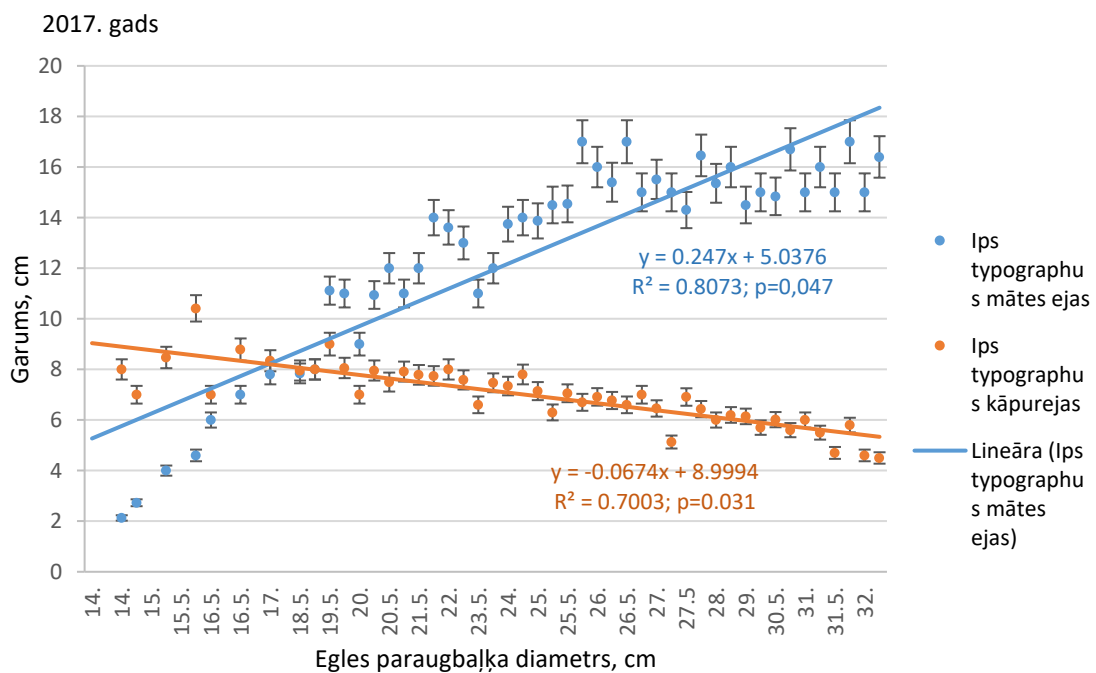
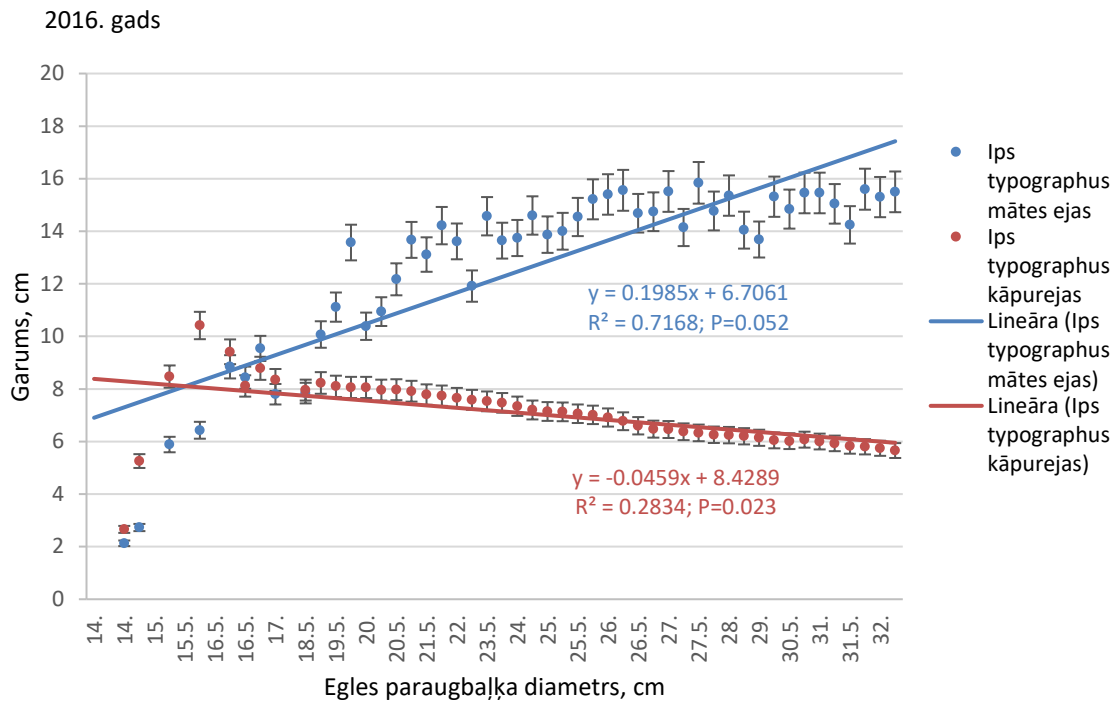
6.4. attēls. Faunistiskā daudzveidība zem koku mizas. Plēsēji – skudruliši (rozā kāpurs) un konkurentās sugas – krāšņvaboles (gaišie kāpuri) (foto: I. Siliņš).



6.5. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža feromonu slazdi parauglaukumā pie Dobeles (foto: A. Šmits)

Iegūtie rezultāti analizēti kontekstā ar 2016. gada (kontroles) rezultātiem, uzskatāmības labad daļu no tiem atkārtoti atspoguļojot arī šī gada starpatskaitē.

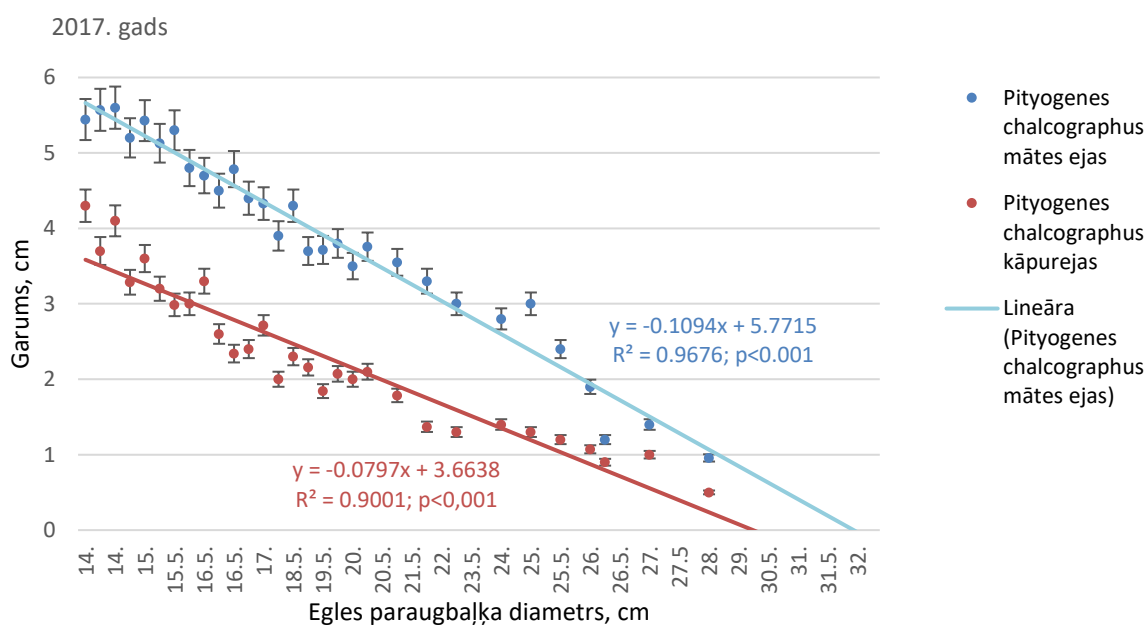
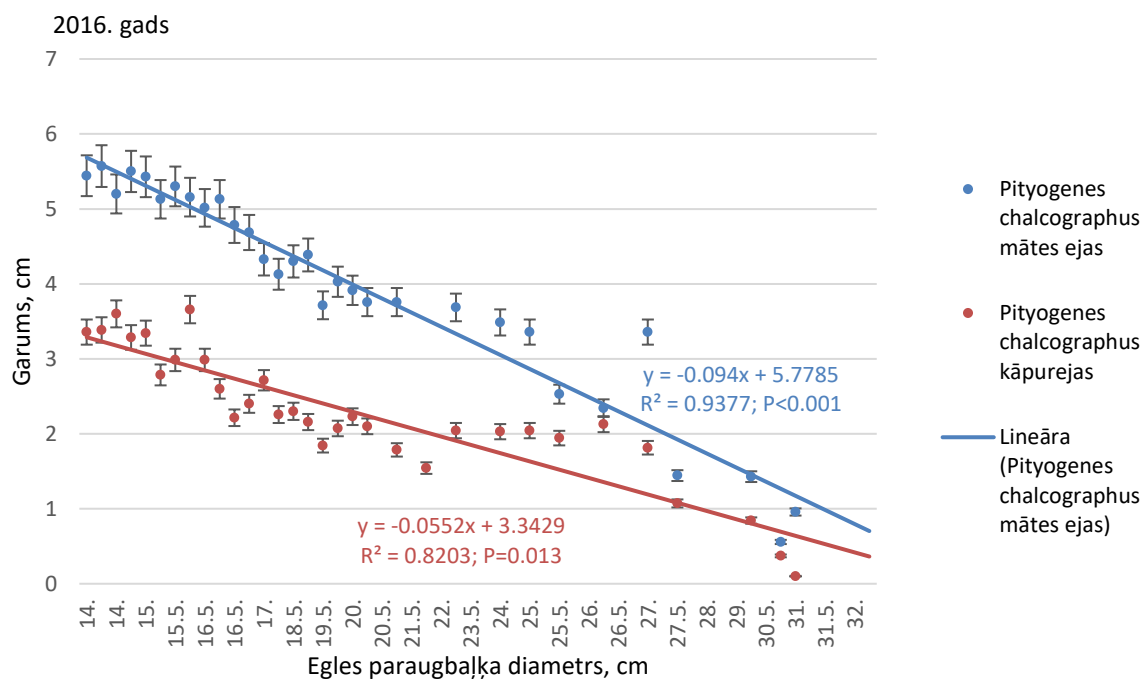
Uzskaitot mizgraužu mātes ejas un kāpurejas, konstatēts, ka egļu astoņzobu mizgraužu mātes ejām ir tendence (2016. g. - $R^2=0,72$; $p=0,052$; 2017. g. - $R^2=0,81$; $p=0,047$) palielināties garumā, pieaugot egles paraugbaļķa diametram (6.6. att.).



6.6. attēls. Egļu astoņzobu mizgrauža *Ips typographus* vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Mizgraužu mātes eju garums nosaka izdēto olu skaitu, kas rezultējas kāpuros – t.i., kāpurejās. Tā kā, pieaugot paraugbaļķa diametram, palielinās mātes eju garums, tad attiecīgi palielinās arī kāpureju skaits (6.10. att.) (Anderbrant, 1990; Faccoli, Bernardinelli, 2011). Kāpureju garums vidēji vienā paraugā samazinās, palielinoties egles paraugbaļķa diametram (2016. g. $-R^2 = 0,28$; $p = 0,023$; 2017. g. - $R^2 = 0,70$; $p = 0,031$) (6.6. att.). Pieaugot īpatņu blīvumam, lielāka konkurence savā starpā zem mizas ir nevis pieaugušajām *I. typographus* vabolēm, bet to kāpuriem. Turklāt, konkurence starp *I. typographus* kāpuriem ir nedaudz lielāka (atšķirības statistiski būtiskas) 2017. g., izmantojot simulāciju, kuras temperatūra ir par 2,3 °C augstāka. 2017. g. kāpurejas paraugbaļķos ar relatīvi lielāku diametru (sākot ar 23cm) ir vidēji

par 2,3 mm jeb 4,8% garākas salīdzinot ar iepriekšējā gadā mērītajām (6.6. att.). Arī mātes ejas 2017. g. ir vidēji par 5,3 mm garākas, salīdzinot ar 2016. g. mērītajām. Mātītes pēc izveidošanas mātesejas atstāj relatīvi nemainīgas un tikai uztur to stāvokli, ventilē, kamēr kāpuri attīstoties savas ejas (kāpurejas) turpina izgrauzt un paplašināt.



6.7. attēls. Egļu sešzobu *Pityogenes chalcographus* mizgrauža vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

Savukārt, *P. chalcographus* mizgraužu kāpureju un mātes eju garums samazinās, palielinoties paraugbaļķa diametram (6.7. att.). Lai izvairītos no konkurences ar *I. typographus*, šīs sugas mizgrauži pielāgojušies dzīvošanai zem salīdzinoši plānākas mizas (t.i., stumbra

tievgalī vai resnos zaros) (Fora et al., 2011; Faccoli, Bernardinelli, 2011). Arī *P. chalcographus* kāpureju vidējais garums, līdzīgi kā *I. typographus* (6.6. att.), samazinās, pieaugot egles paraugbaļķa diametram (6.7. att.). Ņemot vērā, ka *I. typographus* kāpureju garums nedaudz - vidēji par 7,3% (2016. g.) un 9,4 % (2017. g.) - pieaug egles paraugbaļķos ar salīdzinoši mazāku diametru (6.6. att.), iespējams, ka šāds mehānisms *P. chalcographus* ļauj izvairīties no konkurences ar *I. typographus* kāpuriem, panākot daļēju kompromisu dzīvotnes sadalē. Jāatzīmē, ka arī *P. chalcographus* kāpuru konkurence pieaug 2017. g., jo to veidotās ejas ir par 0,63 mm jeb 22,7 % garākas, salīdzinot ar 2016. g. mērītajām.

Mizgraužu mātīte mātes eju paplašina salīdzinoši nedaudz (6.8., 6.9. att.) arī tad, kad jau ir sadējusi olas tajā. To veicina vairāki apstākļi:

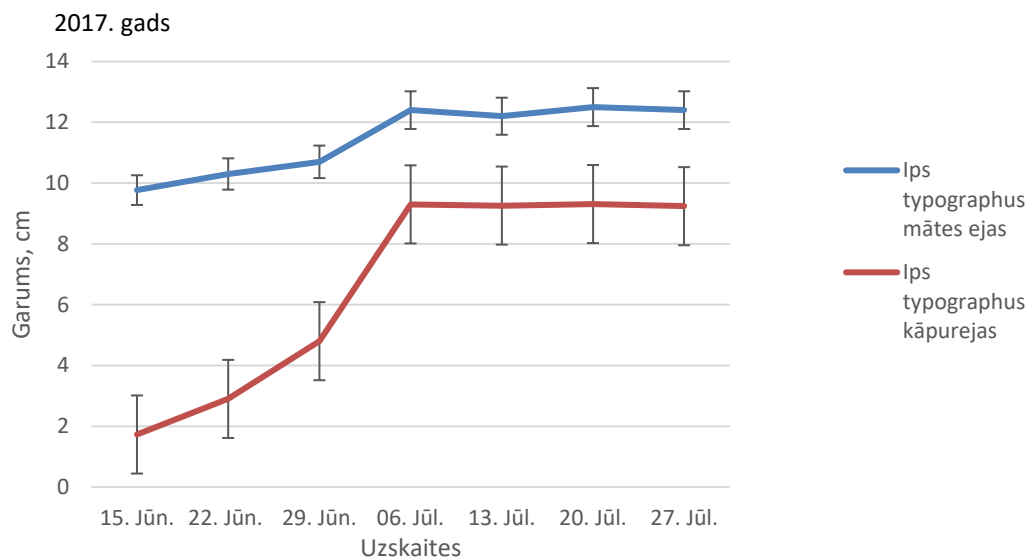
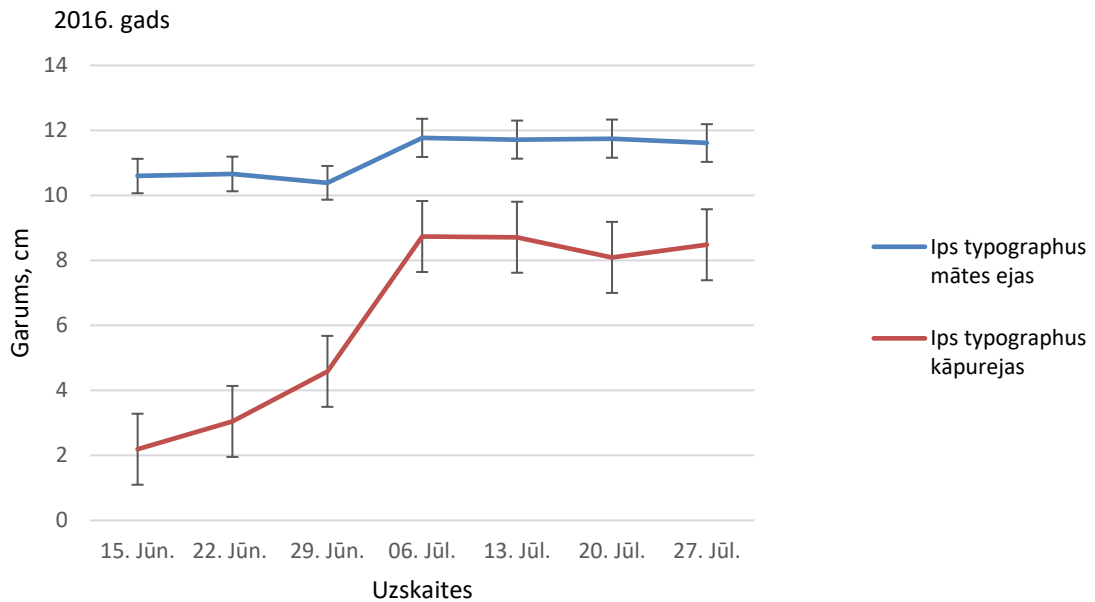
- 1) eju uzturēšanas darbi, t.sk., nodrošinot ventilāciju;
- 2) nelieli apaugļotu olu "pārpalikumi", kas tiek izdēti vēlāk. Tiem tiek attiecīgi pagarinātas ejas (Ozols, 1985; Anderbrant, 1990; Faccoli, Bernardinelli, 2011).

Katra mātīte rūpējas tikai par savām mātes ejām, kuras atšķir pēc smaržas (Ozols, 1985; Anderbrant, 1990).

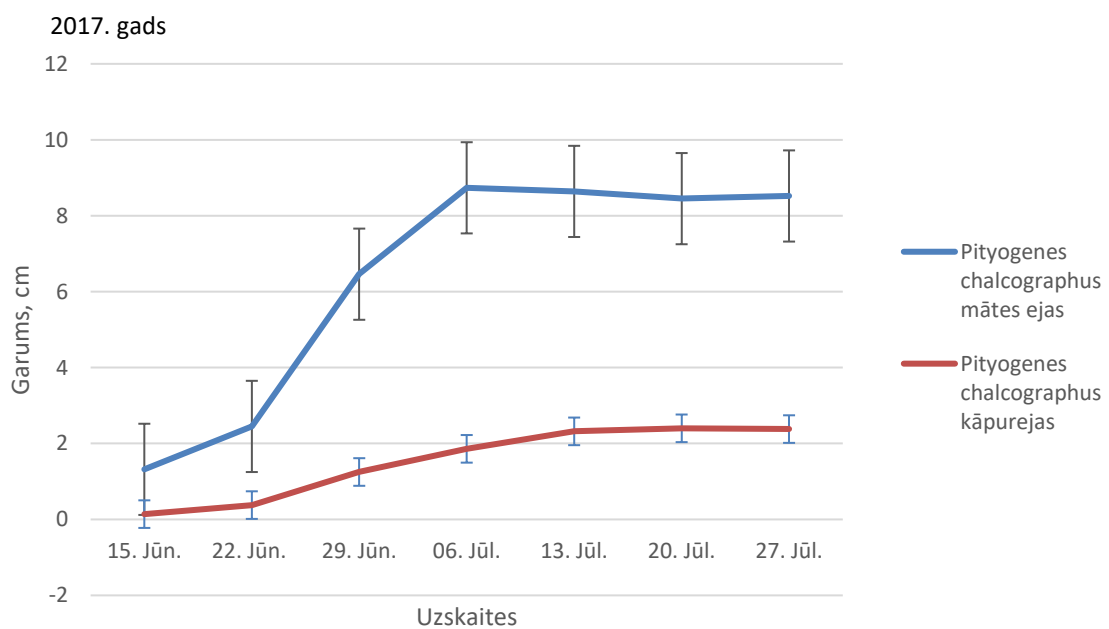
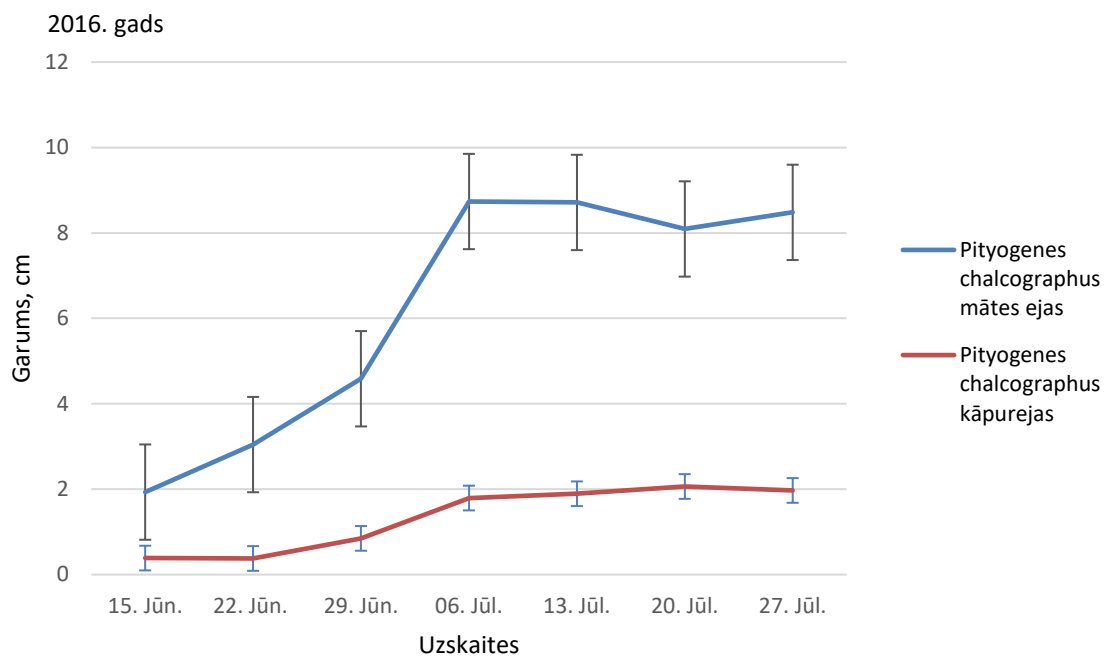
Gan 2016. g., gan 2017. g. *Ips typographus* vaboles gandrīz pilnībā beidz mātes eju veidošanu 6. jūlijā, un vienlaikus sasniegti kāpureju maksimālie garumi (6.8. att.). Lai gan mizgraužu kūniņas tika novērotas visā eksperimenta laikā, domājams, ka tieši sākot ar 6.jūliju, *Ips typographus* pirmās paaudzes kāpuri beidz barošanos zem mizas un uzsāk masu iekūņošanu.

Mātes eju veidošanās *P. chalcographus*, līdzīgi kā *I. typographus*, turpinās līdz 6.jūlijam (6.8., 6.9. att.). *P. chalcographus* kāpuri sasniedz vidēji 2,7 reizes mazāku kāpureju garumu nekā *I. typographus* kāpuri (2016. un 2017. g.) (6.8., 6.9.att.). *P. chalcographus* kāpuru attīstība turpinās vidēji līdz 20. jūlijam (2016. un 2017. g.) (6.9. att.). Sākot ar šo laiku, domājams, sākās pirmās paaudzes masu iekūņošanās zem mizas.

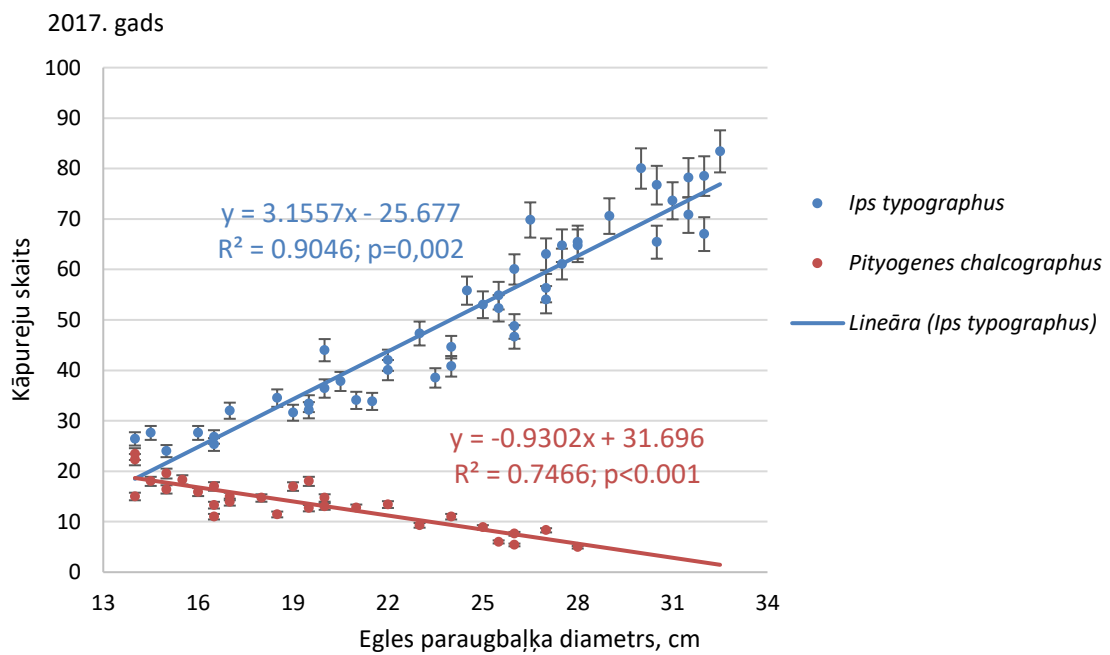
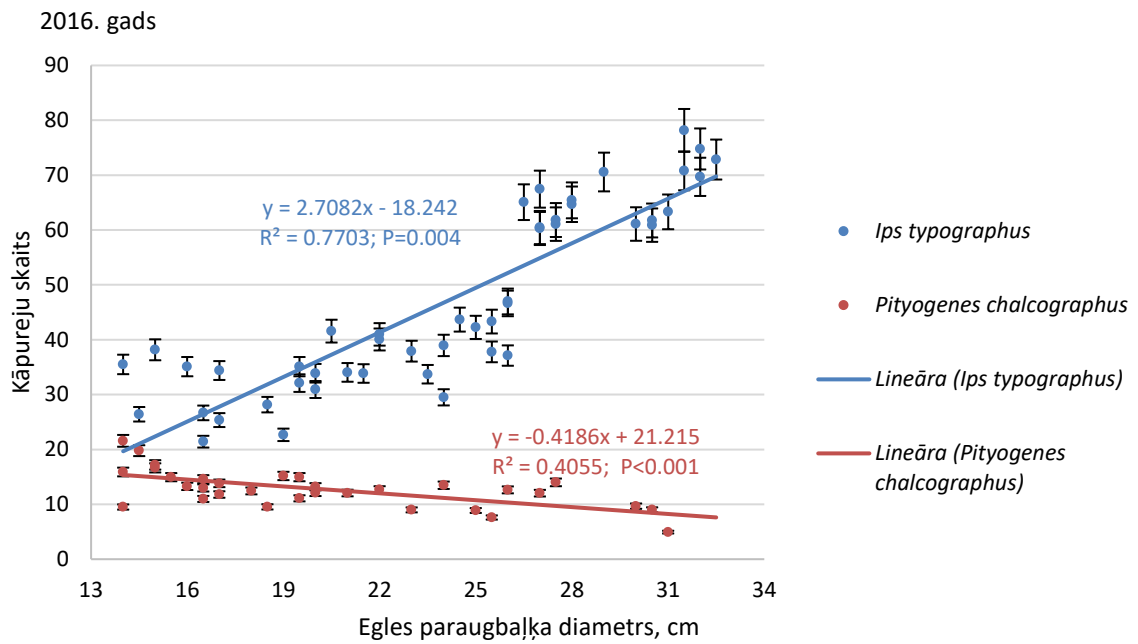
Konstatētas atšķirības starp abu sugu mātīšu produktivitāti, t.i., kāpureju skaitu uz vienu mātes eju, kas skaidrojams ar konkurenci starp abām mizgraužu sugām (6.10. att.). Uzskaitītas un mērītas tās kāpurejas, kurās novēroti dzīvi kāpuri vai izskrejas, un redzams, ka *P. chalcographus* izdzīvojušo olu skaits, kas rezultējies kāpuros, ir lielāks egles paraugbaļķos ar mazāku diametru, kamēr *I. typographus* – otrādi (6.10. att.). Līdzīga sakarība novērota, uzskaitot dzīvās pieaugušās mizgraužu vaboles (6.11., 6.12. att.). *I. typographus* blīvāk kolonizē un apdzīvo kokus, jo vienā mizas paraugā 2016. g. tika uzskaitīts par vidēji 87,6 % (jeb $37 \pm 2,1$), līdzīgi 2017. g. par vidēji 86,2 % (jeb $38,8 \pm 2,4$) pieaugušo, neizlidojušo vaboļu vairāk nekā *P. chalcographus* (6.11., 6.12. att.). Domājams, 2017. g. ir samazinājusies konkurence starp abām mizgraužu sugām, jo mazo dimensiju paaugbaļķos *P. chalcographus* bija par 1,4 % vidēji vairāk 2017. g., salīdzinot ar 2016. g., bet *I. typographus* 2017. g. bija vidēji par 2,7 % vairāk lielo dimensiju paaugbaļķos (6.11., 6.12. att.).



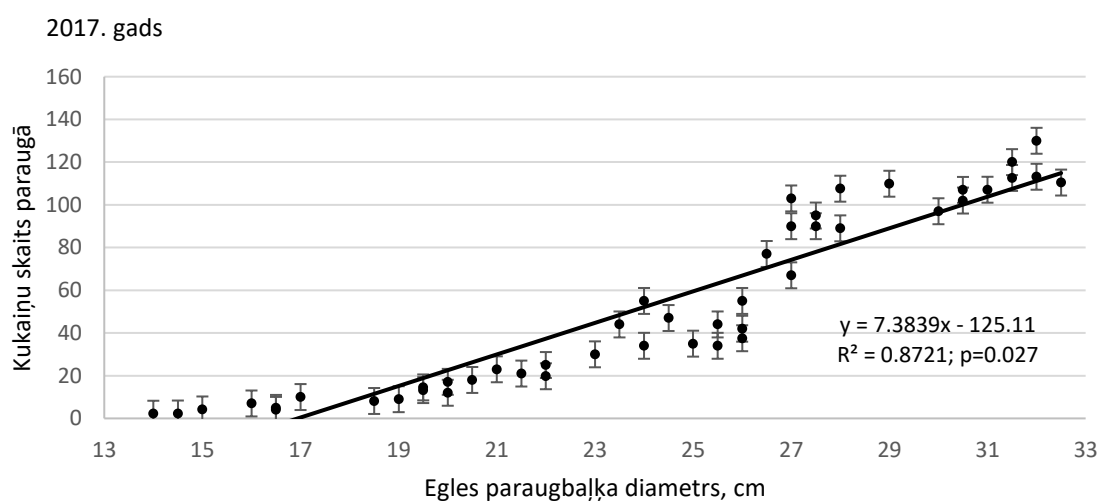
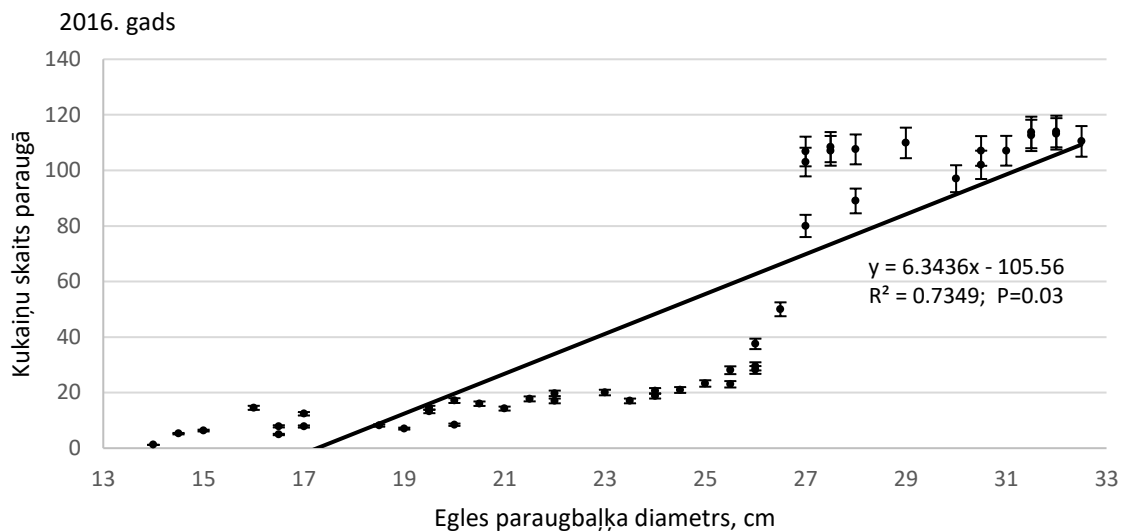
6.8. attēls. Egļu astoņzobu *Ips typographus* mizgrauža vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.



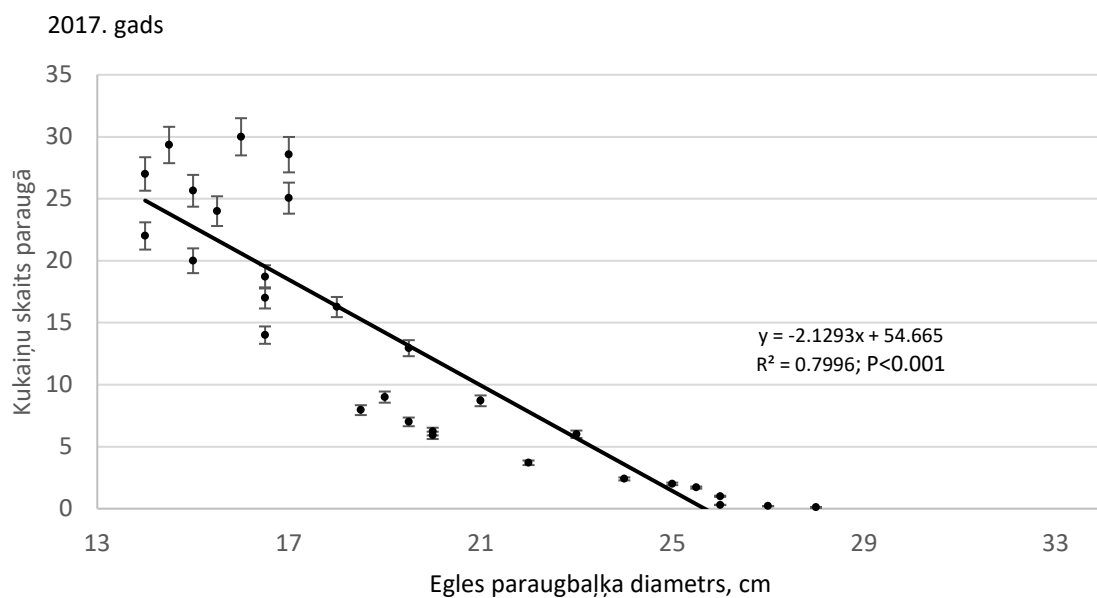
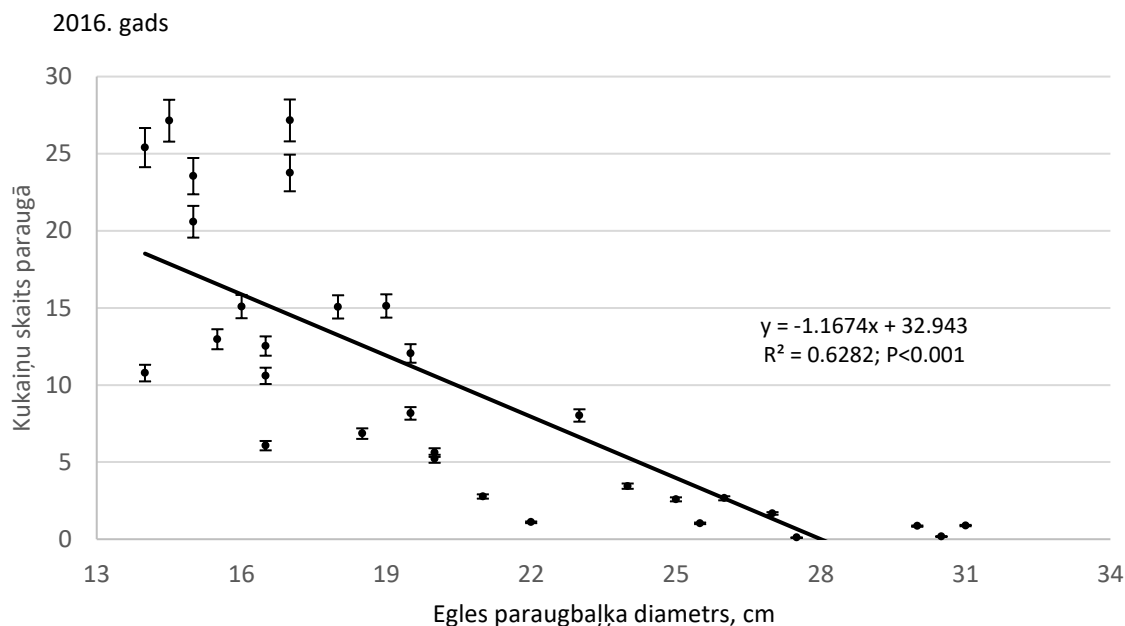
6.9. attēls. Egļu sešzobu *Pityogenes chalcographus* mizgrauža vidējais mātes eju un kāpureju garums (\pm standartklūda) vienā mizas paraugā.



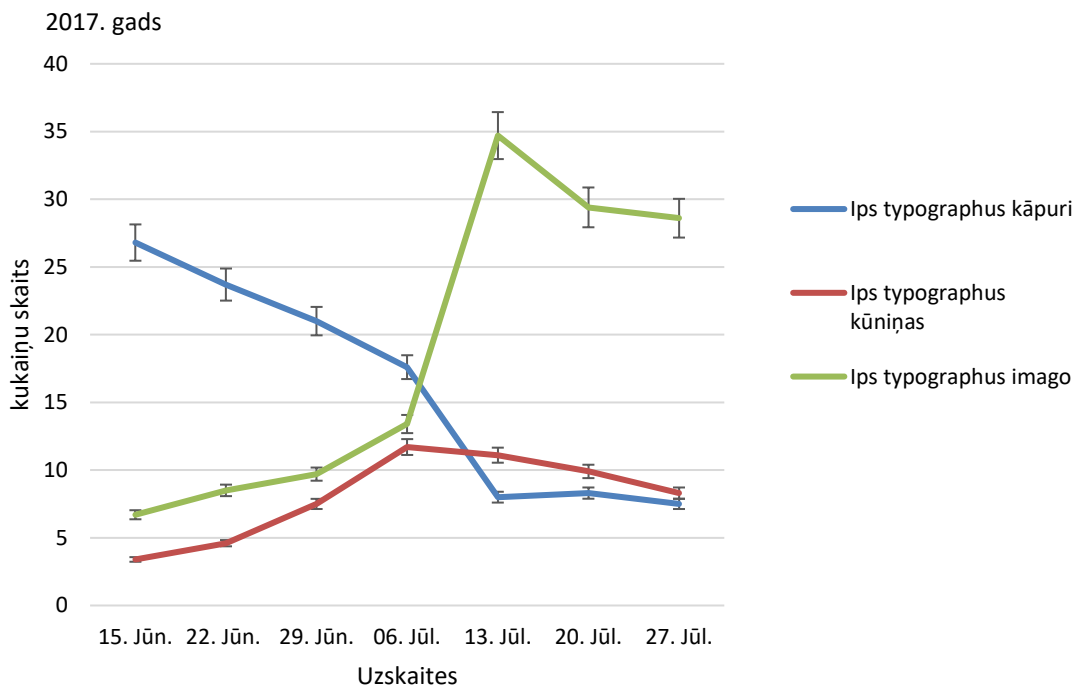
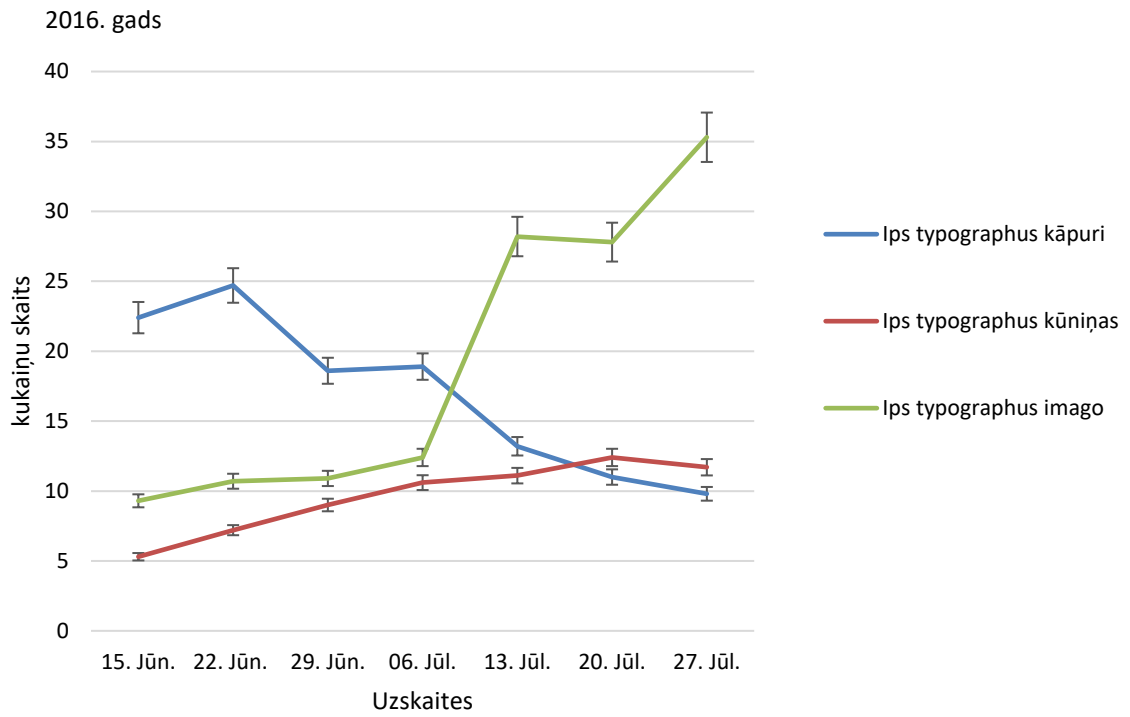
6.10. attēls. Vidējais mizgraužu kāpureju skaits uz vienu mātes eju uzskaitēs (\pm standartklūda) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



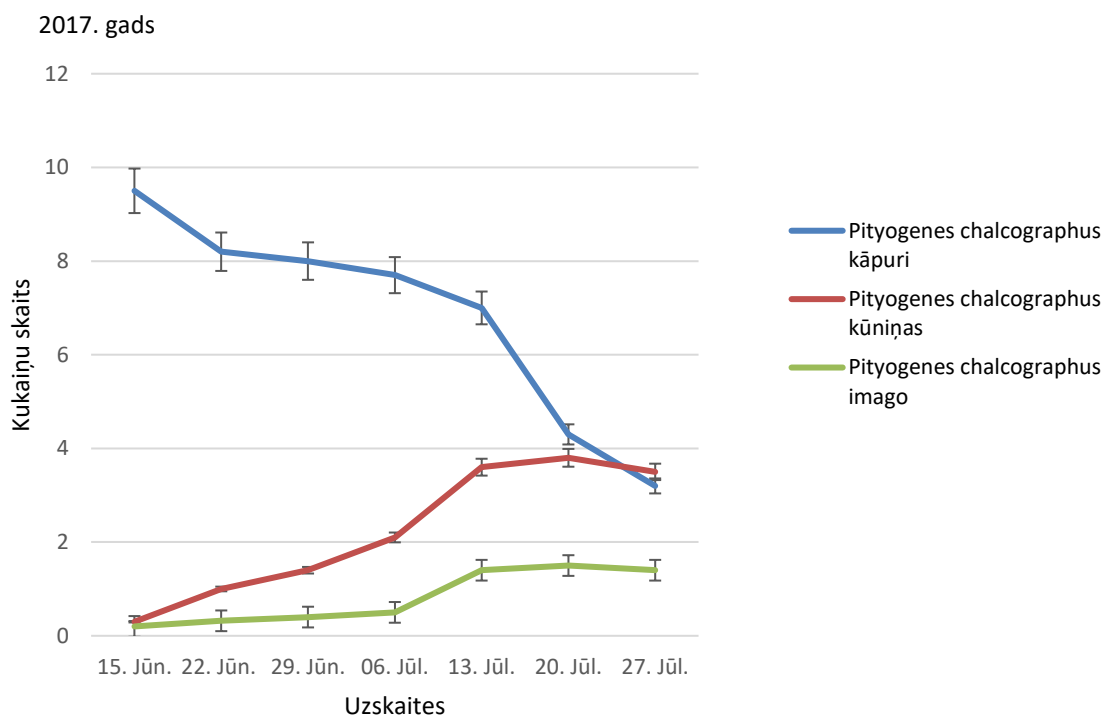
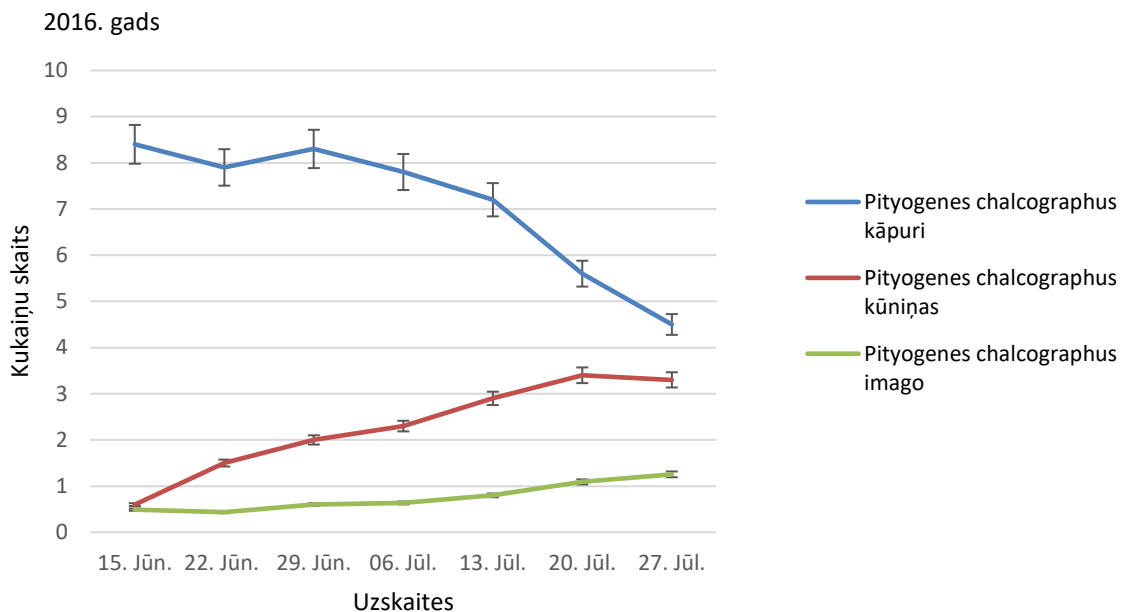
6.11. attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu *Ips typographus* pieaugušo vaboļu skaits vidēji vienā paraugā (\pm standartklūda) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



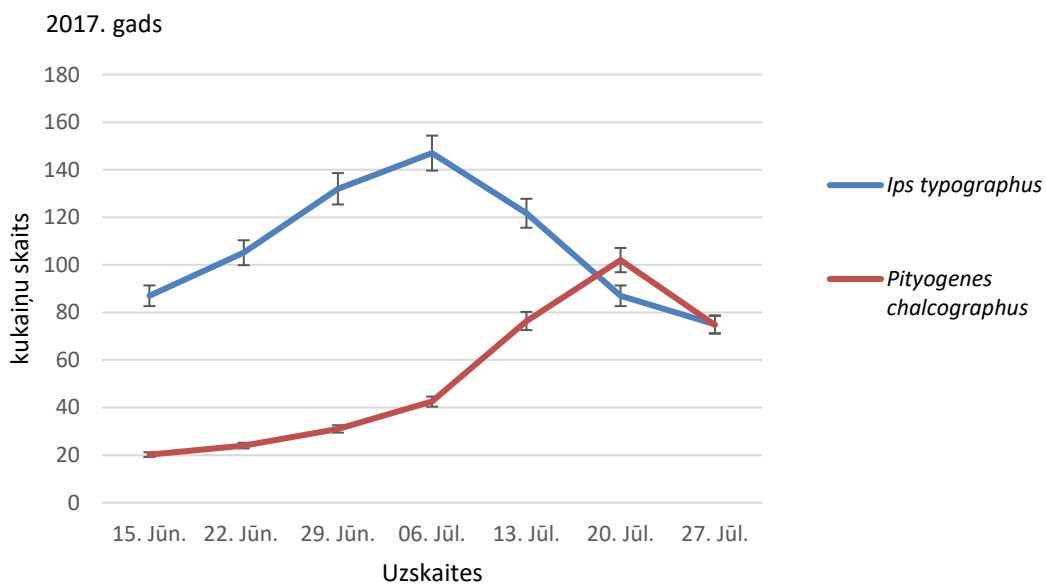
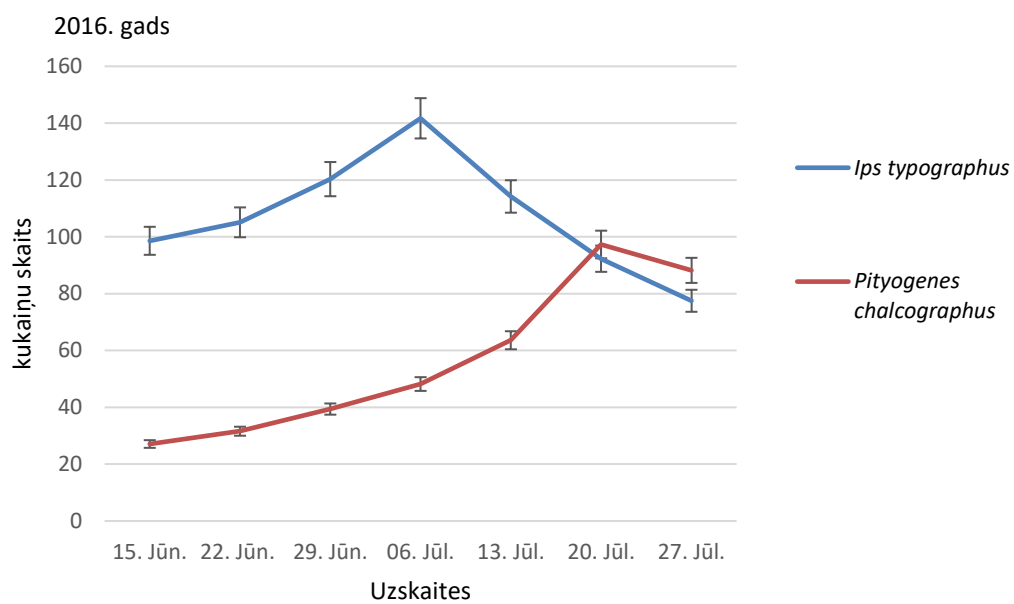
6.12. attēls. Egļu sežobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* pieaugušo vaboļu skaits vidēji vienā paraugā (\pm standartklūda) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



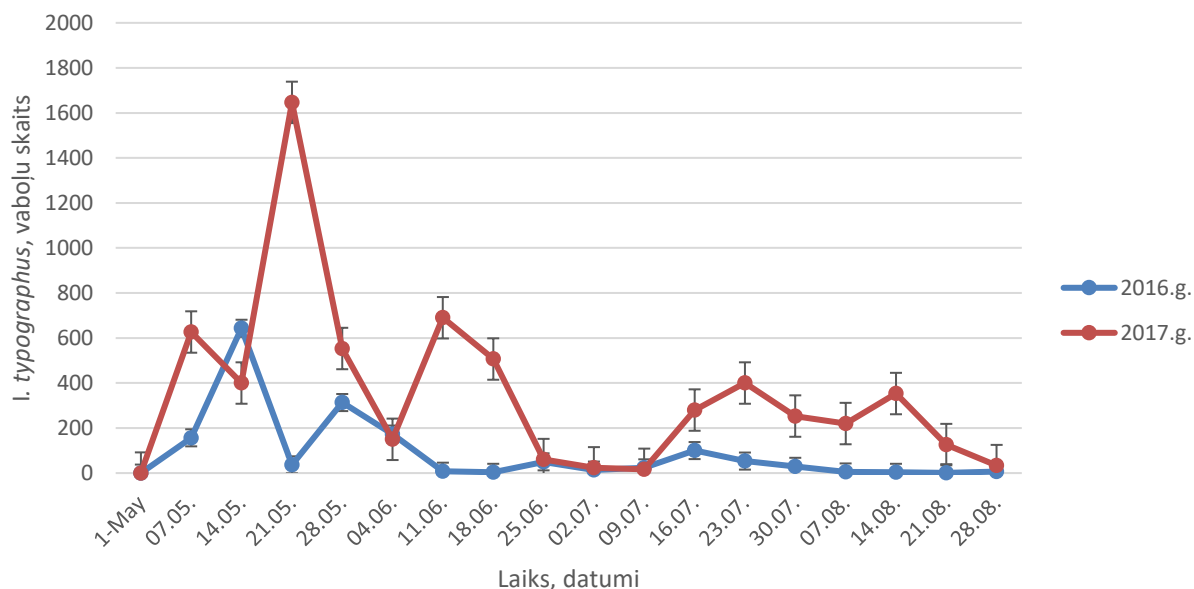
6.13. attēls. Egļu astoņzobu mizgraužu *Ips typographus* vidējais skaits (\pm standartklūda) pa attīstības stadijām uzskaitēs.



6.14. attēls. Egļu sešzobu mizgraužu *Pityogenes chalcographus* vidējais skaits (\pm standartklūda) pa attīstības stadijām uzskaitēs.



6.15. attēls. Vidējais izlidojušo mizgraužu vaboļu skaits (\pm standartklūda) uz egles paraugbaļķi.



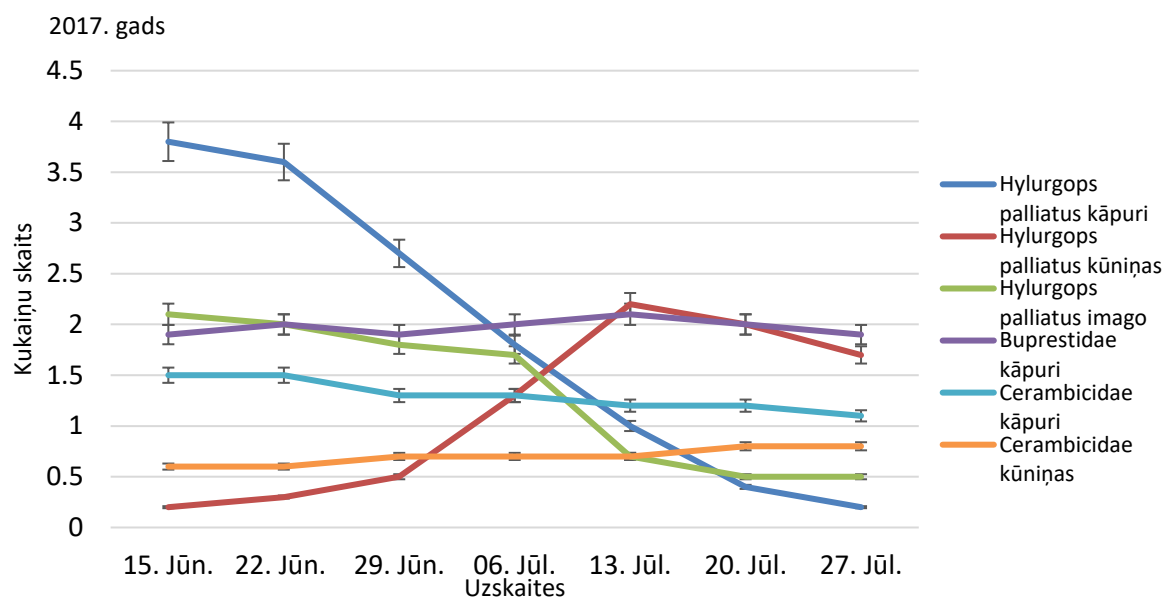
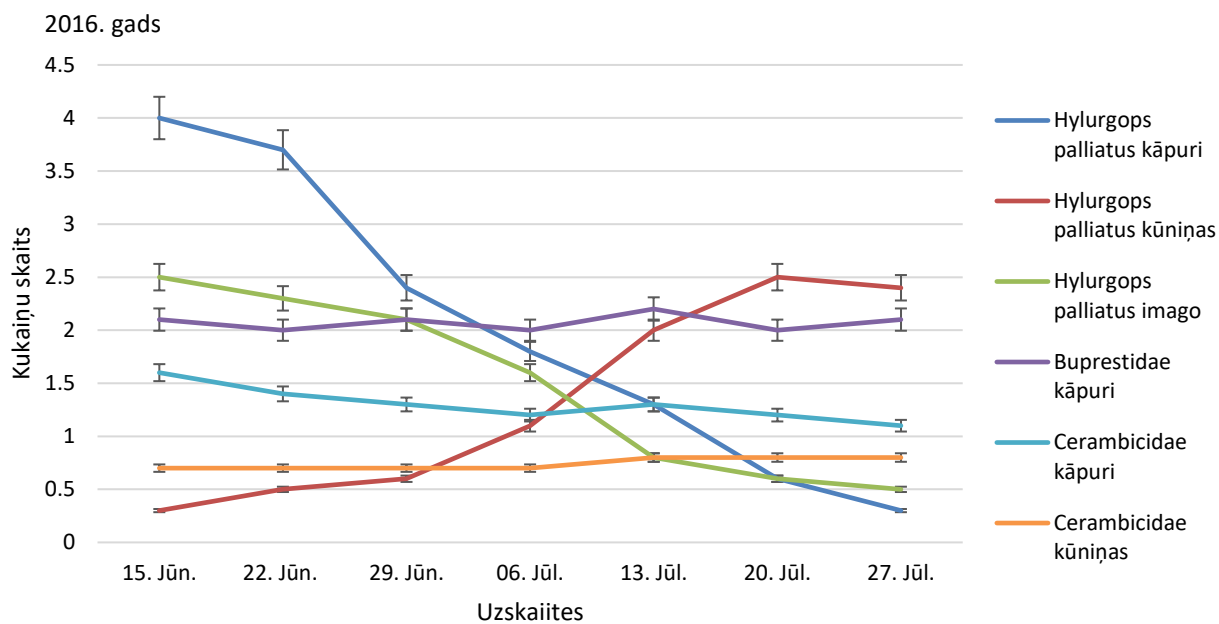
6.16. attēls. Noķerto pieaugušo egļu astoņzobu mizgraužu vidējais skaits vienā slazdā

Ips *typographus* kāpuru skaits vidēji vienā egles mizas paraugā 13.jūlijā, salīdzinot ar 6.jūliju, samazinājās 1,4 reizes, savukārt pieaugušo vaboļu skaits šajā periodā 2,3 reizes palielinājās (6.13. att.). Kā bija sagaidāms, *P. chalcographus* attīstība zem egles mizas atšķīrās no *I. typographus*. Tika novērots relatīvi straujš *P. chalcographus* kāpuru vidējā skaita samazinājums vienā mizas paraugā, sākot ar 29. jūniju. *P. chalcographus* iekūņojušos īpatņu skaits maksimumu sasniedza 20. jūlijā 2016. g., bet 2017. g. – 6. jūlijā, tāpat kā *I. typographus*; pieaugušo *P. chalcographus* vaboļu vidējais skaits uzskaitēs uz vienu mizas paraugu no 6. līdz 27. jūlijam pieauga par 37,2 % 2016. g. un 64,7 % 2017. g. no sākotnējā apjoma (6.14. att.). Izskatās, ka pat relatīvi nelielas izmaiņas klimata režīmā (šajā gadījumā – temperatūras pieaugums par 2,3 °C) var nozīmīgi pātrināt *P. chalcographus* attīstību zem egļu mizas. Mizgraužu vaboles zem mizas bija atrodamas visā eksperimenta laikā, jo paralēli jaunajām bija sastopamas arī vecās. Šie rezultāti (6.13., 6.14. att.) ir saskaņā ar pieaugušo izlidojušo vaboļu skaita dinamiku, kas starp 2016. g. un 2017. g. būtiski neatšķiras. (6.15. att.). *I. typographus* izlidojušo vaboļu skaits uz vienu paraugbaļķi (t.i., vienā maisā) maksimumu sasniedza 6. jūlijā (2016. g. vidēji 142 ± 8,6 un 2017. g. vidēji 147 ± 11,3 īpatņi), savukārt, *P. chalcographus* – 20. jūlijā (2017. g. vidēji 102 ± 5,2 un 2016. g. vidēji 97 ± 6,4 īpatņi) (6.15. att.). Iegūtie rezultāti gan 2016., gan 2017. g. (6.15. att.) atbilst abu mizgraužu attīstībai un lidošanai Latvijā dabā (Ozols, 1985; Šmits, 2007): *I. typographus* pirmās paaudzes izlidošana sākas jūnija beigās - jūlija sākumā (pētījumā – 6.jūlijs), bet *P. chalcographus* jūlija beigās (pētījumā – 20. jūlijs) (Bičevskis, Ozols, 1983; Ozols, 1985; Šmits, 2007). Savukārt, aplūkojot *I. typographus* lidošanas dinamiku dabā, netālu no to ieguves reģiona (6.16. att.), redzams, ka dabā pirmais izlidošanas maksimums tiek sasniegts maija vidū (iezīmējas pirmā paaudze), otrs, salīdzinoši mazāks – jūlija beigās (iezīmējas otrā paaudze). Mežaudzēs 2017. g. vasarā tika konstatēts par 79,6 % vairāk lidojošo *I. typographus* vaboļu, salīdzinot ar 2016. g. Domājams, tas izskaidro, kāpēc 2017. g. eksperimentā uzskaitīto *I. typographus* vaboļu skaits bija par 4,8 % lielāks nekā iepriekšējā gadā. Lai gan otrās paaudzes *I. typographus* lidošanas maksimums dabā sākas 9. jūlijā un kulminē jūlija beigās, augusta sākumā (laboratorijā jūlija sākums) (6.16. att.),

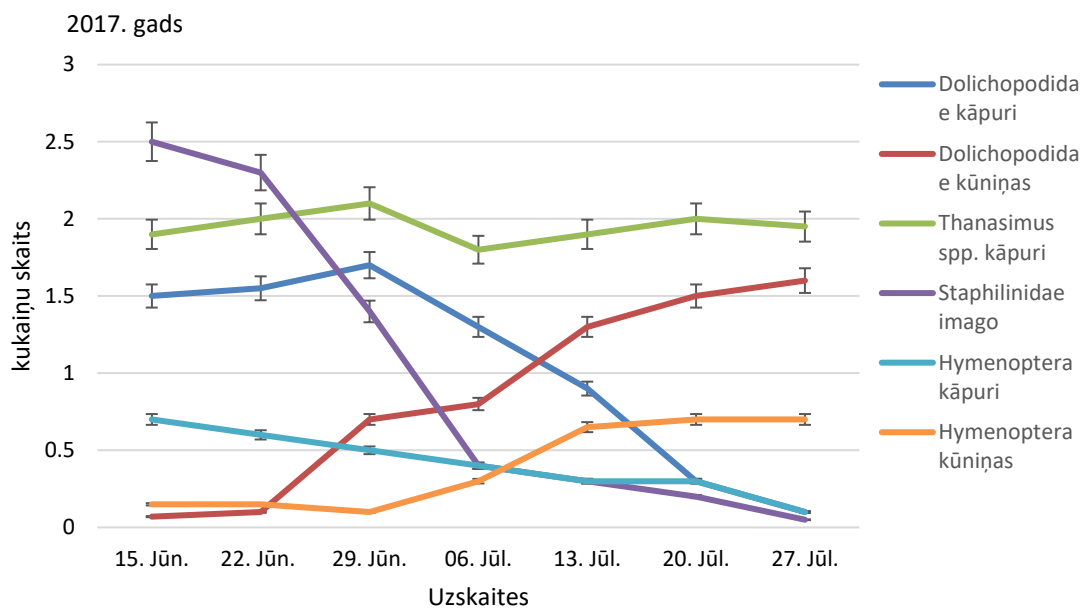
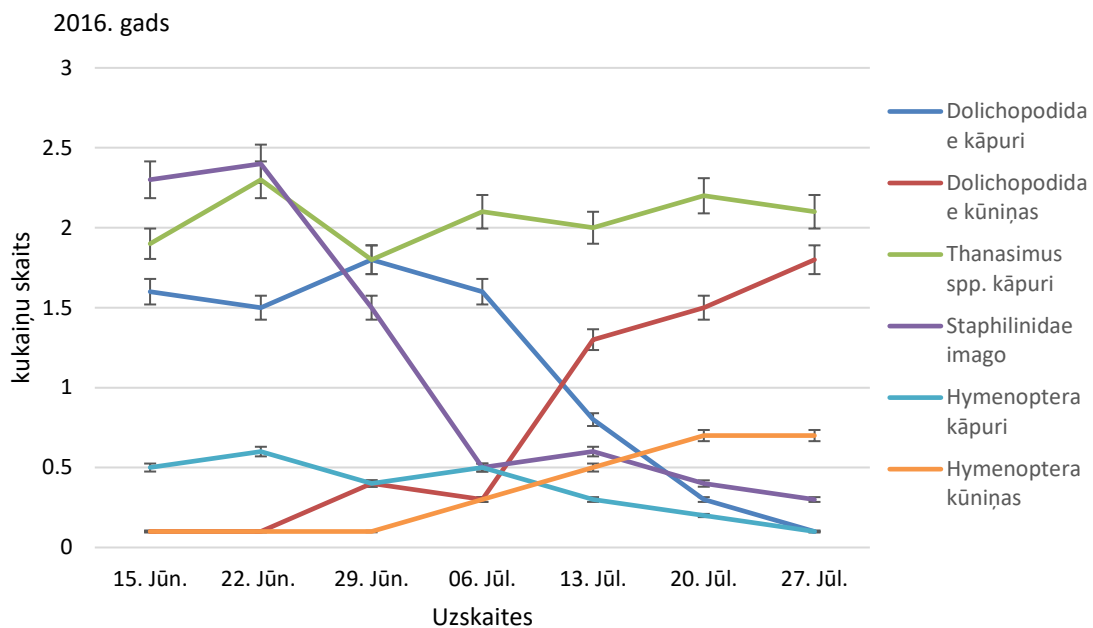
jārēķinās, ka to ietekmē lokāli abiotiskie faktori, kas kontrolētos apstākļos, iespējams, tiek izslēgti – piemēram, vējš un ilgstošas lietavas (sevišķi raksturīgas jūnija beigās, jūlija sākumā). Šo faktoru neesamība laboratorijas apstākļos var tikt uzskatīta par priekšrocību, jo tie spēj negatīvi ietekmēt arī mizgraužu plēsējus un parazītus.

Tā kā eksperimentā klimata simulācijas ir sadalītas pa atsevišķiem gadiem, nebūs iespējams izvairīties no konkrētā gada ietekmes – paraugi dabā vienam atkārtojumam (simulācijai) tiek iegūti konkrētā gadā, kad var atšķirties mizgraužu lidošana – tajā skaitā arī invāzijas apjoms. Lai no tā izvairītos, mizgrauži katru gadu tiek pievilināti ar vienādu intensitāti (standartizēti) – neatšķiras koku skaits, to izvietojums, feromonu dispenseru skaits uz koku un attālumi starp tiem, koku dimensijas, ieguves vieta.

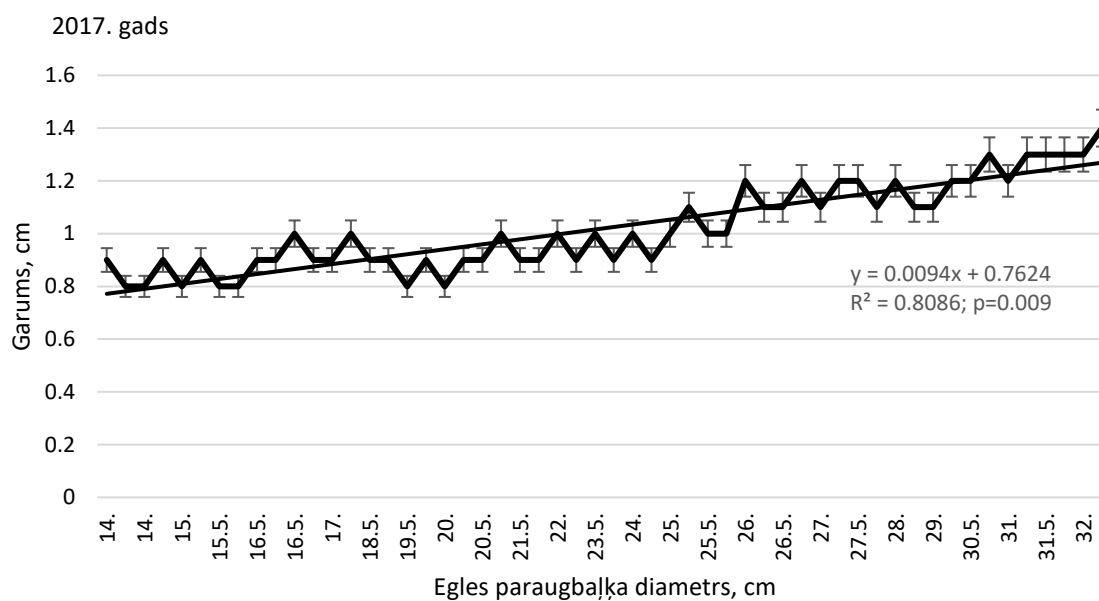
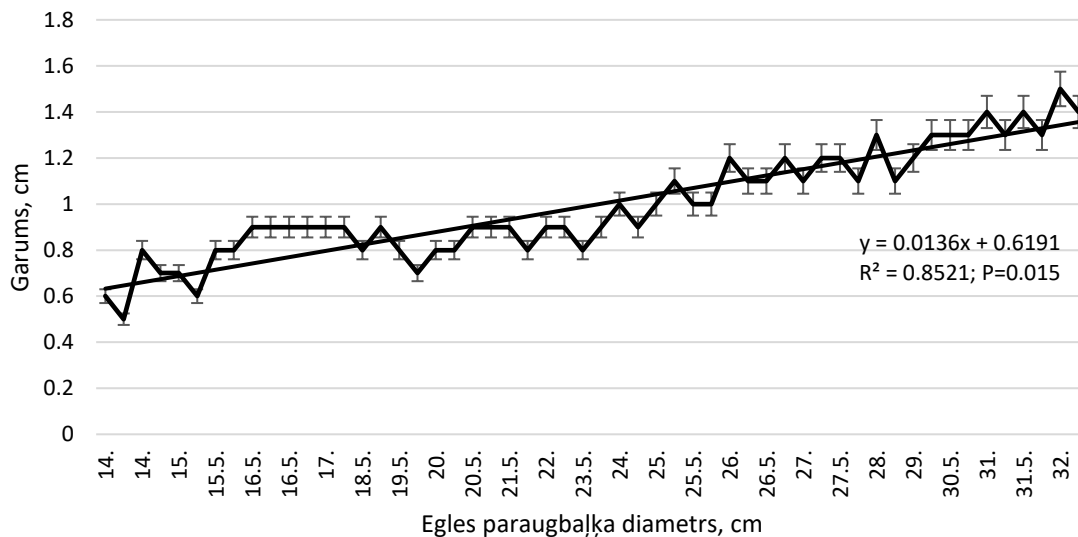
Lai gan mizas paraugos tika novēroti dažādi posmkāji – tajā skaitā ērces, citu sugu vaboles un to kāpuri, tika uzskaitītas tikai tās taksonomiskās grupas, kurām ir tieša saistība ar mizgraužu attīstību. Uzskaitītie ksilofāgi (6.17. att.) ir mizgraužu konkurenti par dzīves vietas un barības sadali, savukārt novērotie plēsēji (6.18. att.) un parazītoīdi (6.21. att.) ir tie organismi, kas ietekmē mizgraužu mirstību. Izvērtējot šo kukaiņu sastopamību, tiek iegūts priekšstats par to attīstību zem egles mizas attiecīgā klimata režīmā (Pielikums, 1., 2. tabula). Visvairāk, salīdzinot ar citām ksilofāgu sugām, uzskaitēs vidēji uz vienu mizas paraugu bija sastopams skujkoku violetais lūksngrauzis *Hylurgops palliatus* (6.17. att.). *H. palliatus* vaboļu skaitam vērojama tendence samazināties uzskaišu laikā. Lai gan 2016. g. tas mainījās nebūtiski ($p = 0,07$), 2017. g., sākot ar 6. jūliju, to skaits samazinājies straujāk ($p = 0,031$). Tam par pamatu var būt gada ietekme (6.14., 6.15. att.) – pieaugot noķerto mizgraužu skaitam, pieaug arī konkurence ar tiem. *H. palliatus* skaitu pārsvarā sastādīja pieaugušie īpatņi, pievilināti laikā pirms baļķu ekspozīcijas laboratorijā (6.17. att.). Domājams, ka *H. palliatus* masu iekūņošanās zem mizas 2016. g. noritēja 29. jūnijā – 20. jūlijā, jo šajā laikā to skaits vienā paraugā pieauga vidēji no 0,6 līdz 2,5 jeb 4,2 reizes. 2017. g. tika novērots, ka *H. palliatus* masu iekūņošanās noslēdzas jau 13. jūlijā (6.17. att.). Zem egles mizas visu uzskaišu laikā novēroti krāšņvaboļu (Buprestidae) kāpuri, kuru skaits uzskaišu laikā gan 2016., gan 2017. praktiski palika nemainīgs (vidēji $2 \pm 0,1$; 2016. g. $p=0,41$, 2017. g. $p=0,38$), kas, iespējams, skaidrojams ar to, ka vairākums krāšņvaboļu sugu ir polivoltīni (2 – 3 paaudzes gadā), un kāpuri iekūņojas tikai rudenī (Ozols, 1985). Arī koksngrauzu (Cerambycidae) skaits mizas paraugos uzskaitēs praktiski nemainījās (2016. g. $p=0,13$ kāpuriem un $p=0,64$ kūniņām; 2017. g. $p=0,17$ kāpuriem un $p=0,51$ kūniņām). Nenožīmīgās atšķirības krāšņvaboļu un koksngrauzu attīstībā starp uzskaitēm skaidrojamas ar to, ka šie kukaiņi salīdzinoši lēnāk aug zem koku mizas, piemēram, salīdzinot ar mizgraužiem, un ar noteikto eksperimenta laiku nepietiek, lai pilnīgi novērotu to attīstības gaitu (Ozols, 1985; Faccoli, Bernardinelli, 2011).



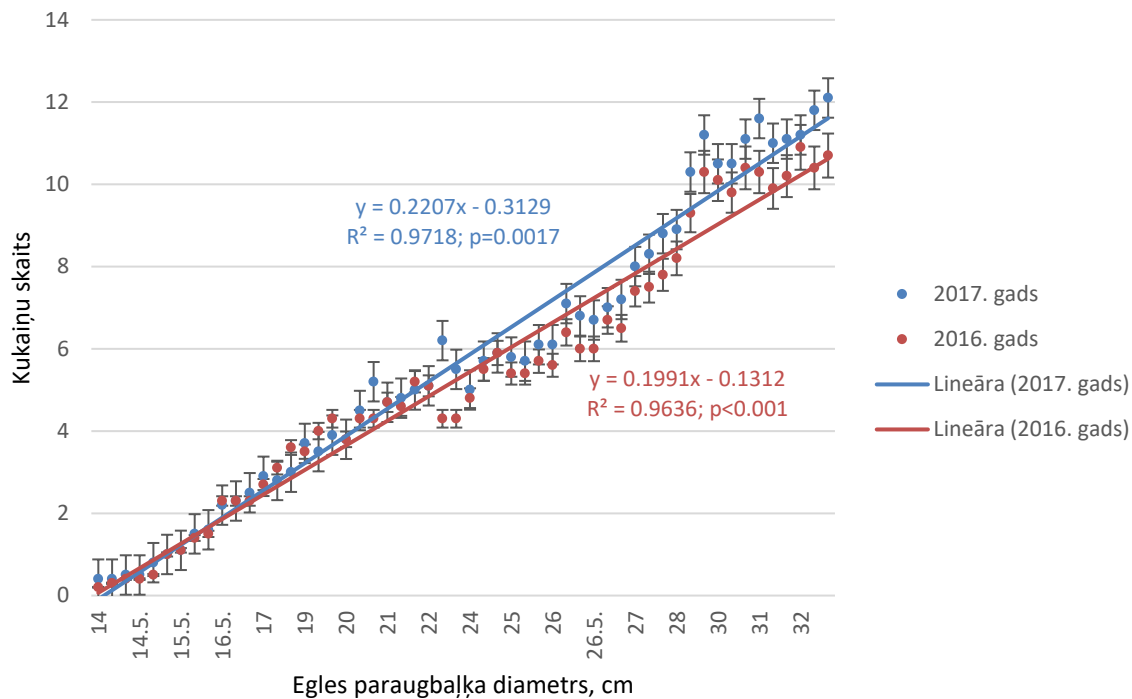
6.17. attēls. Citu ksilofāgu vidējā sastopamība (skaits ± standartklūda) vienā mizas paraugā.



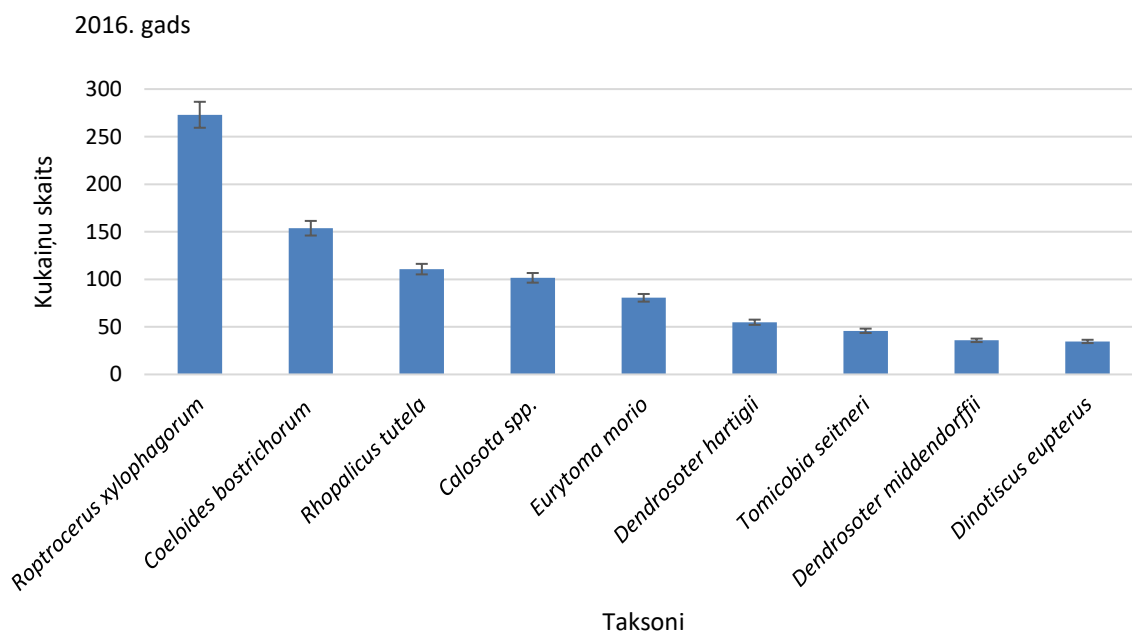
6.18. attēls. Plēsēju vidējā sastopamība (skaits \pm standartklūda) vienā mizas paraugā.

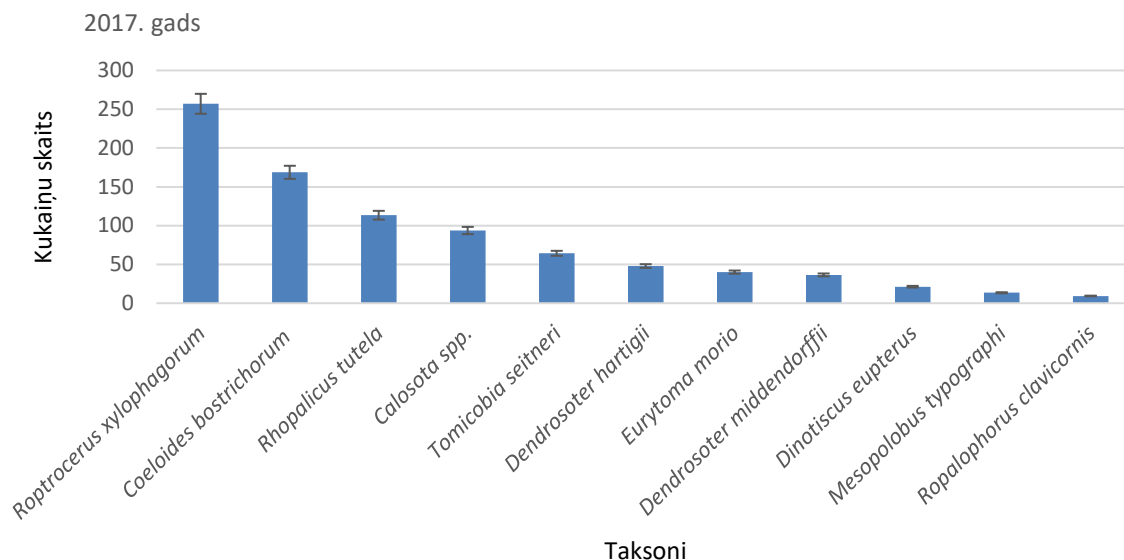


6.19. attēls. Skudrulišu *Thanasimus* spp. kāpuru vidējais garums (\pm standartklūda) vienā paraugā atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

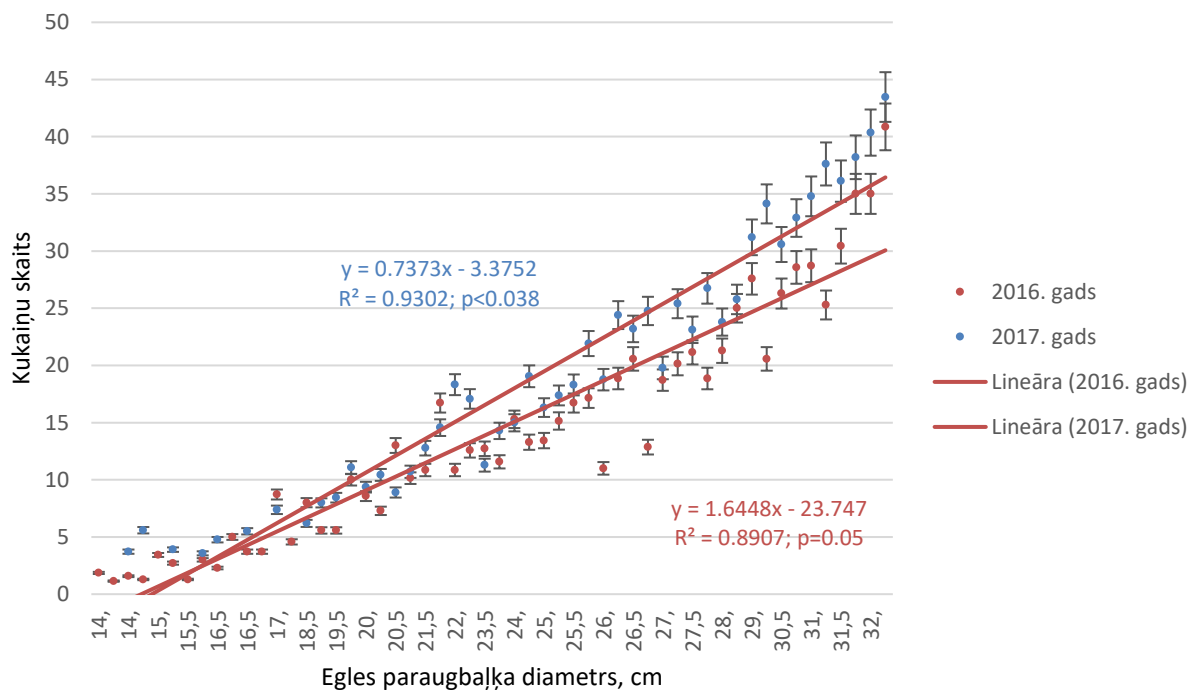


6.20. attēls. Visu plēsīgo kukaiņu skaits (izņemot skudrulišus) vidēji vienā paraugā (\pm standartklūda) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.

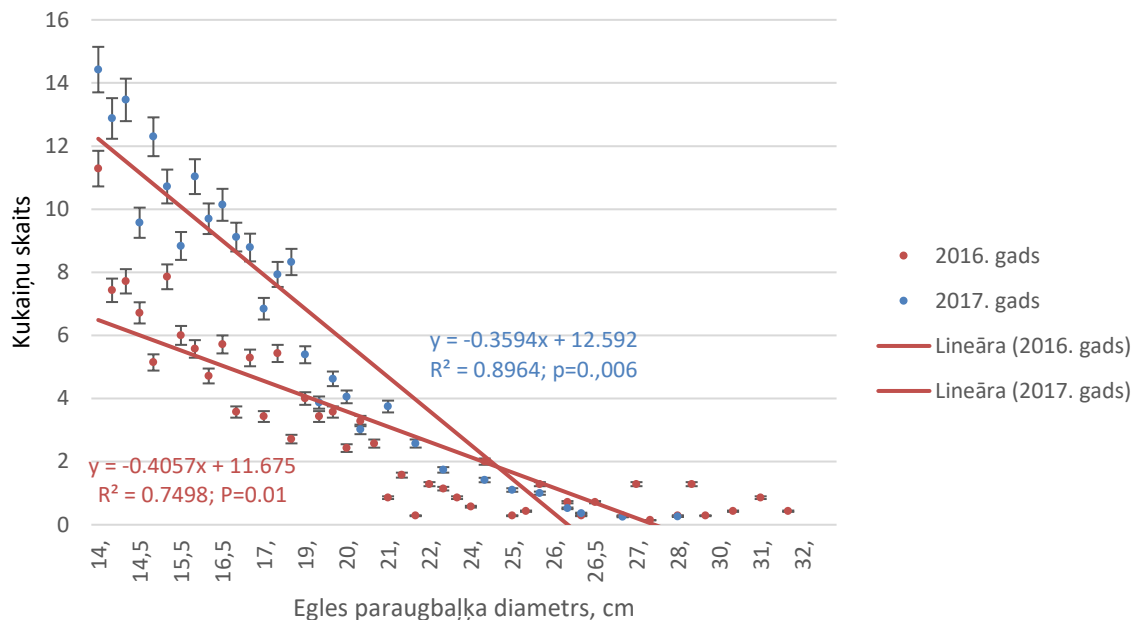




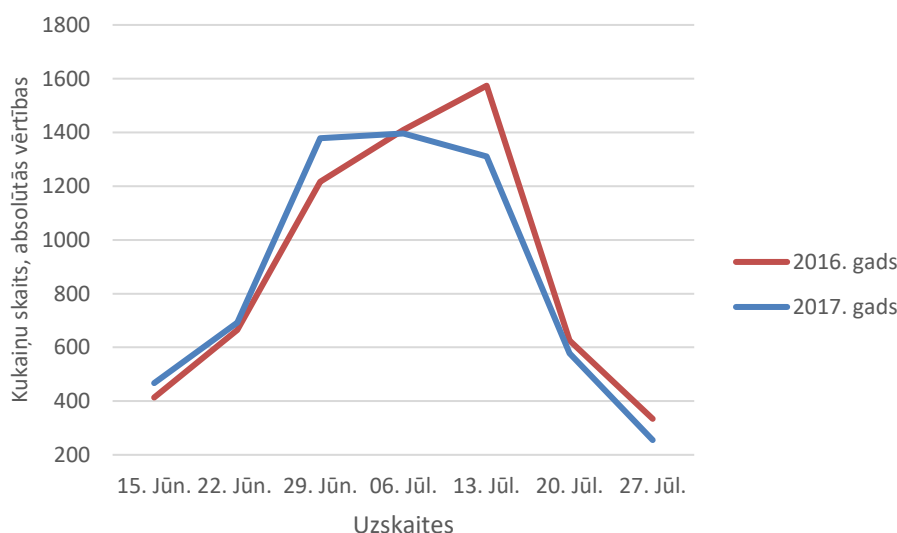
6.21. attēls. Mizgraužu parazītoīdu vidējā skaita sadalījums (skaits ± standartklūda) vienā uzskaitē.



6.22. attēls. Egles astoņzobu mizgrauža *Ips typographus* parazītoīdu skaits vidēji vienā uzskaitē (skaits ± standartklūda) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



6.23. attēls. Egles sežobu mizgrauža *Pityogenes chalcographus* parazītoīdu skaits vidēji vienā uzskaitē (skaits ± standartklūda) atkarībā no egles paraugbaļķa diametra.



6.24. attēls. Kopējais noķerto parazītoīdu skaits uzskaitēs.

Zem egles mizas uzskaitīto mizgraužu plēsēju attīstībai (6.18. att.) tika novērotas līdzības ar pašu mizgraužu attīstību (6.13., 6.14., 6.15. att.). Piemēram, 2016. g. Dolichopodidae dzimtas divspārņu – zaļganīšu – kāpuru skaitam vidēji vienā paraugā konstatēts samazinājums no 6. līdz 20. jūlijam par 1,2 īpatņiem uz mizas paraugu jeb par 5,3 reizes. 2017. g. zaļganīšu kāpuru skaita samazināšanās notika straujāk (6.18. att.) – jau sākot ar 29. jūniju, kad to skaits saruka vidēji no 1,7 uz 0,1 jeb par 17 reizēm. Tas varētu būt skaidrojams ar straujāku masu iekūņošanos 2017. g. Atšķirībā no 2016. g. rezultātiem (6.18. att.), kad zaļganīšu kūniņu skaits atbilstoši pieaug 5 reizes – vidēji no 0,3 līdz 1,5 šajā periodā, 2017. g. to skaita pieaugums ir vērojams ātrāk – jau 22. jūnijā – vidēji no 0,15 uz 1,6. Starp zaļganīšu kāpuru un kūniņu skaita izmaiņām (6.18. att.) un *I. typographus* kāpuru skaitu (6.13. att.), izmantojot Pīrsona korelāciju, konstatēta cieša sakarība – abu sugu kāpuru skaitam 2016. g. $r = 0,79$ ($p < 0,05$), 2017. g. $r = 0,84$ ($p < 0,05$), bet starp zaļganīšu kūniņu skaitu un *I. typographus* kāpuru skaitu – 2016. g. $r = -0,68$ (p

< 0,05), 2017. g. $r = -0,75$ ($p < 0,05$). Zaļganīšu kāpuri ir plēsīgi, un pamatā barojas ar *I. typographus* kāpuriem, tos aktīvi meklējot ejās (Nagel, Fitzgerald, 1975; Pollet, Brooks, 2008). Zaļganītes masveidā iekūņojās, sākot ar 6. jūliju 2016. g., kad noritēja *I. typographus* pirmās paaudzes izlidošana, bet 2017. g. nedaudz agrāk (6.18. att.). Interesanti, ka zaļganīšu attīstībai 2017. g. (6.18. att.) nozīmīgāka saistība ar *H. palliatus* attīstību (6.17. att.) - abu sugu kāpuriem $r = 0,82$ ($p < 0,05$) (2016. g. $r = 0,43$, $p = 0,076$). Lai gan zaļganītes tiek uzskatītas par tipiskiem mizgraužu plēsējiem, tomēr literatūrā atrodama arī informācija par to spējām baroties arī ar lūksngraužiem (Beaver, 1966). Lielāko īpatsvaru no mizgraužu plēsējiem mizas paraugos sastādīja skudrulīšu *Thanasimus* spp. kāpuri (6.4., 6.18. att.). To vidēji 2016. g. par 0,6, bet 2017. g. par 1,2 īpatņiem bijis vairāk, salīdzinot ar citiem mizgraužu plēsējiem uz vienu egles mizas paraugu. Skudrulīšu pieaugušās vaboles dēj olas mizgraužu pirmajās ieskrejās pavasarī, to agregācijas vietās. Skudrulīšu kāpuri barojas pat ar vairāku paaudžu mizgraužu olām, kāpuriem un kūniņām, pavadot to ejās visu vasaras laiku, rudenī (septembra beigās) iekūņojas, pārziemo un izkūņojas kā vaboles tikai nākamajā pavasarī (Mamaev, 1977; Ye, 1998; Barbosa et al., 2012). Visticamāk, tieši tādēļ skudrulīšu vidējais skaits visu uzskaišu laikā paliek relatīvi nemainīgs, turklāt skudrulīši novēroti tikai kāpuru attīstības stadijā (6.18. att.). Tā kā skudrulīši ir būtiskākie no mizgraužu plēsējiem (ar lielāko zināmo ietekmi uz to mirstību) (Jakaitis, 1979; Turnbow, Franklin, 1979; Kenis et al., 2007), turklāt uzskaitēs no dabiskajiem ienaidniekiem bija vienīgie tikai kāpuru stadijā un to dinamikā netika novērotas būtiskas atšķirības, tad tika mērīts to garums (mm) (6.19. att.). Salīdzinoši garāki (t.i., lielāki) skudrulīšu kāpuri novēroti egles paraugbaļķos ar lielāku diametru (6.19. att.). Skudrulīši barojas pamatā ar *I. typographus* (Turnbow, Franklin, 1979; Ye, 1998), un, iespējams, aug salīdzinoši ātrāk zem tādu koku mizas, kur šo mizgraužu ir vairāk (6.11. att.). Interesanti, ka 2017. g. novērota starpsugu konkurence starp skudrulīša kāpuriem un citiem uzskaitītajiem plēsīgajiem kukaiņiem (6.19., 6.20. att.). 2017.g. vidēji par 17,9 % garāki skudrulīšu kāpuri konstatēti egles mazo dimensiju paaugbaļķos un vidēji par 14,3 % īsāki - lielo dimensiju paaugbaļķos (6.19. att.), salīdzinot ar 2016. g. Iespējams, tādas skudrulīšu sadalījuma izmaiņas paraugbaļķu dimensijās skaidrojamas ar pārējo apskatīto plēsīgo kukaiņu (Pielikums, 1. un 2. tabulas) skaita pieaugumu (vidēji par 26,2 %) 2017. g. egles lielo dimensiju paaugbaļķos (6.20. att.); turklāt pārējo plēsēju ietekme ir būtiska ($r = -0,68$ starp pārējo plēsēju un skudrulīšu blīvumu), lai konkurences ceļā "izspiestu" skudrulīšus no to sākotnējām barošanās vietām. Plēsēji ir to organismu grupa, kas ir ievērojami mobilāki (ar lielāku pārvietošanās ātrumu) salīdzinājumā ar citiem novērotajiem organismiem, un spējīgi salīdzinoši strauji mainīt savu lokāciju paraugbaļķa ietvaros. Plēsīgo kukaiņu kopējā skaita sadalījuma izmaiņas baļķu dimensijās 2017. g., iespējams, ir skaidrojamas ar pašu *I. typographus* sadalījuma izmaiņām (6.11. att.). Piemēram, īsspārņiem (Staphilinidae) straujš to daudzuma kritums paraugos novērots no 22. jūnija līdz 6. jūlijam gan 2016. g., gan 2017. g. (6.18. att.), t.i., laikā, kad *I. typographus* izlidojušās vaboles sasniedz maksimumu (6.15. att.). Šajā laikā īsspārņu skaits uz paraugu vienā uzskaitē samazinājās 2016. g. 4,8 reizes – no 2,4 līdz 0,5 īpatņiem, bet 2017. g. 5,8 reizes - no 2,3 līdz 0,4 īpatņiem uz paraugu (6.18. att.). Arī īsspārņiem raksturīga augsta mobilitāte (Lawson et al., 1996; Barbosa et al., 2012). Iespējams, tie salīdzinoši sliktāk piemērojas dzīvei šādos apstākļos, ar uzskatāmi vienveidīgu medijamo taksonu saturu, tādēļ strauji pameta savas attīstības vietas. Vairākums plēsīgo īsspārņu ir izteikti ģenerālisti un parasti strauji maina savus medijamos kukaiņus (Schomann et al., 2008; Echegaray et al., 2015).

Plēsēju uzskaitēs konstatēti arī lapsēņu (Hymenoptera) kāpuri un kūniņas (6.18. att.), kas, visticamāk, būtu pieskaitāmi parazītiskiem organismiem, tomēr, tā kā mizas paraugos netika

noteikta to tālākā taksonomiskā piederība, tad netiek izslēgts, ka daļa no tām varētu būt mizgraužu plēsēji (Tselikh, 2010; Podlesnik et al., 2014). Lai gan kūniņu īpatsvars paraugos pieaug, sākot ar 29. jūniju, lapseņu skaita izmaiņas uzskaitēs ir maznozīmīgas abos pētījuma gados.



6.25. attēls. *Mesopolobus typographi* (foto: I. Siliņš).

Uzskaitītas arī pieaugušas, izlidojušas mizgraužiem parazitiskas lapsenes, kurām noteikta tālākā taksonomiskā piederība. Kopumā konstatētas 2016. g. 8 parazitisko lapseņu sugas un viena ģints no četrām dažādām dzimtām – Pteromalidae (*Rhopalicus tutela*, *Roptrocerus xylophagorum*, *Tomocobia seitneri*, *Dinotiscus eupterus*), Braconidae (*Dendrosoter middendorffi*, *Dendrosoter hartigii*, *Coeloides bostrichorum*), Eurytomidae (*Eurytoma morio*) un Eupelmidae (*Calosota* spp.), bet 2017. g. papildus esošajām - *Mesopolobus typographi* (Pteromalidae) (6.25. att.) un *Ropalophorus clavicornis* (Braconidae) (6.26. att.) (Krüger, Mills, 1990; Lawson et al., 1996; Hougardy, Gregoire, 2003; Feicht, 2004; Tselikh, 2010; Podlesnik, 2014; Delvare et al., 2014). Visaktīvākā šo lapseņu izlidošana abos gados novērota no 29. jūnija līdz 13. jūlijam (6.24. att.). No parazītiem uzskaitēs dominēja *Roptrocerus xylophagorum* (2016. ar vidēji $273 \pm 5,8$, 2017. g. ar vidēji $257 \pm 18,3$ īpatņiem) un *Coeloides bostrichorum* (2016. g. ar vidēji $154 \pm 1,2$, 2017. g. ar vidēji $169 \pm 6,5$ izlidojušiem īpatņiem uz egles paraugbaļķi) (6.21. att.). Gan *R. xylophagorum*, gan *C. bostrichorum* ir tipiski *I. typographus* raksturīgi parazīti (Krüger, Mills, 1990; Pettersson et al., 2000; Pettersson, 2001; Sullivan, 2002). *R. xylophagorum* lapsenes mātīte ierāpjas *I. typographus* ejās, to agregāciju vietās, un atliek olu uz pēdējās stadijas mizgrauža kāpura. Šīs lapsenes kāpurs izšķīļas un ielien savā saimniekā, pakāpeniski izsūcot tā iekšējo saturu, mizgraužu kāpuram kādu laiku dzīvam esot (Pettersson et al., 2000; Pettersson, 2001; Sullivan, 2002). *R. xylophagorum* kāpuri iekūņojas mizgraužu kāpureju galos un pārziemo, bet izlido tikai nākamajā pavasarī 3 – 4 nedēļas pēc pirmo lidojošo mizgraužu parādīšanās (Krüger, Mills, 1990; Pettersson et al., 2000). Savukārt *C. bostrichorum* raksturīgas pat līdz četrām paaudzēm gadā, un to skaits ir tieši proporcionāls izlidojušo mizgraužu skaitam (Krüger, Mills, 1990; Feicht, 2004; Quickle, 2015). Šīs sugas lapsenes ar taustekļiem sajūt mizgraužu kāpurus zem mizas. Tos atrodot, lapsenes mātīte ar pagarināmu dēvēkli cauri mizai vaboles kāpuram blakus iedēj olu. *C. bostrichorum* olai izšķīloties, lapsenes kāpurs attīstās kā ektoparazīts (ārpus saimniekorganisma). Arī šīs lapsenes kāpuri iekūņojas mizgraužu kāpureju galos (6.1. att.) (Krüger, Mills, 1990; Feicht, 2004). 2017.

g. parazitoīdu mazākumu sastādīja divas jaunas sugas - *M. typographi* (vidēji $13,5 \pm 2,1$ īpatņu), *R. clavicornis* (vidēji $9,3 \pm 1,7$ īpatņu uz paraugbaļķi), kas arī raksturīgas *I. typographus* (6.21. att.). Par *R. clavicornis* (6.26. att.) bioloģiju ir zināms maz, taču, ņemot vērā, ka šīs lapsenes praktiski vienmēr ir vērojamas kopā ar *T. seitneri*, tiek pieļauts, ka abām sugām tā ir līdzīga attīstības gaita (Georgiev, Takov, 2005; Lipták et al., 2013). Abām lapseņu sugām ir raksturīgas divas paaudzes gadā, un tās pārziemo pieaugušās mizgraužu vabolēs kāpura stadijā. *M. typographi* (6.25. att.) raksturīgas 2 - 3 paaudzes gadā un arī šo lapseņu kāpuru attīstība notiek pieaugušās *I. typographus* vabolēs (Georgiev, Takov, 2005; Wegensteiner et al., 2017). *M. typographi* kāpurs, attīstoties *I. typographus* vēdera dobumā, skar vaboles gonādas, un spēj līdz pat 30% samazināt mizgrauža izdēto olu skaitu (Askew, 1961). *M. typographi* attīstībai raksturīga cieša sinhronitāte ar *I. typographus*, jo pieaugušās lapsenes sastopamas tikai šī mizgrauža lidošanas laikā (Askew, 1961; Baur et al., 2007). Taksonomiski vienveidīgs parazitoīdu sastāvs raksturīgs relatīvi jaunās mizgraužu populācijās vai to populācijās ar savairošanās stāvokli (Wajnberg et al., 2008). Lielāka parazitoīdu taksonomiskā daudzveidība un mainība ir stabilās, ilgstošās mizgraužu populācijās (Price, 1997; Barbosa et al., 2012; Wajnberg, Colazza, 2013).

Salīdzinoši mazāk konstatēts sešzobu mizgrauzim raksturīgāko parazitoīdu - *Dendrosoter hartigii* (2016. g. vidēji 55 ± 2 , bet 2017. g. vidēji $47,9 \pm 3,8$ izlidojušu īpatņu), *Dendrosoter middendorffii* (2016. g. vidēji 36 ± 1 , bet 2017. g. vidēji $36,5 \pm 2,5$ izlidojušu īpatņu) un *Dinotiscus eupterus* (2016. g. vidēji $35 \pm 1,2$, bet 2017. g. $21,3 \pm 1,4$ izlidojušu īpatņu) (6.21. att.). *Dendrosoter* ģints lapsenes parazitē primāri uz dažādām mizgraužu sugām, kuru ķermenis nepārsniedz 3 mm garumu, tomēr tās novērotas arī uz salīdzinoši "lielākiem" mizgraužiem – tajā skaitā, uz *I. typographus* (Krüger, Mills, 1990; Hougardy, Grégoire, 2003; Fora et al., 2011). Šīs lapsenes tiek uzskatītas par ģenerālistiem, un tām raksturīgas divas paaudzes gadā (Krüger, Mills, 1990; Podlesnik et al., 2014). *D. middendorffii* primāri izvēlas parazitēt tieši uz *P. chalcographus* un uzskatāma par specializētu sugu (Jakaitis, 1979; Krüger, Mills, 1990; Fora et al., 2011). Novērtējot šo triju lapseņu sugu izlidošanu atkarībā no egles paraugbaļķa lieluma (6.23. att.), gan 2016.g, gan 2017. g. redzams, ka tās primāri izvēlas kokus ar salīdzinoši mazāku diametru ($p=0,01$). To izplatība piesaistīta tādu dimensiju kokiem un to daļām, kuros sastopami šīm sugām piemērotie saimniekorganismi - *P. chalcographus* (2016. g. $r=0,84$, 2017. g. $r=0,79$) (6.12., 6.23. att.).



6.26. attēls. *Ropalophorus clavicornis* (foto: I. Siliņš)

Līdzīga (lai gan ne tik izteikta) tendence novērota pārējām izlidojušo lapseņu sugām (6.22. att.), kuru izplatību primāri nosaka egles paraugbaļķi ar relatīvi lielāku diametru (2016.

g. $p=0,05$; 2017. g. $p=0,044$). Šo parazitisko lapsēņu izplatību, iespējams, nosaka arī abu apskatīto mizgraužu kopējā izplatība, bet pamatā - *I. typographus* izplatība (2016. g. $r=0,71$, 2017. g. $r=0,75$) (6.11., 6.22. att.). Kā jau minēts, 2017. g. *P. chalcographus* par vidēji 1,4 % vairāk sastopams mazo dimensiju paaugbaļķos (6.12. att.), bet *I. typographus* lielo dimensiju paraugbaļķos - vidēji par 2,7 % vairāk (6.11. att.). Līdzīga situācija 2017. g. novērota parazitiskajām lapsenēm - *P. chalcographus* raksturīgās parazitoīdās lapsenes vidēji par 41,7 % bija vairāk sastopamas mazo dimensiju paaugbaļķos (6.23 att.), savukārt lielo dimensiju paaugbaļķos vidēji par 19,1 % vairāk bija *I. typographus* raksturīgās (6.22. att.).

Pētījuma laikā 2016., 2017. gg. kopumā tika uzskaitīti 167 472 mizgrauži dažādās attīstības stadijās (t.sk., *I. typographus* – 118 515, *P. chalcographus* – 48 957). Uzskaitīti arī dabiskie ienaidnieki un konkurentās sugas – 23 226 īpatņu dažādās attīstības stadijās (t.sk., parazitoīdi – 12 314, plēsēji – 4 351, citi ksilofāgi – 6 561). Ņemot vērā, ka dabiskie ienaidnieki sastādīja tikai 8,7 % (t.sk., plēsēji 2,3%, parazitoīdi 6,4%) no kopējā uzskaitīto kukaiņu skaita, tiek pieņemts, ka to iespējamā ietekme uz šajā eksperimentā eksponēto mizgraužu attīstības dinamiku ir bijusi neliela. Tiek pieļauts, ka to nozīme pieaug tieši dabā – it sevišķi, nākamajā gadā pēc mizgraužu masu uzliesmojumiem (Ozols, 1985; Barbosa et al., 2012; Delvare et al., 2014). Domājams, eksperimentā mizgraužu attīstību visnozīmīgāk ietekmē tieši izmantotais klimata režīms.

Kopumā konstatēts, ka mizgraužu attīstību abos analizētajos temperatūras režīmos nosaka pieejamā dzīvotne – egles sumbra fragmenta virsmas laukums. *I. typographus* iekšsugas konkurence galvenokārt notiek starp to kāpuriem savukārt *P. chalcographus* – starp mātītēm par iespēju veidot aizvien jaunas mātes ejas. Konkurence novērota arī starp abām apskatītajām mizgraužu sugām – egļu astoņzobu mizgrauzi dominēja paraugbaļķos ar lielāku diametru, bet sešzobu – ar mazāku. Likumsakarīgi, arī šiem mizgraužiem raksturīgie parazitoīdi bija sastopami galvenokārt tādu pat dažādu dimensiju egles paraugbaļķos.

Kopumā secināts, ka temperatūrai paaugstinoties par 2,3 °C (2017. g.):

1) abām mizgraužu sugām palielinās iekšsugas konkurence, jo *I. typographus* kāpurejas kļūst par 4,8 % garākas un *P. chalcographus* kāpurejas pat par 22,7 %, kas skaidrojams ar šo kukaiņu metabolisma (vielmaiņas) paātrināšanos, līdz ar to potenciāli nozīmīgākiem zaudējumiem mežsaimniecībai. Vērtējot šo secinājumu kontekstā ar pārējiem pētījuma etapa rezultātiem, var secināt, ka mizgraužu mirstību populācijas savairošanās fāzē vairāk ietekmēs iekšsugas konkurence, nevis plēsēji, kas sastāda tikai 2,3 % no kopējā uzskaitīto kukaiņu skaita, līdz ar to labvēlīgas situācijas gadījumā (piemēram, plaša vējgāze) iespējama nozīmīgāka masu savairošanās un plašāka tās skartā platība;

2) sagaidāma pozitīva ietekme uz mizgraužu dabiskajiem ienaidniekiem – *I. typographus* attīstību visvairāk ietekmējošā plēsēja zaļganītes iekūņošanās šādos apstākļos bijusi piecas reizes sekmīgāka; savukārt *P. chalcographus* ietekmējošās parazitoīdās lapsenes blīvums tievajos egles paraugbaļķos palielinājies pat par 41,7%. No tā var secināt, ka mizgraužu populācijas pēcsavairošanās fāzē nozīmīgāk samazinās tieši parazitoīdi un tas varētu notikt līdzīgi kā šī brīža klimatiskajos apstākļos;

3) skudrulišu *Thanasimus sp.*, kas bija visbiežāk sastopamais no mizgrauža parazitoīdiem, kāpuru augšanu lielo dimensiju egles paraugbaļķos mazina plēsēju savstarpējā konkurence. Tas var nelabvēlīgi iespaidot šo parazitoīdu sugu, taču ne plēsēju kopējo ietekmi uz *I. typographus* mirstību.

7. Epiģenētiskā efekta ietekmes pētījumi

Epiģenētiskā efekta ietekme – sēklu ieguve kontrolētos apstākļos: kārpainais bērzs un parastā egle.

Siltumnīcā, kur ar vēdināšanas sistēmu uzturēta par 4°C augstāka gaisa temperatūra nekā ārvidē, veikta viena bērza, divu melnalkšņu un divu egļu klonu audzēšana un sēklu ieguve (7.1. tab.).



7.1. attēls. Lapu koku audzēšana paaugstinātas temperatūras apstākļos

7.1. tabula

Iegūtās sēklas turpmākiem eksperimentiem

Suga	Klons/ ramets	Sēklu nogatavošanās apstākļi 2017.gadā	Iegūto sēklu masa (g) 21.11.2017.
Egle	Mad116	klimata kamera (no Tirzas pl.)	0
Egle	Mad145	klimata kamera (no Tirzas pl.)	0
Bērzs	Pr2	klimata kamera (no LVM pl. Kalsnava-4-R)	2.0
Bērzs	mix (t.sk. 11% Pr2)	plantācija (LVM pl. Kalsnava-4-R)	20.3
Melnalksnis	Br32/7R-11K	klimata kamera (no MPS pl.)	0.001
Melnalksnis	Br32/7R-17K	klimata kamera (no MPS pl.)	0.160
Melnalksnis	Og3/352/10R-3K	klimata kamera (no MPS pl.)	0.260
Melnalksnis	Og6/2/12R-10K	klimata kamera (no MPS pl.)	0.001
Melnalksnis	Mē18/7R-18K	klimata kamera (no MPS pl.)	0.130

Melnalksnis	Br32/2R-5K	plantācija (MPS)	0.890
Melnalksnis	Br32/2R-11K	plantācija (MPS)	0.560
Melnalksnis	Og3/352/5R-9K	plantācija (MPS)	0.140
Melnalksnis	J4/7R-14K	plantācija (MPS)	0.140
Melnalksnis	Br32/7R-5K	plantācija (MPS)	0.360
Melnalksnis	Sa14/9R-12K	plantācija (MPS)	0.970
Melnalksnis	Og3/352/10R-9K	plantācija (MPS)	0.080
Melnalksnis	Mē18/13R-13K	plantācija (MPS)	0.140

Stādu audzēšana no 2016. gadā iegūtajām melnalkšņa un egles sēklām

Meža pētīšanas stacijas kokaudzētavā veikta stādu audzēšana no 2016. gadā iegūtajām melnalkšņa un egles sēklām augšanas gaitas vērtējumam 2018. gadā (7.2. tab.).

7.2. tabula

Izaudzēti stādi turpmākiem eksperimentiem

Suga	Klons/ ramets	Sēklu nogatavošanās apstākļi 2016.gadā	Izaudzēto stādu skaits 21.11.2017.
Egle	Mad116/1	klimata kamera (no Tirzas pl.)	655
Egle	Mad121/1	klimata kamera (no Tirzas pl.)	72
Egle	Mad147/1	klimata kamera (no Tirzas pl.)	225
Egle	Mad147/2	klimata kamera (no Tirzas pl.)	8
Egle	Mad29	plantācija (Tirzas)	217
Egle	Mad116/Tirza	plantācija (Tirzas)	120
Egle	Mad123	plantācija (Tirzas)	38
Egle	Mad127	plantācija (Tirzas)	144
Egle	Sau29	plantācija (Tirzas)	100
Melnalksnis	RJ6	klimata kamera (no MPS pl.)	26
Melnalksnis	Sa14	klimata kamera (no MPS pl.)	21
Melnalksnis	RJ6/5	plantācija (Olaines; no šī rameta potzari MPS pl.)	148
Melnalksnis	RJ6/9	plantācija (Olaines)	135
Melnalksnis	RJ6/189	plantācija (Olaines)	177
Melnalksnis	RJ6/241	plantācija (Olaines)	152
Melnalksnis	RJ6/249	plantācija (Olaines)	138

8. Iegūto rezultātu publicēšana

Dalība vienā zinātniskā konferencē, viena zinātniskā raksta publicēšana

Nodrošināta darba uzdevuma izpilde:

- 1) Rezultāti prezentēti:
 - a. “Natural Disturbance Dynamics Analysis for Forest Ecosystem Based Management (FORDISMAN)” seminārā Šķēdē, 11.-13.10. 2017.;
 - b. “IUFRO 125th Anniversary Congress” Freiburg, Vācijā, 17.-23.09.2017.
- 2) Klimata izmaiņu ietekmes pētījuma rezultāti ietverti Silva Fennica publikācijā: Donis J., Kitenberga M., Sņepsts G., Matisons R., Zarins J., Jansons A. (2017) The forest fire regime in Latvia during 1922–2014. Silva Fennica vol. 51 no. 5 article id 7746. Pieejama: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article7746.pdf>

Zinātniskā raksta kopsavilkums

Fire as disturbance of forests has an important ecological and economical role in boreal and hemi-boreal forests. The occurrence of forest fires is both climatically and anthropogenically determined and shifts in fire regimes are expected due to climate change. Although fire histories have been well documented in boreal regions, there is still insufficient information about fire occurrence in the Baltic States. In this study, spatio-temporal patterns and climatic drivers of forest fires were assessed by means of spatial and time-series analysis. The efficiency of Canadian Fire Weather (FWI) indices as indicators for fire activity was tested. The study was based on data from the literature, archives, and the Latvian State Forest service database. During the period 1922–2014, the occurrence and area affected by forest fires has decreased although the total area of forest land has nearly doubled, suggesting improvement of the fire suppression system as well as changes in socioeconomic situation. The geographical distribution of forest fires revealed two pronounced clusters near the largest cities of Riga and Daugavpils, suggesting dominance of human causes of ignitions. The occurrence of fires was mainly influenced by drought. FWI appeared to be efficient in predicting the fire occurrence: 23–34% of fires occurred on days with a high or extremely high fire danger class, which overall had a relative occurrence of only 4.3–4.6%. During the 20th century, the peak of fire activity shifted from May to April, probably due to global warming and socioeconomic reasons. The results of this study are relevant for forest hazard mitigation and development of fire activity prediction system in Latvia.

Tāpat pētījuma rezultāti ietverti zinātniskajā rakstā, kura faktiskā izdošana notikusi 2017. gadā: Krišāns O., Puriņa L., Mesters D., Kāpostiņš R., Rieksts-Riekstiņš J., Jansons Ā. (2016) Intra-annual radial growth of European beech – a case study in north easternmost stand in Europe. Forestry Studies, 65, 34-42.

Zinātniskā raksta kopsavilkums

Fagus sylvatica L. is one of the most important commercial tree species in Europe and its natural distribution range is expected to shift northwards due to climatic changes. Detailed information of factors affecting its growth is crucial as a basis for recommendations of wider

use of this tree species. Aim of the study was to characterize the changes of radial growth intensity of European beech during a vegetation season. In mature beech stand in northwest Latvia two sample trees (dominant (DT) and suppressed (ST)) were selected in Hylocomiosa forest type. Continuous measurements of changes of stem diameter and xylem sap flow as well as meteorological parameters were carried out. Stem cycle approach was applied to distinguish the duration of contraction, expansion and increment of the stem. Onset and cessation of growth of the ST tree was observed several days later compared with DT and mean growth intensity during the entire observation period was considerably lower (0.014 mm/day-1 for ST and 0.022 mm/day-1 for DT, respectively). Most intensive growth increment diurnally was observed in the early morning before sunrise, and seasonally till beginning of July. Positive effect of precipitation and low water pressure deficit (VPD) on growth was observed, while high VPD coincided with stem contraction. Results indicate the sensitivity of radial growth of European beech to water deficit and high atmospheric transpirational demand; therefore, future potential of cultivation of beech in Latvia depends on changes in moisture regime.

9. Izmantotā literatūra

Akaike, H., (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Autom. Control* 19 (6), 716–723.

Allard, G.B., Fortuna, S., See, L.S., Novotny, J., Baldini, A., Courinho, T. (2003). Global information on outbreaks and impact of major forest insect pests and diseases. Paper presented at the XII World Forestry Congress, 2003, Québec City, Canada, bulletin 1019-B3. 3 p.

Anderbrant, O. (1990). Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*, 15 (1): 1-8.

Annala, E. (1977). Seasonal flight patterns of spruce bark beetles. *Annales Entomologici Fennici*, 43 (1): 31-35.

AS “Latvijas valsts meži” valdījumā esošajos mežos bojāto egļu audžu masveida bojājumu iemeslu noskaidrošana un rekomendāciju izstrāde bojāto audžu apsaimniekošanai (2011). Pārskats, LVMI Silava. 145 lpp.

Askew, R.R. (1961). A study of the biology of species of the genus *Mesopolobus* Westwood (Hymenoptera: Pteromalidae) associated with cynipid galls on oak. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, 113: 155-173.

Barbosa, P., Letourneau, D.K., Agrawal, A.A. (2012). *Insect outbreaks revisited*. Blackwell Publishing Ltd. 459 p.

Baur, H., Muller, F.J., Gibson, G.A., Mason P.G., Kuhlmann, U. (2007). A review of the species of *Mesopolobus* (Chalcidoidea: Pteromalidae) associated with *Ceutorhynchus* (Coleoptera: Curculionidae) host-species of European origin. *Bulletin of Entomological Research*, 97: 387–397.

Beaver, R.A. (1966). The biology and immature stages of two species of *Medetera* (Diptera: Dolichopodidae) associated with the bark beetle *Scolytus scolytus* (F.). *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology*, 41 (10-12): 145-154.

Bernays, E.A., Chapman, R.F. (1994). *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects*. Chapman & Hall, New York, 312 p.

Bičevskis, M., Ozols, G. (1983). Egļu astoņzobu mizgrauža bioloģija un sintētiskā feromona lietošana. *Jaunakais Mežsaimniecībā*, 25: 48 –56.

Bombosch, S. (1954). Zur Epidemiologie des Buchdruckers (*Ips typographus* L.). Die Grosse Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland 1944-51. (ed. by Wellenstein). Forstschutzstelle Südwest, Ringingen, Ebner, Ulm, pp.239-283.

Bouchard, M., Kneeshaw, D., Bergeron, Y. (2005). Mortality and stand renewal patterns following the last spruce budworm outbreak in mixed forests of western Quebec. *Forest Ecology and Management*, 204: 297–313.

Buja, K. Menza, C. (2013). *Sampling Design Tool for ArcGIS*. National Oceanic and Atmospheric Administration Biogeography Branch

Cappuccino, N., Lavertu, D., Bergeron, Y., & Régnière, J. (1998). Spruce budworm impact, abundance and parasitism rate in a patchy-landscape. *Oecologia*, 114(2), 236–242. <https://doi.org/10.1007/s004420050441>

Carbonnier, C. (1971). Yield of beech in southern Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 91: 1–89.

Christiansen, E., Bakke, A. (1988). The spruce bark beetle of Eurasia. Dynamics of forest insect populations (ed. by A. A. Berrymann). Plenum, New York, 479-503.

Cieszewski, C., Bailey, R.L. (2000). Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site q with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science* 46: 116–126.

Delvare, G., Gebiola, M., Zeiri, A., Garonna, A.P. (2014). Revision and phylogeny of the European species of the *Eurytoma morio* species group (Hymenoptera: Eurytomidae), parasitoids of bark and wood boring beetles. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 171 (2): 370-421.

Echegaray, E.A., Cloyd, R.A., Nechols, J.R. (2015). Rove Beetle (Coleoptera: Staphylinidae) Predation on *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Diptera: Sciaridae). *Journal of Entomological Science*, 50 (3): 225-237.

Egļu audžu masveida bojājumu cēloņu izziņāšana SIA “Rīgas meži” nosusinātās meža zemēs (2010). Pārskats, LVMI Silava. 78 lpp.

ESRI 2014. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, accessed 25 July 2015.

Faccoli, M., Bernardinelli, I. (2011). Breeding performance of the second generation in some bivoltine populations of *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) in the south-eastern Alps. *Journal of Pest Science*, 84 (1): 15-23.

Feicht, E. (2004). Parasitoids of *Ips typographus* (Col., Scolytidae), their frequency and composition in uncontrolled and controlled infested spruce forest in Bavaria. *Journal of Pest Science*, 77 (3): 165-172.

Fora, C.G., Lauer, K.F., Banu, C., Berar, C. (2011). Researches on insect predators and parasitoids of six-toothed spruce bark beetle *Pityogenes chalcographus* L. (Coleoptera: Scolytidae), his population dynamics, in Natural Park Apuseni-a project presentation. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 15 (3): 61-63.

Forman, R.T.T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10: 133–142.

Georgiev, G.T., Takov, D. (2005). Impact of *Tomicobia seitneri* (Ruschka) (Hymenoptera: Pteromalidae) and *Ropalophorus clavicornis* (Wesmael) (Hymenoptera: Braconidae) on *Ips typographus* (Linnaeus) (Coleoptera: Scolytidae) populations in Bulgaria. *Forest Science*, 4: 61-68.

Graora, D., Spasić, R., Mihajlović, L. (2012). Bionomy of spruce bud scale, *physokermes piceae* (Schrank) (Hemiptera: Coccidae) in the Belgrade area, Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 64(1), 337–343. <https://doi.org/10.2298/ABS1201337G>

Habin, L., Reynolds, J.F. (1994). A Simulation Experiment to Quantify Spatial Heterogeneity in Categorical Maps Author (s): Habin Li and James F. Reynolds Published by: Ecological Society of America A Simulation Experiment To Quantify Spatial Heterogeneity In Categorical Maps ', 75(8), 2446–2455.

Hantsch, L., Bien, S., Radatz, S., Braun, U., Auge, H., Bruelheide, H. (2014). Tree diversity and the role of non-host neighbour tree species in reducing fungal pathogen infestation. *Journal of Ecology*, 102: 1673–1687.

Hantsch, L., Braun, U., Scherer-Lorenzen, M., Bruelheide, H. (2013). Species richness and species identity effects on occurrence of foliar fungal pathogens in a tree diversity experiment. *Ecosphere*, 4(7): 81.

Hooper D.U., Chapin F.S., Ewel J.J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H., Lodge D.M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A.J., Vandermeer J., Wardle D.A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75: 3–35.

Hougaard, E., Grégoire, J.C. (2003). Cleptoparasitism increases the host finding ability of a polyphagous parasitoid species, *Rhopalicus tutela* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55 (2): 184-189.

Hunter, M., (ed) 1999. Maintaining biodiversity in forest ecosystems. Cambridge University Press, New York, New York, USA.

Imre, A.R., J. Bogaert (2006). The Minkowski-Bouligand dimension and the interior-to-edge ratio of habitats, *Fractals* 14: 49–53.

Inouye, M. (1962). Details of bark beetle control in the storm-swept areas in the natural forest of Hokkaido, Japan. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 51: 160-164.

Ye, H. (1998). Life cycle of *Thanasimus Formzcarzus* (Coleoptera: Cleridae) in Southern Norway. *Insect Science*, 5 (1): 55-62.

Jactel H., Brockerhoff E., Duelli P. (2005). A test of the biodiversity stability theory: meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. In: Scherer-Lorenzen M., Körner C., and Schulze E.-D. (eds.). Forest diversity and function – temperate and boreal systems. *Forest diversity and function, temperate and boreal systems, ecological studies* 176: 235–262.

Jactel, H., Goulard, M., Manasiu, P., Goujon, G. (2002). Habitat diversity in forest plantations reduces infestations of the pine stem borer *Dioryctria sylvestrella*. *Journal of Applied Ecology*, 39: 618–628.

Jakaitis, B. (1979). The biology of the seven main species of parasites of the pine and spruce bark-beetles in the Lithuanian SSR. *Acta Entomologica Lituanica*, 4: 141-150.

Jansons, Ā., Baumanis, I. (2005). Growth dynamics of Scots pine geographical provenances in Latvia. *Baltic Forestry*, 11: 29–37.

Jansons, Ā., Matisons, R., Šēnhofa, S., Katrevičs, J., Jansons, J. (2016). High-frequency variation of tree-ring width of some native and alien tree species in Latvia during the period 1965–2009. *Dendrochronologia*, 40: 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.10.003>.

Jansons, Ā. (2010). *Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām*. LVMI “Silava” projekta starpziņojums, 144 lpp.

Kaitaniemi, P., Riihimäki, J., Koricheva, J., Vehviläinen, H. (2007). Experimental evidence for associational resistance against the European pine sawfly in mixed tree stands. *Silva Fennica*, 41(2): 259–268.

Kenis, M., Wermelinger, B., Grégoire, J.C. (2007). Research on parasitoids and predators of Scolytidae—a review. In *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. Springer Netherlands, pp. 237-290.

Kolk, A., Starzyk, J.R. (1996). *Atlas skodliwych owadów lesnych*, Multico Warszawa, 705 str.

Krüger, K., Mills, N.J. (1990). Observations on the biology of three parasitoids of the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Col., Scolytidae): *Coeloides bostrychorum*, *Dendrosoter middendorffii* (Hym., Braconidae) and *Rhopalicus tutela* (Hym., Pteromalidae). *Journal of Applied Entomology*, 110 (1-5): 281-291.

Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., O'Neill, R. V. & Coleman, P. R. 1987. Landscape pattern in a disturbed environment. *Oikos*, 48: 321–324.

Kumar, S., Thomas, S. J. (2006). Spatial Heterogeneity Influences Native and Nonnative Plant Species Richness. *America*, 87(12), 3186–3199. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[3186:SHINAN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[3186:SHINAN]2.0.CO;2)

Kunkel, H. (1997). Scale insect honeydew as forage for honey production. *Soft Scale Insects, their Biology, Natural Enemies and Control, World Crop Pests*, 7 (A), 291–302.

Lawson, S.A., Furuta, K., Katagiri, K. (1996). The effect of host tree on the natural enemy complex of *Ips typographus japonicus* Nijima (Col., Scolytidae) in Hokkaido, Japan. *Journal of Applied Entomology*, 120 (1-5): 77-86.

LGIA (2012). Ortofotokartes, M 1:10 000, 4. cikls. 2012. Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra. Pieejams: http://map.lgia.gov.lv/index.php?lang=0&cPath=4_16&txt_id=49&ap=22.

Lipták, B., Novotný, J., Kozanek, M. (2013). Pathogens, parasitoids and predators of the spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) and their potential use in biological control. *Entomofauna carpathica*, 25(2): 69-82.

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P. (2002). *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. UK, Oxford, Oxford University Press, 308.

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., Wardle, D.A. (2001b). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294: 804–808.

Mandelbrot, B.B. *The Fractal Geometry of Nature*; W.H. Freeman and Company: New York, NY, USA, 486 p. 1983.

Marčiulynas, A. (2016). *Biology and Significance of the Spruce Bud Scale (Physokermes Piceae Schrank.) to Sanitary Condition of Norway Spruce (Picea Abies (L.) H. Karst.) in Lithuania*. Doctoral Thesis.

McDaniel E.I. (1929). Some Common Sucking Insect Pests of Evergreens, *Extension Bulletin No. 76*.

McGarigal, K., States, U., Nrothwest, P., & Technical, G. (1995). B.(1995)–FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. General Technical Report PNW-GTR-351. US ..., (August). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:FRAGSTATS+:+Spatial+Pattern+Analysis+Program+for+Quantifying+Landscape+Structure#2>

Mežsaimniecības pielāgošana klimata izmaiņām (2012). Pārskats, LVMI Silava. 189 lpp.

Miller, A., Rusnock, P. 1993. The rise and fall of the silvicultural hypothesis in spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*) management in eastern Canada. – *For. Ecol. Manage.* 61: 171–189.

Mittelbach, G.G., Steiner, C.F., Scheiner, S.M., Gross, K.L., Reynolds, H.L., Waide, R.B., Willig, M.R., Dodson, S.I., Gough, L. (2001). What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology*, 82: 2381–2396.

Mulock, P., Christiansen, E. (1986). The threshold of successful attacks by *Ips typographus* on *Picea abies*: a field experiment. *Forest Ecology and Management*, 14: 125-132.

Nagel, W.P., Fitzgerald, T.D. (1975). *Medetera aldrichii* larval feeding behavior and prey consumption [Dipt.: Dolichopodidae]. *Entomophaga*, 20 (1): 121-127.

Olsson, P. O., Jönsson, A.M., Eklundh, L. (2012). A new invasive insect in Sweden - *Physokermes inopinatus*: Tracing forest damage with satellite based remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 285, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.08.003>.

- Ozols, G. (1968). Egles stumbra kaitēkļi un to ekoloģiskās grupas Latvijas PSR. *Latvijas Entomologs*. 21: 19-34.
- Ozols, G. (1985). Priedes un egles dendrofāgie kukaiņi Latvijas mežos. Rīga, "Zinātne", 208 lpp.
- Pettersson, E.M. (2001). Volatiles from potential hosts of *Rhopalicus tutela* a bark beetle parasitoid. *Journal of Chemical Ecology*, 27 (11): 2219-2231.
- Pettersson, E.M., Sullivan, B.T., Anderson, P., Berisford, C.W., Birgersson, G. (2000). Odor perception in the bark beetle parasitoid *Roptrocercus xylophagorum* exposed to host associated volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 26 (11): 2507-2525.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., R Core Team, 2017. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models_. R package version 3.1-131, URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Podlesnik, J., Mihajlovic, L., Jurc, M. (2014). Parasitoid complex associated with *Ips typographus* (Coleoptera, Scolyinae) in Altimontane belt of Slovenia (Pohorje). Fourth Slovenian Entomological Symposium with International Attendance, Book of abstracts, DOI: 10.13140/2.1.3546.1765.
- Pollet, M.A., Brooks, S.E. (2008). Long-legged flies (Diptera: Dolichopodidae). In *Encyclopedia of Entomology*. Springer, Netherlands, pp. 2232-2241.
- Pretzsch, H. (2003). Diversity and productivity of forests. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 174: 88–98.
- Price, P.W. (1997). *Insect ecology*, 3rd edition. Wiley-Blackwell Publishing Ltd., 888 p.
- Puriņa L., Matisons R., Jansons Ā., Šēnhofa S. (2016). Survival of European beech in the central part of Latvia 33 years since the plantation. *Silva Fennica* vol. 50 no. 4 article id 1656.
- Quicke, D.L.J. (2015). *The braconid and ichneumonid parasitoid wasps: biology, systematics, evolution and ecology*. Blackwell Publishing Ltd. 704 p.
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Radeloff, V. C., Mladenoff, D. J. 2003. *Landscape Ecology*. In: Young, R. A. & Giese, R. L. (eds.) *Introduction to Forest Science*. 3rd Edition. Wiley, New York.
- Rehfeldt E.E., Tchebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A. (2003). Assessing population responses to climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with climate-transfer models. *Eurasian Journal of Forest Research* 6: 83–98.
- Rendenieks, Z. (2015). Meža nozares rīcības politikas ietekme uz meža ainavu struktūru Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā. Promocijas darba kopsavilkums doktora zinātniskā grāda iegūšanai ģeogrāfijas nozarē reģionālās un vides ģeogrāfijas apakšnozarē. Rīga. 48 lpp.
- Schaich, H., Plieninger, T. (2013). Land ownership drives stand structure and carbon storage of deciduous temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 305, 146–157.
- Schomann, A., Afflerbach, K., Betz, O. (2008). Predatory behaviour of some Central European pselaphine beetles (Coleoptera: Staphylinidae: Pselaphinae) with descriptions of relevant morphological features of their heads. *European Journal of Entomology*, 105: 889-907.
- Setiawan, N. N., Vanhellemont, M., Baeten, L., Dillen, M., & Verheyen, K. (2014). The effects of local neighbourhood diversity on pest and disease damage of trees in a young experimental forest. *Forest Ecology and Management*, 334, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.032>

- Sharma M., Nirmal S., Ter-Mikaelian M., Parton J. (2015). Modeling climatic effects on stand height/site index of plantation-grown Jack pine and black spruce trees. *Forest Science* 61: 25–34.
- Sobek, S., Scherber, C., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T. (2009). Sapling herbivory, invertebrate herbivores and predators across a natural tree diversity gradient in Germany's largest connected deciduous forest. *Oecologia*, 160: 279–288.
- Sullivan, B.T. (2002). Evidence for a sex pheromone in bark beetle parasitoid *Roptrocercus xylophagorum*. *Journal of Chemical Ecology*, 28 (5): 1045-1063.
- Šmits, A. (1999). Meža kaitēkļu dinamikas prognoze. LVMI „Silava”, zinātniski pētnieciskā projekta pārskats, 34 lpp.
- Šmits, A. (2007). Meža kaitēkļu savairošanās un bioloģiskās daudzveidības komponentu attīstības dinamika vētras postītās mežaudzēs. Meža attīstības fonda 2006. gada projekta pārskats. Līguma Nr. S-268, 46 lpp.
- Taeger, S., Zang, C., Liesebach, M., Schneck, V., Menzel, A. (2013). Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management* 307: 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.053>.
- Tērauds, A. (2011). Ainavas struktūras izmaiņu ainavekoloģiska analīze un vērtējums Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā. Promocijas Darbs, Latvijas Universitāte. Apskatīts: http://www.kultura.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/zinas/Terauds_prom_darbs.pdf
- Thalendorst, W. (1958). Grundzüge der Populationsdynamik des grossen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. *Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, 21: 1-126.
- Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., Lehmann, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294: 843–845.
- Tselikh, E.V. (2010). Chalcids of the subfamily Pteromalinae (Hymenoptera, Pteromalidae) as parasitoids of the bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) in the fauna of Russia and adjacent territories. *Entomological Review*, 90 (7): 927-945.
- Turguter, S., Ülgentürk, S. (2006). *Physokermes piceae* (Schrank) (Yumrulu Ladin Koşnili) (Hemiptera: Coccidae) 'nin Biyolojik Özellikleri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12, 44–50.
- Turnbow, R.H., Franklin, R.T. (1979). *Hyalomyodes triangulifera* (Diptera: Tachinidae): a parasite of the southern pine beetle predator *Thanasimus dubius* (Coleoptera: Cleridae). *Journal of the Georgia Entomological Society*, 14: 174-176.
- Valstybinė Miškų Tarnyba - Miško Sanitarinės Apsaugos Skyrius (2010). *Netikrasis Eglinis Skydamaris (Physokermes piceae Schrank.)*, Valstybinė Miškų Tarnyba - Miško Sanitarinės Apsaugos Skyrius.
- Vehviläinen, H., Koricheva, J., Ruohomäki, K., Johansson, T., Valkonen, S. (2006). Effects of tree stand species composition on insect herbivory of silver birch in boreal forests. *Basic and Applied Ecology*, 7(1): 1-11.
- Vilà, M., Vayreda, J., Gracia, C., Ibanez, J.J. (2003). Does tree diversity increase wood production in pine forests? *Oecologia*, 135: 299–303.
- Villard, M. A., Trzcinski, M. K. & Merriam, G. 1999. Fragmentation effects on forest birds: relative influence of woodland cover and configuration on landscape occupancy. *Conservation Biology*, 13: 774–783.
- Wajnberg, E., Bernstein, C., van Alphen, J. (2008). Behavioral ecology of insect parasitoids. From theoretical approaches to field applications. Blackwell Publishing Ltd, 445 p.

Wang Y., Titus S.J., LeMay V.M. (1998) Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 28 (8), pp. 1171-1183.

Wajnberg, E., Colazza, S. (2013). *Chemical ecology of insect parasitoids*. Wiley-Blackwell, 328 p.

Wegensteiner, R., Tkaczuk, C., Kenis, M., Papierok, B. (2017). Occurrence of *Tomicobia seitneri* (Hymenoptera: Pteromalidae) and *Ropalophorus clavicornis* (Hymenoptera: Braconidae) in *Ips typographus* adults (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from Austria, Poland and France. *Biologia*, 72 (7): 807-813.

Wiersum, K.F., Elands, B.H., Hoogstra, M.A. (2005). Small-scale forest ownership across Europe: characteristics and future potential. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy*, 4(1), 1–19.

Winter, B. (2013). Linear models and linear mixed effects models in R with linguistic applications. arXiv:1308.5499. [<http://arxiv.org/pdf/1308.5499.pdf>]

Боголюбов А.С., Кравченко М.В. (2002) Атлас-определитель насекомых - вредителей лесных древесных пород средней полосы России, Экосистема.

Мамаев, Б.М. (1977). Биология насекомых – разрушителей древесины. Всесоюзный институт научной и технической информации. Серия „Итоги науки и техники – энтомология”. Москва. т.3. 213 с.

Pielikums

Tabula 1. Citu taksonomisko grupu kukaiņu vidējā sastopamība vienā mizas paraugā visu uzskaišu laikā, 2016. gadā

Balķis, Npk.	Balķa apzīmējums*	Balķa diametrs, cm	Citi ksilofāgi						Plēsēji				Hymenoptera	
			<i>Hylurgops palliatus</i>			Buprestidae	Cerambicidae		Dolichopodidae		<i>Thanosimus</i> spp.			
			kāpurī	kūniņas	imago	kāpurī	kāpurī	kūniņas	kāpurī	pupārji	kāpurī	imago	kāpurī	kūniņas
1	1.1.	14	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0
2	1.2.	14	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0.2	0	0	0
3	1.4.	14	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0	0.2	0.1	0	0
4	1.6	14.5	0.1	0	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0	0
5	2.1.	15	0.1	0	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0
6	2.4.	15	0.1	0	0	0.2	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0
7	2.6	15.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.4	0.3	0.3	0.1	0	0
8	3.2.	16	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0
9	3.3.	16.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	0.1	0.4	0.3	0.5	0.2	0.1	0
10	3.4.	16.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.3	0.1	0.7	0.5	0.8	0.2	0.1	0
11	4.3.	16.5	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.1	0.7	0.5	0.9	0.1	0.1	0
12	4.6.	17	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.1	0.7	0.5	0.9	0.1	0.1	0
13	4.7.	17	0.8	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.7	0.5	1.1	0.2	0.1	0.1
14	4.9.	18	0.9	0.7	0.7	0.7	0.4	0.2	0.7	0.5	1.2	0.3	0.2	0.2
15	5.2.	18.5	1.2	0.9	0.9	0.7	0.4	0.2	0.7	0.5	1.5	0.4	0.3	0.2
16	5.4.	19	1.1	0.8	0.8	0.7	0.4	0.2	0.7	0.5	1.4	0.4	0.3	0.2
17	5.6.	19.5	1.2	0.9	0.9	0.9	0.6	0.3	0.8	0.6	1.5	0.5	0.3	0.3
18	5.7.	19.5	1.4	1	1.1	0.8	0.5	0.2	0.8	0.6	1.8	0.5	0.3	0.3
19	1.7.	20	1.2	0.9	0.9	1	0.6	0.3	0.8	0.6	1.5	0.5	0.3	0.1
20	1.9.	20	1.2	0.9	0.9	0.9	0.6	0.3	0.9	0.7	1.5	0.6	0.4	0.2
21	1.10.	20.5	1.2	0.9	0.9	1	0.6	0.3	1	0.8	1.5	0.5	0.3	0.2
22	1.11.	21	1.2	0.9	0.9	1.3	0.8	0.4	1	0.8	1.5	0.7	0.4	0.3
23	2.8.	21.5	1.2	0.9	0.9	1.5	0.9	0.5	1.1	0.9	1.5	0.5	0.3	0.3
24	2.9.	22	1.5	1.1	1.2	2	1.3	0.6	1.1	0.9	2	0.7	0.4	0.1
25	2.11.	22	1.4	1	1.1	2.2	1.4	0.7	1.1	0.9	1.8	0.7	0.4	0.2
26	3.6.	23	0.9	0.7	0.7	2.1	1.3	0.6	0.9	0.7	1.2	0.7	0.4	0.4
27	3.8.	23.5	1.1	0.8	0.8	2.4	1.5	1.1	0.8	0.6	1.4	0.7	0.4	0.4
28	3.10.	24	1.2	0.9	0.9	2.3	1.4	0.9	0.9	0.7	1.5	0.8	0.5	0.4
29	4.10.	24	1.4	1	1.1	2.4	1.5	0.9	1.2	1	1.8	0.7	0.4	0.4
30	4.12.	24.5	1.5	1.1	1.2	2.5	1.6	1	1.2	1	2	0.8	0.5	0.4
31	4.14.	25	1.2	0.9	0.9	2.4	1.5	1.1	1.2	1	1.5	0.8	0.5	0.4
32	4.15.	25.5	1.2	0.9	0.9	2.5	1.6	1.5	1.2	1	1.5	0.8	0.5	0.4
33	5.8.	25.5	1.4	1	1.1	2.6	1.6	1.1	1.2	1	1.8	0.8	0.5	0.4
34	5.10.	26	1.3	1	1	2.5	1.6	1.2	1.2	1	1.7	0.8	0.5	0.4
35	5.11.	26	1.7	1.2	1.3	2.7	1.7	0.8	1.3	1	2.1	0.9	0.6	0.5
36	5.13.	26	1.5	1.1	1.2	3.3	2.1	1	1.3	1	2	0.8	0.5	0.4
37	1.13.	26.5	1.4	1	1.1	3.1	1.9	0.9	1.4	1.1	1.8	0.8	0.5	0.4
38	1.15.	27	1.7	1.2	1.3	3.7	2.3	1.1	1.4	1.1	2.1	1	0.6	0.5
39	1.18.	27	1.5	1.1	1.2	2.9	1.8	0.9	1.4	1.1	2	0.9	0.6	0.5
40	2.14.	27	2.2	1.7	1.7	3.1	1.9	0.9	1.4	1.1	2.9	0.9	0.6	0.5
41	2.16.	27.5	2.4	1.7	1.8	3.4	2.1	2	1.4	1.1	3	0.9	0.6	0.5
42	2.18.	27.5	2.5	1.8	1.9	3.7	2.3	1.1	1.4	1.1	3.2	1	0.6	0.5
43	2.21.	28	2.8	2.1	2.2	3.8	2	1.5	1.4	1.1	3.6	1	0.6	0.5
44	3.12.	28	3.5	2.6	2.7	3.7	2.3	1.1	1.5	1.2	4.5	1	0.6	0.5
45	3.15.	29	3.8	2.8	2.9	4	2.5	1.2	1.5	1.2	4.8	1.3	0.8	0.7
46	3.17.	30	3.8	2.8	2.9	3.9	2.4	1.2	1.5	1.2	4.8	1.2	0.8	0.6
47	3.20.	30.5	3.7	2.7	2.8	3.9	2.4	1.2	1.5	1.2	4.7	1.1	0.7	0.6
48	4.17.	30.5	4	3	3.1	3.9	2.4	1.2	1.5	1.2	5.1	1.2	0.8	0.6
49	4.20.	31	3.9	2.9	3	3.8	2.4	1.1	1.5	1.2	5	1.2	0.8	0.6
50	4.23.	31.5	3.4	2.5	2.7	3.2	2	3	1.5	1.2	4.4	1.3	0.8	0.7
51	4.24.	31.5	3.5	2.6	2.7	3.7	2.3	1.1	1.6	1.3	4.5	1.3	0.8	0.7
52	5.15.	32	3.9	2.9	3	3.6	2.3	1.1	1.7	1.4	5	1.3	0.8	0.7
53	5.19.	32	4	3	3.1	3.3	2.1	1	1.3	1	5.1	1.4	0.9	0.7
54	5.23.	32.5	3.9	2.9	3	3.4	2.1	1	1.5	1.2	5	1.4	0.9	0.7

* Pirmais cipars apzīmē koku, otrais – tā nogriezni. Vērtības pieaug virzienā no galotnes uz stumbra pamatnes pusi.

Tabula 2. Citu taksonomisko grupu kukaiņu vidējā sastopamība vienā mizas paraugā visu uzskaišu laikā, 2017. gadā

Balķis, Npk.	Balķa apzīmējums*	Balķa diametrs, cm	Citi ksilofāgi							Plēsēji				Hymenoptera	
			<i>Hylurgops palliatus</i>			Buprestidae	Cerambicidae		Dolichopodidae		<i>Thanasimus</i> spp.	Staphilinidae			
			kāpuri	kūniņas	imago	kāpuri	kāpuri	kūniņas	kāpuri	pupāriji	kāpuri	imago	kāpuri	kūniņas	
1	1.3.	14	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.3	0	0	0
2	1.4.	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0
3	1.5.	14	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.3	0.1	0	0
4	1.7.	14.5	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.5	0	0	0
5	2.2.	15	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0.6	0.1	0	0
6	2.4.	15	0.1	0	0.1	0	0	0	0.3	0.2	0.4	0	0.1	0	0
7	2.5.	15.5	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0	0	0
8	3.1.	16	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.7	0.1	0.1	0	0
9	3.3.	16.5	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0	0.4	0.3	0.8	0.1	0	0	0
10	3.5.	16.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7	0.4	0.9	0.1	0.1	0	0
11	4.3.	16.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.6	0.4	1.1	0.1	0.1	0	0
12	4.4.	17	0.5	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.6	0.5	1.3	0.1	0	0	0
13	4.7.	17	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3	0.1	0.7	0.4	1.4	0.2	0.1	0.1	0.1
14	4.8.	18	0.7	0.6	0.7	0.5	0.4	0.1	0.6	0.5	1.4	0.2	0.1	0	0
15	5.1.	18.5	0.9	0.9	0.6	0.7	0.3	0.1	0.7	0.4	1.5	0.2	0.1	0.1	0.1
16	5.4.	19	1.1	0.8	0.7	0.6	0.4	0	0.7	0.5	2	0.3	0.1	0.1	0.1
17	5.5.	19.5	1.1	0.9	0.9	0.8	0.5	0.2	0.6	0.6	1.6	0.3	0.1	0.3	0.3
18	5.6.	19.5	1.4	0.7	0.8	0.7	0.6	0.2	0.8	0.5	1.8	0.3	0.2	0.3	0.3
19	1.8.	20	1.2	0.9	0.9	0.9	0.6	0.3	0.8	0.6	1.6	0.3	0.2	0.3	0.3
20	1.9.	20	1.3	1	0.9	0.8	0.7	0.2	0.9	0.7	2	0.4	0.3	0.2	0.2
21	1.10.	20.5	1.2	0.9	1	0.9	0.6	0.3	0.9	0.8	2.4	0.5	0.2	0.4	0.4
22	1.12.	21	1.4	0.8	0.9	1.1	0.8	0.4	0.9	0.7	2	0.4	0.3	0.4	0.4
23	2.7.	21.5	1.3	1	1.1	1	0.7	0.3	1	0.7	2	0.5	0.3	0.3	0.3
24	2.8.	22	1.4	1.1	1.2	1.7	1.2	0.6	1	0.8	1.8	0.7	0.4	0.3	0.3
25	2.9.	22	1.4	1.2	1.1	2	1.1	0.5	1.1	0.7	1.8	0.8	0.3	0.4	0.4
26	3.6.	23	1.3	0.7	1	2	1.3	0.6	0.9	1.8	2	0.8	0.3	0.4	0.4
27	3.7.	23.5	1.1	0.8	0.9	2.1	1.3	0.5	0.8	1	2	0.9	0.3	0.5	0.5
28	3.9.	24	1.2	1	1	2	1.4	0.8	0.8	1	1.5	0.8	0.5	0.4	0.4
29	4.9.	24	1.4	1.3	1.1	2.2	1.5	0.9	1	1.1	1.8	0.9	0.4	0.5	0.5
30	4.10.	24.5	1.4	1.1	1.2	2.4	1.6	1	0.9	1.2	2	1	0.4	0.4	0.4
31	4.12.	25	1.2	0.9	1	2.2	1.5	1.1	1.1	1.2	1.5	1.1	0.5	0.4	0.4
32	4.13.	25.5	1.2	1.1	1.3	2.4	1.7	1.2	1.1	1.3	1.5	1	0.4	0.4	0.4
33	5.7.	25.5	1.3	1	1.1	2.6	1.6	1	1.2	1.3	1.8	0.8	0.4	0.6	0.6
34	5.9.	26	1.3	1.3	1.2	2.5	1.8	1.2	1.2	1.3	1.7	1	0.5	0.4	0.4
35	5.10.	26	1.5	1.2	1.3	2.9	2	0.8	1.4	1.4	2.1	1.1	0.6	0.5	0.5
36	1.13.	26	1.5	1.1	1.4	3	2.2	0.9	1.3	1.4	2	1.1	0.4	0.6	0.6
37	1.14.	26.5	1.4	1.3	1.5	3.1	2.1	0.9	1.4	1.3	1.8	1.2	0.5	0.5	0.5
38	1.15.	27	1.6	1.2	1.4	3.1	2.3	1.1	1.3	1.3	2.1	1.3	0.5	0.5	0.5
39	1.16.	27	1.5	1.1	1.6	4	2.3	0.9	1.4	1.4	2	1.3	0.5	0.6	0.6
40	2.14.	27	1.8	1.8	1.7	3.2	2.4	1.4	1.4	1.4	2.7	1.4	0.5	0.6	0.6
41	2.15.	27.5	2.4	1.7	1.8	3.6	2.1	1.3	1.4	1.4	3	1.3	0.5	0.7	0.7
42	2.16.	27.5	2.5	2	1.8	3.7	2.3	1.1	1.5	1.6	3.2	1.4	0.5	0.6	0.6
43	3.10.	28	2.8	2.4	2	3.8	2.4	1.5	1.4	1.5	3.5	1.3	0.6	0.6	0.6
44	3.11.	28	3.5	2.7	2.3	3.8	2.3	1.6	1.5	1.6	4.5	1.4	0.5	0.8	0.8
45	3.13.	29	3.8	3	2.5	4	2.5	1.2	1.6	1.6	5	1.4	0.7	0.9	0.9
46	3.16.	30	3.7	2.8	2.4	3.9	2.4	1.2	1.5	1.5	4.7	1.4	0.8	0.6	0.6
47	4.17.	30.5	3.7	2.7	2.7	4.1	2.6	1.7	1.6	1.6	4.5	1.4	0.7	0.7	0.7
48	4.18.	30.5	4	3	2.8	3.9	2.4	1.2	1.7	1.5	4.9	1.5	0.8	0.7	0.7
49	4.21.	31	3.9	3.1	2.7	3.8	2.6	1.8	1.6	1.7	5	1.5	1	0.8	0.8
50	4.22.	31.5	4	3	2.7	4	2.4	3	1.8	1.7	4.4	1.6	0.8	0.7	0.7
51	5.13.	31.5	3.7	3.2	2.7	3.7	2.3	2.1	1.6	1.7	4.5	1.6	0.8	0.9	0.9
52	5.15.	32	3.9	2.9	2.8	3.7	2.3	1.1	1.7	1.6	4.8	1.5	0.8	0.8	0.8
53	5.16.	32	3.8	3.4	2.7	3.8	2.2	1	1.8	1.7	5	1.4	1	0.9	0.9
54	5.18.	32.5	3.9	3.6	2.7	4.1	2.1	1	1.7	1.8	5.3	1.6	0.9	0.8	0.8

* Pirmais cipars apzīmē koku, otrais – tā nogriezni. Vērtības pieaug virzienā no galotnes uz stumbra pamatnes pusi.