



PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMA 2021. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: Sakņu trapes bojājumu risku mazināšana
un tās ietekmes izpēte

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS: Akciju sabiedrība „Latvijas valsts meži”
Līguma Nr. 5-5.9.1_007q_101_21_79

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS
VADĪTĀJS: Dr. silv. Tālis Gaitnieks, LVMI Silava vadošais pētnieks

Salaspils, 2021

SATURS

TABULU SARAKSTS	4
ATTĒLU SARAKSTS	5
KOPSAVILKUMS	7
SUMMARY	8
IEVADS	9
1. SAKŅU TRUPES IZPLATĪBA SKUJU KOKU AUDZĒS	12
1.1. Sakņu piepes sastopamība vidēja vecuma priedes audzēs	12
1.1.1. Materiāli un metodes.....	12
1.1.2. Rezultāti	14
1.1.3. Secinājumi.....	15
1.2. Sakņu piepes attīstības dinamika priedes jaunaudzēs	16
1.2.1. Materiāli un metodes.....	16
1.2.2. Rezultāti	18
1.2.3. Secinājumi.....	20
1.3. <i>Armillaria</i> spp. sugu sastopamība egļu audzēs mežos ar kūdras un minerālaugsnēm	20
1.3.1. Materiāli un metodes.....	21
1.3.2. Rezultāti	25
1.3.3. Secinājumi.....	28
1.4. Augsnes apstrādes ietekme uz trupi izraisīto sēņu sastopamību	29
1.4.1. Materiāli un metodes.....	29
1.4.1. Rezultāti	29
1.5. <i>Heterobasidion</i> micēlija saglabāšanās inficētos egles koksnes sakņu fragmentos, stādu inficēšanās no trupējušiem sakņu fragmentiem	30
1.5.1 Materiāli un metodes.....	30
1.5.2. Rezultāti	31
1.5.3. Secinājumi.....	31
1.6. Stādījumu monitorings celmu izstrādes parauglaukumos	31
1.6.1. Materiāli un metodes.....	31
1.6.2. Rezultāti un to analīze.....	32
1.7. <i>Heterobasidion</i> augļķermeņu attīstības monitorings trupējušā egles koksnē	32
1.7.1. Materiāls un metodika.....	33
1.7.2. Rezultāti	34
1.7.3. Secinājumi.....	35
1.8. Sēņu un bezmugurkaulnieku daudzveidība trupējušā egles koksnē	35
1.8.1. Materiāli un metodes.....	36
1.8.2. Rezultāti	36
1.8.3. Secinājumi.....	37
1.9. Sagatavota zinātniskā publikācija	37
2. ALTERNATĪVA CELMU APSTRĀDES PREPARĀTA IZSTRĀDE LĪDZ ŠIM PIELIETOTAJAM ROTSTOP, TĀ EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS	39
2.1. Somijā ražotā preparāta Rotstop efektivitātes monitorings un vietējo <i>P. gigantea</i> izolātu pārbaude	39
2.1.1. Lauka darbu metodika <i>P. gigantea</i> izolātu augšanas ātruma novērtēšanai.....	39
2.1.2. Rezultāti	40
2.1.3. Secinājumi.....	41
2.2. Celmus kolonizējošo sēņu izmantošanas potenciāls bioloģisko preparātu efektivitātes uzlabošanā	42
2.2.1. Materiāli un metodes.....	42

2.2.2. Rezultāti un to analīze	46
2.2.3. Secinājumi	50
2.3. Izstrādāt alternatīvu preparātu Somijā ražotajam līdzeklim Rotstop.....	51
2.3.1. Materiāli un metodes	51
2.3.2. Rezultāti	51
3. SAKŅU TRUPI IZRAISOŠO SĒŅU POPULĀCIJU STRUKTŪRA UN DINAMIKA ILGTSPĒJĪGAS MEŽSAIMNIECĪBAS PRAKSĒ PERSPEKTĪVO INTRODUCĒTO KOKU SUGU MEŽAUDZĒS	53
3.1. Informācija par Latvijā introducēto koku sugu rezistenci pret sakņu piepes un celmenes bojājumiem	53
3.2. Sakņu trupes izplatīšanās ātrums perspektīvākajām introducēto koku sugām	57
3.2.1. Materiāli un metodes	58
3.2.2. Rezultāti	58
4. REKOMENDĀCIJAS SAKŅU PIEPES IZRAISĪTO ZAUDĒJUMU SAMAZINĀŠANAI	59
4.1. <i>P. gigantea</i> attīstība trupējušā priedes koksnē	59
4.1.1. Materiāli un metodes	59
4.1.2. Rezultāti	61
4.1.3. Secinājumi	64
4.2. Bioloģisko un ķīmisko preparātu efektivitāte un ietekme uz koksni kolonizējošām sēnēm	64
4.2.1. Materiāli un metodes	64
4.2.2. Rezultāti	66
4.2.3. Secinājumi	67
4.3. Veikt <i>P. gigantea</i> augļķermeņu attīstību ietekmējošo faktoru izvērtēšanu un sporu izdalīšanās potenciāla novērtēšanu.....	67
4.3.1. Materiāli un metodes	68
4.3.2. Rezultāti	71
4.3.3. Secinājumi	78
4.4. Priežu provenienču/ ģimeņu rezistenteces pārbaude priedes audzēs	79
4.4.1. Materiāli un metodes	79
4.4.2. Rezultāti	80
4.4.3. Secinājumi	81
4.5. Koksnes endofītu loma skuju koku rezistencē pret sakņu trupi izraisošām sēnēm.....	81
4.5.1. Materiāli un metodes	81
4.5.2. Rezultāti un to analīze	82
BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS	86

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula. Pētījumā izmantotie praimerī.....	14
1.2. tabula. Ilgtermiņa parauglāukumu raksturojums un kopējais kaltsušo un inficēto koku skaits	18
1.3. tabula. Pētījumā izmantoto audžu raksturojums.....	24
1.4. tabula. Paraugu skaits ar/ bez rizomorfām analizētajos parauglāukumos	25
1.5. tabula. Rizomorfu parametru vidējās vērtības (\pm standartnovirze) katrā parauglāukumā.....	27
1.6. tabula. Kaltsušo koku skaits skuju koku audzēs	29
1.7. tabula. Ievāktu skuju koku stādu un sakņu fragmentu raksturojums.....	31
1.8. tabula. Pētījumu objektu raksturojums	32
1.9. tabula. Atlasīto objektu raksturojums	33
1.10. tabula. Konstatētas sēņu sugas	35
2.1. tabula. Pētījumā izmantoto sēņu izolātu apraksts	43
2.2. tabula. Nepieciešamais suspensijas daudzums uz 1000 mL.....	44
2.3. tabula. Egles koksni kolonizējošo bazīdijsēņu micēlija augšanas ātrums un antagonisms pret <i>Heterobasidion</i> spp.	47
2.4. tabula. Dažādu sēņu augšana atšķirīgos substrātos	52
3.1. tabula. Apkopotā informācija par skuju un lapu koku uzņēmību pret sakņu piepi	56
3.2. tabula. Apsekoto un turpmāk pētījumos izmantojamo Klinškalnu priedes un lapegļu audžu raksturojums.....	58
4.1. tabula. Eksperimentā izmantoto mežaudžu raksturojums	59
4.2. tabula. <i>Heterobasidion</i> un <i>P. gigantea</i> attīstība priedes celmos.....	61
4.3. tabula. <i>Heterobasidion</i> un <i>P. gigantea</i> attīstība trupējušu priedes celmu saknēs	63
4.4. tabula. Analizēto audžu raksturojums	65
4.5. tabula. Analizētie paraugi	65
4.6. tabula. Parauglāukumu raksturojums	70
4.7. tabula. <i>P. gigantea</i> sporulācijas un sastopamības gradienta novērtējums (sporu skaits uz m ² stundas laikā).....	72
4.8. tabula. Priedes ripu skaits un proporcija (%) dalījumā pa parauglāukumiem, kur konstatētas <i>P. gigantea</i> un <i>Heterobasidion</i> spp.....	76
4.9. tabula. 2021. gadā analizēto parastās priedes provenienču un ģimeņu stādījumu raksturojums	79
4.10. tabula. Pētījumā izmantoto sēņu izolātu apraksts	82
4.11. tabula. Egļu koksnes endofītu antagonisms pret <i>Heterobasidion</i> spp.....	83

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att. <i>Heterobasidion</i> spp. micēlijs uz koksnes parauga 20x palielinājumā.....	13
1.2. att. <i>H. annosum</i> izolāta (X) piederība <i>H. annosum</i> s.s. – abu izolātu micēliji ir saauguši	13
1.3. att. <i>H. annosum</i> izolāts (X) nepieder <i>H. parviporum</i> (S) – starp micēlijiem veidojas demarkācijas līnija.....	13
1.4. att. <i>H. annosum</i> sprādze (200x palielinājums)	14
1.5. att. <i>P. sylvestris</i> vidēja vecuma audzes.....	15
1.6. att. Ilgtermiņa parauglūkumu izvietojums.....	17
1.7. att. Infekcijas centra shematisks attēlojums Vecumnieku iecirknī. Sarkani aplī – 2021. gadā inficēti koki, melni - kaltuši, zaļi – augoši koki.....	19
1.8. att. Kuldīgas parauglūkuma shematisks attēlojums.....	20
1.9. att. Atlasītās un apsekotās egļu audzes.....	22
1.10. att. Ilgtermiņa parauglūkumi K1 un PL.....	23
1.11. att. Ieskenētās rizomorfas no PL parauglūkuma, otrā parauga, kas ievākts koka tuvumā.....	26
1.12. att. Ieskenētās rizomorfas no PL parauglūkuma, piektā parauga, kas ievākts uz transektes	26
1.13. att. Parametru atšķirības būtiskums starp parauglūkumiem. Atšķirīgi burti nozīmē, ka starp paraugkopām ir būtiskas atšķirības.....	27
1.14. att. Infekcijas centrs parauglūkumā K1 (ar lenti norobežoti vienā genotipā iekļautie koki/celmi).....	28
1.15. att. Uz pievešanas ceļa ierīkoto parauglūkumu shematisks attēlojums	34
1.16. att. Konstatēto sēņu sugu skaits dalījumā pa gadiem	37
1.17. att. Publikācija žurnālā <i>Forests</i>	38
1.18. att. Manuskripts žurnālā <i>Canadian Journal of Forest Research</i>	38
1.19. att. Publikācijas manuskripts žurnālā <i>Trees</i>	38
2.1. att. <i>P. gigantea</i> izolātu augšanas ātrums un aizņemtais laukums egles koksne	40
2.2. att. <i>P. gigantea</i> izolātu augšanas ātrums un aizņemtais laukums priedes koksne	41
2.3. att. Egles ripas 10 dienas pēc inkubācijas.....	45
2.4. att. Priedes ripas 10 dienas pēc inkubācijas.....	45
2.5. att. <i>H. annosum</i> konidijnesēji	46
2.6. att. <i>P. gigantea</i> micēlijs	46
2.7. att. <i>Bjerkandera adusta</i> izolāta (BAB25) antagonisms pret <i>Heterobasidion annosum</i> s.s.(HAZ)	48
2.8. att. <i>Bjerkandera adusta</i> izolāta BAB25 antagonisms pret <i>Heterobasidion parviporum</i> (HPO)	48
2.9. att. <i>Hypholoma fasciculare</i> izolāta SR71 antagonisms pret <i>Heterobasidion parviporum</i> (HP)	48
2.10. att. <i>Resinicium bicolor</i> izolāta SR26B antagonisms pret <i>Heterobasidion annosum</i> (HA)	48
2.11. att. Relatīvais <i>Heterobasidion</i> sp. aizņemtais laukums (%) egles blukīšos 3 un 9 cm dziļumā	49
2.12. att. Relatīvais analizēto sēņu aizņemtais laukums (%) egles blukīšos 18 cm dziļumā ...	50
3.1. att. Slimības izplatības shematisks attēlojums. Attēls no Otrosina 1989.	54
4.1. att. Eksperimenta ierīkošanas dizains.....	60
4.2. att. Paraugu ievākšanas vietas no celma sakņu sistēmas (norāde ar bultu) – (a) un <i>P. gigantea</i> (zila krāsa) un <i>Heterobasidion</i> (sarkana krāsa) ieaugšanas dziļums celma A3 saknēs (b).....	62
4.3. att. Audžu atrašanās vieta	65

4.4. att. Ar sakņu piepi inficēto celmu daudzums 2018. gadā.....	66
4.5. att. Izgāzta egles ar <i>P. gigantea</i> augļķermeni PG1 (bulta), kas izmantots, analizējot sporulācijas gradientu.....	68
4.6. att. Sporu uzskaites un <i>P. gigantea</i> infekcijas novērtējums tieši zem augļķermeņa (a), 1m attālumā A virzienā (b), 5m attālumā A virzienā (c) un 10m attālumā R virzienā no augļķermeņa(d).....	69
4.7. att. Ripu izvietojuma shēma katrā parauglaukumā. Sarkanie punkti – ripu izvietojums ..	70
4.8. att. Priedes blukšņu inkubācija audzē 3P (ar bultu norādīti eksponētie blukšņi).....	71
4.9. att. <i>P. gigantea</i> sporulācijas intensitāte (sporas m ² /h) tieši zem augļķermeņa.....	73
4.10. att. Lielās pergamentsēnes augļķermenis PG1 (V); blakus izvedojies jaunāks augļķermenis (J)	73
4.11. att. <i>P. gigantea</i> attīstība (oranžais krāsojums – norādīts ar bultu) priedes (P) un egles (E) ripās rietumu virzienā 5 m attālumā no augļķermeņa.....	74
4.12. att. <i>P. gigantea</i> sporulācijas gradients laikā no 10. līdz 20. novembrim priedes (a) un egles (b) ripās austrumu (A) un rietumu(R) virzienos.....	75
4.13. att. Lielās pergamentsēnes (P.g. - zaļš marķējums) un sakņu piepes (H. a.- sarkani punkti) dabiskās infekcijas salīdzinājums parauglaukumā 3 P (3) un 5 P (5).....	76
4.14. att. <i>P. gigantea</i> un <i>Heterobasidion</i> aizņemtais laukums (%) no ripas laukuma.....	77
4.15. att. <i>P. gigantea</i> (zilā krāsā) un <i>Heterobasidion</i> (sarkanā krāsā) aizņemtais laukums priedes un egles blukšņos 3 cm un 9 cm dziļumā	78
4.16. att. <i>Heterobasidion annosum</i> infekcijas centru izvietojums.....	80
4.17. att. <i>Epicoccum nigrum</i> (EN) antagonisms pret <i>Heterobasidion parviporum</i> (HP)	84
4.18. att. <i>Pyrenophora dematioidea</i> (E128) antagonisms pret <i>Heterobasidion parviporum</i> (HP)	84
4.19. att. <i>Helotiales</i> sp. K35 antagonisms pret <i>Heterobasidion parviporum</i> (HP).....	84
4.20. att. <i>Heterobasidion parviporum</i> (HP) micēlijs uzauga virsū <i>Aequalibiella effusa</i> (K21) micēlijam	84
4.21. att. Stumbra vēža pazīmes pēc inokulācijas ar <i>N. fuckeliana</i>	84

KOPSAVILKUMS

Pētījumā noskaidrots, ka sakņu piepe (*Heterobasidion* spp.) sastopama 40 % analizēto vidēja vecuma parastās priedes audžu. Analizējot sakņu piepes micēlija attīstību priedes celmos, secināts, ka sēnes micēlijs 10 mēnešu laikā saknēs var ieaugt līdz pat 80 cm dziļumam, un jaunās priedes ar sakņu piepi inficējas 3-4 gadus pēc stādīšanas. Celmu augstums ietekmē patogēna micēlija saglabāšanos priedes celmos ($\varnothing \sim 12$ cm): 15 cm augstajos celmos ar sakņu piepi bija inficēti 73% sakņu, bet 50 cm augstajos – 40% sakņu.

Četrus gadus pēc inficētu egļu sakņu fragmentu iestrādes augsnē, dzīvotspējīgs sakņu piepes micēlijs tika izdalīts no 28% analizēto sakņu, tajā skaitā maza tilpuma (~ 50 cm³), sakņu fragmentu. Analizējot sēņu daudzveidību uz egles koksnes mežistrādes atliekām, retas un aizsargājamās sēņu sugas netika atrastas. Retas – aizsargājamās sēņu sugas netika konstatētas arī veicot mazu dimensiju ($\varnothing < 10$ cm) trupējušās egles koksnes atlieku monitoringu, kas uzsākts 2014. gadā.

Iegūtie dati liecina, ka otra nozīmīgākā trupi izraisošā sēne – celmene (*Armillaria* spp.), līdzīgi ka *Heterobasidion*, ir plaši izplatīta egļu audzēs. Turpmākajiem pētījumiem ierīkoti 5 ilgtermiņa parauglaukumi egļu audzēs ar kūdras augsnēm. Lai ierobežotu sakņu piepes primāro izplatību ar sporām, izmantojot Latvijas izcelsmes sēņu izolātus, pārbaudītas 20 lielās pergamentsēnes izolātu īpašības - augšanas ātrums un aizņemtais laukums koksnē. Secināts, ka lielākā daļa analizēto izolātu uzrāda augstākas vai līdzīgas micēlija attīstību raksturojošās vērtības, salīdzinājumā ar Rotstop. Latvijas izcelsmes izolāti labāk attīstās egles koksnē. Laboratorijas un lauka eksperimentos, pārbaudot četru citu celmus kolonizējošo sēņu sugu ietekmi uz sakņu piepi, konstatēts, ka *Hypholoma fasciculare* jauktā suspensijā ar *P. gigantea* veicina lielās pergamentsēnes attīstību. Novērtējot pret sakņu piepi antagonistiskās sēnes *P. gigantea* sporu izdalīšanās intensitāti, secināts, ka *P. gigantea* aktīvi sporulē arī zemā gaisa temperatūrā (2 - 8 °C) un izdalīto sporu daudzums novembra – decembra mēnešos ir lielāks salīdzinājumā ar *Heterobasidion*. Lielā pergamentsēne labāk kolonizē priedes koksni – micēlijam aizņemot vairāk par 7 % no ripas laukuma, sakņu piepes attīstība netika konstatēta; attīstoties dziļāk koksnē, lielās pergamentsēnes micēlijs ierobežo sakņu piepes attīstību.

SUMMARY

In performed studies we found that *Heterobasidion* root rot incidence in analyzed middle-aged *Pinus sylvestris* stands compose 40%. Analyzing the development of *Heterobasidion* mycelium in pine stumps it was concluded that the mycelium of the fungus can grow up to a depth of 80 cm in the roots during time period of 10 months and young pines become infected through root contacts in 3-4 years after planting. Stump height affects the survival of the pathogen mycelium in pine stumps (stump diameter - approximately 12 cm): in 15 cm high stumps 73% of all roots were infected with *Heterobasidion* while in 50 cm high stumps 50% of all roots were infected.

Four years after the burial of *Heterobasidion*-infected spruce root fragments into the soil, viable *Heterobasidion* mycelium was isolated from the 28% of analyzed root fragments, including small volume roots (~ 50 cm³). Rare and protected fungal species were not found on spruce logging sites. Rare and protected fungal species were also not detected during the monitoring of small diameter (less than 10 cm) rotten spruce wood residues, which was started in 2014.

The obtained data show that the second most important fungal pathogen, causing root rot is *Armillaria* sp., which similarly to *Heterobasidion*, is widespread in forest stands in Latvia. For further research, 5 long-term sample plots were established in spruce stands on peat soils. In order to limit the *Heterobasidion* primary spread by spores, the properties of 20 *Phlebiopsis gigantea* isolates of Latvian origin (growth rate and occupied area in wood) were tested. It was concluded that most of the analyzed isolates show higher or similar values characterizing the development of mycelium compared to Rotstop. Isolates of Latvian origin showed better colonization ability of spruce wood. Laboratory and field experiments examining the effects of four other fungal species colonizing the stumps on *Heterobasidion* root rot have shown that *Hypholoma fasciculare* in mixed suspension with *P. gigantea* promotes the development of *P. gigantea*. Assessing the intensity of spore release of *P. gigantea*, an antagonist of root rot, it is concluded that *P. gigantea* actively sporulates at low air temperature (2 – 8 °C) and the number of spores released in November - December is higher than of *Heterobasidion*. The *P. gigantea* colonizes pine wood better - when the mycelium occupied more than 7% of the wood disc area, the development of root rot was not observed. Growing deeper in the wood, the mycelium of *P. gigantea* limits the development of *Heterobasidion* root rot.

IEVADS

Sakņu piepes *Heterobasidion annosum* sastopamība ir cieši saistīta ar mežsaimniecības intensitāti. Mežizstrāde, īpaši siltajā gadalaikā, veicina sēnes primāro izplatību ar sporām, savukārt patogēna sekundāro izplatību ar micēliju sekmē meža atjaunošana inficētās platībās, jo trupējušos celmos dzīvotspējīgs *Heterobasidion* micēlijs saglabājas 30-40 gadus (Zaluma 2019; Gaitnieks et al. 2021). Zviedrijas dienvidu daļā egļu audzēs trupējušo koku īpatsvars sastāda 30-47% (Rönnerberg et al., 2013). Egļu audzēs Lietuvā un Latvijā ir trupējuši 22-28% koku (Vasiliauskas et al., 2002; Arhipova et al., 2011). Noskaidrots, ka Latvijā valstij piederošajos mežos 40-120 gadus vecās egļu audzēs trupējušās koksnes daudzums ir 19,7 līdz 91,8 m³/ha (Arhipova et al., 2011).

Sakņu trupi izraisa galvenokārt sakņu piepe. Somijā veiktos pētījumos noskaidrots, ka trupējušās eglēs 80 % gadījumu primārais trapes izraisītājs bija sakņu piepe *H. annosum* s.s. un *H. parviporum*, 10 % gadījumu celmene *Armillaria* spp., 5 % - asinssarkanā sīkpiepe *Stereum sanguinolentum* un 5 % citas bazīdijsēnes (Piri et al., 1990). Tātad, *Armillaria* līdzīgi kā *Heterobasidion* var izraisīt ievērojamus mežsaimnieciskos zaudējumus (Show III, Kile 1991). Turklāt atsevišķos gadījumos egļu audzēs *Armillaria* īpatsvars var būtiski pārsniegt *Heterobasidion* īpatsvaru (Burņeviča et al., 2021). Latvijā līdz šim ir veikts tikai viens pētījums, novērtējot celmenes rizomorfu sastopamību egļu audzēs (Buša, 2020). Ir veikti pētījumi par *Heterobasidion* sastopamību kūdras augsnēs (Gaitnieks et al., 2016; 2021), bet mums zināmajā literatūrā nav informācijas par *Armillaria* sastopamību kūdras augsnēs.

LVMI Silava ir veikti apjomīgi pētījumi (Arhipova et al. 2011), lai novērtētu sakņu piepes sastopamību akciju sabiedrības “Latvijas valsts meži” (turpmāk – LVM) apsaimniekotajās egļu audzēs. Tomēr dati par sakņu piepes sastopamību priedes audzēs ir nepietiekami, bet mežsaimnieciskie zaudējumi Baltijas valstīs nav novērtēti. Tādēļ uzsākti pētījumi, lai novērtētu sakņu piepes izplatību vidēja vecuma priedes audzēs un analizētu sakņu piepes attīstības dinamiku priedes jaunaudzēs un vidēja vecuma audzēs, kā arī pārbaudītu dažādu provenienču rezistenci pret sakņu piepi.

Skuju koku celmu primāro infekciju ar *Heterobasidion* sporām var samazināt, veicot celmu virsmas aizsardzību ar augu aizsardzības līdzekļiem, kas LVM tiek veikta krājas kopšanas cirtēs (Kenigsvalde et al., 2011). Savukārt attiecībā par celmu apstrādes lietderību audzēs, kur konstatēti jau trupējuši koki, dažādu autoru viedokļi ir atšķirīgi (Pettersson et al., 2003). Jāatzīmē, ka trupējušo koku īpatsvars palielinās, pieaugot audzes vecumam (Arhipova et al., 2011), un Zviedrijas lauksaimniecības universitātē veiktā pētījumā noskaidrots, ka egļu kodolkoksne, salīdzinājumā ar tās aplievu, ir vairāk uzņēmīga pret *H. parviporum* (Oliva et al., 2013). Tādēļ būtiski ir izvērtēt ekonomisko ieguvumu, izmantojot celmu aizsardzības līdzekļus gavenajā cirtē un trupējušās audzēs.

Lai nodrošinātu efektīvāku celmu aizsardzību, nepieciešams apsvērt vietējo bioloģisko aizsardzības līdzekļu izstrādi. Turklāt jāņem vērā, ka preparāta Rotstop sastāvā ir viens *P. gigantea* sēnes izolāts, un ilgtermiņā ģenētiski viena izolāta plašs pielietojums var ietekmēt citu celmus kolonizējošo sēņu, tai skaitā *P. gigantea* vietējās populācijas (Vasiliauskas et al., 2004; Drenkhan et al., 2008). Bioloģiskajos preparātos iekļaujot vairākas sēņas sugas, kas ir antagonisti pret *Heterobasidion* sp., arī tiktu veicināta saprofitisko sēņu bioloģiskā daudzveidība saimnieciskajos mežos. Kombinējot *P. gigantea* suspensijā kopā ar citām sēnēm, svarīgi ir pārbaudīt sēnes, kas kolonizē koksni vēlākajās trapes stadijās, piemēram, *Sistotrema brinkmannii*, *Resinicium bicolor*, *Hypholoma* spp. Tāpat nepieciešami detalizēti pētījumi par dažādu koku sugu dabisko aizsardzību pret sakņu piepi, ko nodrošina lielā pergamentsēne – līdz šim ir veikti tikai atsevišķi šādi pētījumi (Meredith, 1960; Greig, 1976; Negrutskii, 1986; Gaitnieks et al., 2020).

Pētījumi Zviedrijā (Brandtberg *et al.*, 1996) liecina, ka *Heterobasidion* ļoti intensīvi sporulē no maija līdz augustam. Taču intensīva *Heterobasidion* sporu izdalīšanās novērota arī oktobra un novembra mēnešos (Bruna *et al.*, 2021). Attiecībā par lielās pergamentsēnes sporulācijas intensitāti dažādos gadalaikos, pētījumi līdz šim nav veikti.

Dānijā un Vācijā veiktie pētījumi liecina, ka augsnes sagatavošana, veicot platību apmežošanu, neietekmē *H. annosum* izplatību. Tomēr citos pētījumos atzīmēts, ka augsnes sagatavošana veicina *H. annosum* izplatību (Piri, 2003). Piemēram, veicot augsnes skarifikāciju, inficēto celmu sakņu fragmenti tiek izkliedēti apmežošanai paredzētajā platībā. Somijā veiktos pētījumos minerālaugsnes analizēta *Heterobasidion* micēlija saglabāšanās trupējušos sakņu fragmentos, kā arī egļu stādu inficēšanās no augsnē palikušās trupējušās koksnes (Piri, Hamberg 2015). Kūdras augsnēs šādi pētījumi nav veikti. Latvijā egļu audzes mežos ar kūdras augsnēm aizņem vairāk nekā 73 000 ha (Bruna *et al.*, 2019). Tāpēc ļoti svarīgi noskaidrot sakņu trapes izplatību veicinošos faktorus kūdras augsnēs.

Pētījumam ir četri mērķi:

- 1) papildināt līdz šim esošās zināšanas par sakņu trupi izraisošo sēņu sastopamību egļu un priežu audzēs un sniegt informāciju, lai izstrādātu rekomendācijas trapes izplatības ierobežošanai, kā arī samazināt patogēno sēņu izraisītos mežsaimnieciskos zaudējumus;
- 2) izstrādāt bioloģisko preparātu - alternatīvu līdz šim Latvijas mežsaimniecības praksē pielietotajam Somijā ražotajam preparātam Rotstop;
- 3) novērtēt vietējiem apstākļiem piemērotu augstražīgu introducēto koku sugu uzņēmību pret patogēno sēņu infekciju;
- 4) sniegt padziļinātas zināšanas par kokaugu rezistences mehānismiem, bioloģisko un ķīmisko aizsardzības līdzekļu pielietojumu; izstrādāt rekomendācijas sakņu piepes izraisīto zaudējumu samazināšanai.

Pētījuma pārskats strukturēts pa mērķiem un uzsāktajiem darba uzdevumiem, raksturojot darba materiālu, metodes, primāri iegūtos rezultātus un secinājumus.

Virszudevumā “Sakņu trapes izplatība skujkoku audzēs” 2021. gadā ietverti deviņi darba uzdevumi:

1. Novērtēt sakņu piepes sastopamību vidēja vecuma priedes audzēs.
2. Novērtēt sakņu piepes attīstības dinamiku priedes jaunaudzēs.
3. Analizēt *Armillaria* spp. sugu sastopamību egļu audzēs mežos ar kūdras un minerālaugsnēm.
4. Novērtēt augsnes apstrādes ietekmi uz trupi izraisošo sēņu sastopamību, tajā apskatot divus augsnes gatavošanas veidus – pacilas, joslas.
5. Analizēt sekundārās *Heterobasidion* infekcijas izplatības ierobežošanas iespējas sakņu kontaktu ceļā, noskaidrot *Heterobasidion* micēlija saglabāšanos inficētos egles koksnes sakņu fragmentos, kā arī stādu inficēšanos no trupējušiem sakņu fragmentiem.
6. Ikgadējs stādu attīstības monitorings 5 celmu izstrādes parauglaukumos.
7. Veikt *Heterobasidion* auglķermeņu attīstības monitoringu 5 iepriekšējos pētījumos apsekotās audzēs, kurās novērtēts mežā palikušās trupējušās koksnes apjoms.
8. Novērtēt sēņu un bezmugurkaulnieku daudzveidību trupējušā koksnē.
9. Sagatavota zinātniskā publikācija.

Virszudevumā “Alternatīva celmu apstrādes preparāta izstrāde līdz šim pielietotajam ‘Rotstop’, tā efektivitātes novērtējums” ietverti četri darba uzdevumi:

1. Veikt Somijā ražotā preparāta Rotstop efektivitātes monitoringu un vietējo *P. gigantea* izolātu pārbaudi.
2. Novērtēt citu celmus kolonizējošo sēņu izmantošanas potenciālu bioloģisko preparātu efektivitātes uzlabošanā, lai ierobežotu sakņu piepes infekciju.
3. Izstrādāt alternatīvu preparātu Somijā ražotajam līdzeklim Rotstop.

4. Sagatavot publikāciju.

Virszdevumā “Sakņu trupi izraisošo sēņu populāciju struktūra un dinamika ilgtspējīgas mežsaimniecības praksē perspektīvo introducēto koku sugu mežaudzēs” ietverti divi darba uzdevumi:

1. Apkopot informāciju par Latvijā perspektīvāko (*Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fagus sylvatica*; *Pinus contorta*, *Quercus rubra*, *Larix* sp.) introducēto koku sugu rezistenci pret sakņu piepes un celmenes bojājumiem.
2. Noskaidrot sakņu trupes izplatīšanās ātrumu perspektīvākajām introducēto koku sugām, to vērtējot no ilgtspējīgas mežsaimniecības aspekta.

Virszdevumā “Rekomendācijas sakņu piepes izraisīto zaudējumu samazināšanai” ietverti pieci darba uzdevumi:

1. Noskaidrot *P. gigantea* attīstību trupējušā priedes koksne.
2. Salīdzināt bioloģisko un ķīmisko preparātu efektivitāti un ietekmi uz koksni kolonizējošām sēnēm.
3. Veikt *P. gigantea* augļķermeņu attīstību ietekmējošo faktoru izvērtēšanu un sporu izdalīšanās potenciāla novērtēšanu.
4. Eksperimentālajos stādījumos izdalīt rezistentāko priežu provenienču/ ģimeņu ģenētisko materiālu priežu audzēs.
5. Noskaidrot koksnes endofītu lomju skujkoku rezistencē pret sakņu trupi izraisošām sēnēm, t.sk. veikt egļu stumbra analīzi, lai izvērtētu dažādu *Neonectria fuckeliana* izolātu izraisītos bojājumus.

1. SAKŅU TRUPES IZPLATĪBA SKUJU KOKU AUDZĒS

Līdz šim Latvijā ir veikti pētījumi, analizējot sakņu piepes sastopamību egļu audzēs (Arhipova *et al.*, 2011, Arhipova, 2012). Pētījuma “Sakņu trupes izplatību ierobežojošo faktoru izpēte” ietvaros analizēta sakņu trupi izraisošo patogēnu sastopamība pieaugušās priedes audzēs un jaunaudzēs. 2021. gadā uzsāktā pētījuma mērķis ir papildināt līdz šim esošās zināšanas par sakņu trupi izraisošo sēņu sastopamību egļu un priežu audzēs un sniegt informāciju, lai izstrādātu rekomendācijas trupes izplatības ierobežošanai, kā arī samazinātu patogēno sēņu izraisītos mežsaimnieciskos zaudējumus.

Sakņu piepes sastopamība vidēja vecuma priedes audzēs

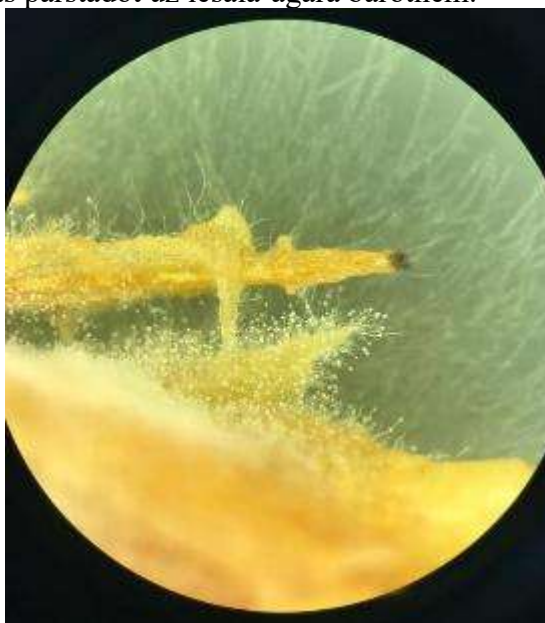
Iepriekš LVMI Silava veiktajos pētījumos konstatēts, ka sakņu piepe būtiski biežāk sastopama priedes jaunaudzēs, nekā pieaugušās priedes audzēs. *Heterobasidion* infekcijas sastopamību priedes jaunaudzēs būtiski ietekmē iepriekšējās paaudzes inficēto celmu skaits un lokalizācija. Citu autoru pētījumi liecina, ka priedes celmos sakņu piepes micēlijs saglabājas īsāku laiku, nekā egles celmos (Woodward *et al.*, 1998). Tomēr Latvijā veiktā pētījumā dzīvotspējīgs sakņu piepes micēlijs konstatēts arī 30 gadus vecos priežu celmos (Zaļuma *et al.*, 2019). Tas liecina, ka potenciāli visaugstākā infekcijas sastopamība varētu būt tieši vidēja vecuma audzēs (akumulējoties infekcijai no iepriekšējās paaudzes celmiem un kopšanas cirtēs atstātajiem, neapstrādātajiem vai nekvalitatīvi ar bioloģiskajiem preparātiem apstrādātajiem celmiem). Tādēļ 2021. gadā uzsākti pētījumi, lai raksturotu sakņu piepes sastopamību vidēja vecuma priedes audzēs.

1.1.1. Materiāli un metodes

Pavisam 2021. gadā randomizēti atlasītas 100 vidēja vecuma audzes programmā ArcMap 10.1 (ArcGIS 10.1.). Kā kritēriji noteikti: audzes vecums (40-60 gadi), sastāvs (10 P), pēdējā kopšana (kopš tās pagājuši vismaz 2 gadi), meža tips (izvēlētas audzes sausieņos), platība (0,5-3 ha). Visām audzēm noteiktas to koordinātas un analizētas apsekošanas iespējas. Līdz 2021. gada oktobrim apsekota 51 vidēja vecuma audze.

Sakņu piepes sastopamība noteikta gan pēc sakņu piepei raksturīgajiem vizuālajiem simptomiem, kādi izmantoti iepriekš veiktos LVMI Silava darba uzdevumos Zaļuma *et al.* (2019), gan pēc konīdijsporu stadijas (Woodward *et al.*, 1998) koksnes paraugos. Koki apsekoti, ejot pa 10 m platām transektēm, kas atrodas 20 m attālumā viena no otras, uzskaitīti visi kaltsie koki, atrakts to sakņu kakls, ja nav konstatēti sakņu piepes augļķermeņi, ar Preslera svārpstu celma augstumā ievākts koksnes paraugs. Koksnes paraugiem noņemta miza un tie ievietoti sterilās plastmasas mēģenēs. Pēc katra urbuma Preslera svārpstu sterilizēja 70 % spirtā. Koksnes paraugus un sēnes augļķermeņus ievietoja aukstuma kastē un nogādāja LVMI Silava, kur tālāk urbumus apstrādāja laboratorijā (detalizētāk metodika aprakstīta Arhipova 2012, Arhipova *et al.*, 2015).

Koksnes paraugus inkubēja 5-7 dienas istabas temperatūrā. Pēc inkubācijas perioda ar stereomikroskopu pārbaudīja *Heterobasidion* spp. konīdijnesēju sastopamību un izdalīja patogēna tīrkultūras, vēlāk tās pārstādot uz iesala-agara barotnēm.



1.1. att. *Heterobasidion* spp. micēlijs uz koksnes parauga 20x palielinājumā

Lai noskaidrotu, kādu *Heterobasidion* sp. sugu reprezentē iegūtie izolāti, izmantota Dr. Kari Korhonen aprakstītā metodika (Korhonen, 1978). Kultūras novērtētas vizuāli pēc to morfoloģiskajām pazīmēm, noteikts, vai veidojas demarkācijas līnija, mikroskopiski analizēta arī sprādzu(struktūra, ko veido noteiktu sēņu hifas. Sprādzes nodrošina, ka katra šūna vai hifu segments, kas atdalīts ar starpsienām, saņem atšķirīgu kodolu kopumu) (1.2., 1.3., 1.4. attēli).



1.2. att. *H. annosum* izolāta (X) piederība *H. annosum* s.s. – abu izolātu micēliji ir saauguši



1.3. att. *H. annosum* izolāts (X) nepieder *H. parviporum* (S) – starp micēlijiem veidojas demarkācijas līnija



1.4. att. *H. annosum* sprādze (200x palielinājums)

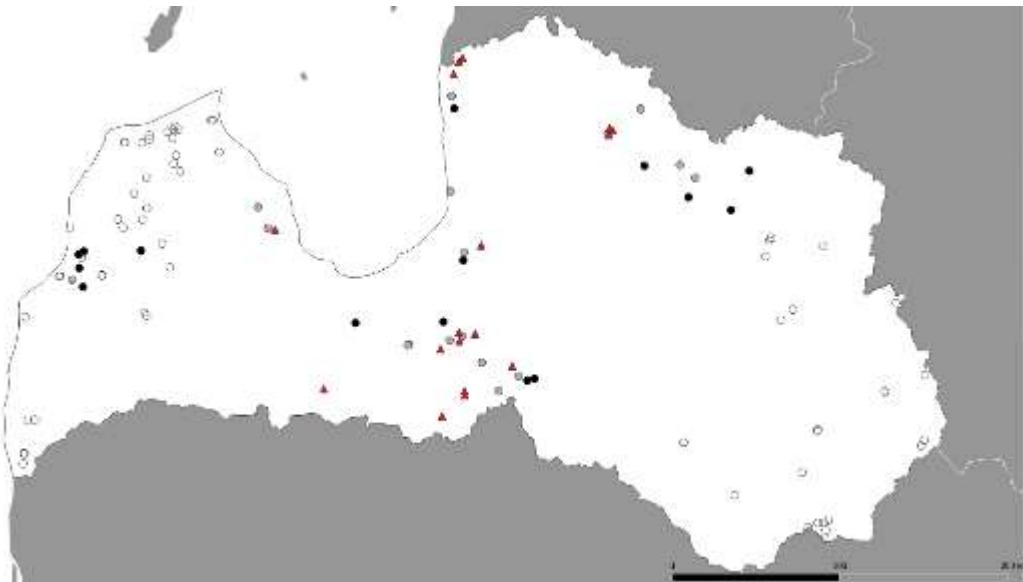
Paraugiem, kuriem sprādzes netika konstatētas vai iegūtie rezultāti nebija viennozīmīgi interpretējami, paredzēts sugu noteikšanai izmantot molekulārās metodes. Lai iegūtu paraugus DNS analīzēm, ar skalpeli noskrāpē micēliju no barotnēm un pārnes uz 2 ml stobriņiem, kas iepriekš marķēti atbilstoši parauga numuram. Paraugi tiek uzglabāti – 21 °C. 2022. gada janvārī sešiem paraugiem paredzēts veikt DNS izdalīšanu. DNS izdalīšanai izmanto organiskās ekstrakcijas metodi ar izopropanolu. Tiks izmantots protokols, kāds aprobešs iepriekšējos LVMI Silava pētījumos (Arhipova *et al.*, 2011). DNS paraugu analīzei izmantos polimerāzes ķēdes reakciju un specifiskos praimerus (1.1. tabula): *H. annosum* praimeru (MJ-F un MJ-R); *H. parviporum* praimeru (KJ-F un KJ-R).

1.1. tabula. Pētījumā izmantotie praimeru

Nr.p.k	Praimeris	Sekvence (5'...3')	Piezīmes
1.	MJ-F	GGTCCTGTCTGGCTTTGC	Izmantoti Hantula, Vainio (2003) aprobešie praimeru
2.	MJ-R	CTGAAGCACACCTTGCCA	
3.	KJ-F	CCATTAACGGAACCGACGTG	
4.	KJ-R	GTGCGGCTCATTCTACGCTATC	

1.1.2. Rezultāti

Kopš 2021. gada maija apsekota 51 audze un sakņu piepe konstatēta 20 audzēs (39% no analizētajām audzēm, 1.5. attēls). Inficēto koku skaits stādījumā variēja no 1 līdz 5. Netika konstatētas liela izmēra lauces (lielāka lauce ~70 m²).



1.5. att. *P. sylvestris* vidēja vecuma audzes

Balts aplis - 2021. gadā atlasītās priedes audzes; pelēks aplis - apsekota audze, kalnu koki nav konstatēti; melns aplis - apsekota audze un konstatēti kalnu koki, simptomātiski koki, paņemti koksnes paraugi; sarkans trīsstūris – konstatēti simptomātiski koki, paņemti koksnes paraugi, izdalīts *Heterobasidion* spp.

Atsevišķās audzēs kalnu koku skaits sasniedza 15 kokus uz hektāru, lai gan sakņu piepes infekcija netika konstatēta, kas liecina, ka, iespējams, *Heterobasidion* spp. ir inficējis saknes, bet micēlijs vēl nav izplatījies līdz sakņu kaklam. Skandināvijā veiktajos pētījumos ir pierādīts, ka pat vizuāli veselai parastajai priedei - bez infekcijas pazīmēm vainagā - konstatētas ar sakņu piepi inficētas saknes (Wang *et al.*, 2014). Ņemot vērā, ka *Heterobasidion* spp. infekcijas izplatības ātrums *Pinus* sp. audzēs var sasniegt pat 3,5 m gadā (Zaļuma *et al.*, 2019) un 30 gadu laikā var izveidoties līdz 30 m lieli genotipi, varam secināt, ka ikviens no inficētajiem kokiem var būt nopietns infekcijas avots. Jāņem vērā, ka audzes ir tikušas koptas, kopšanas laikā inficētie, nokaltušie koki, visticamāk, ir izvākti no audzes, līdz ar to – ikvienā no audzēm inficēto koku skaits varētu būt vēl lielāks. Pavisam 76 % analizēto paraugu konstatēts, ka sakņu trupi izraisīja *H. annosum*, 24 % paraugu (6 izolāti) analīze vēl turpinās. Tā kā sakņu piepe konstatēta 40 % analizēto audžu (inficētība noteikta gan pēc augļkermeņiem, gan izdalītajām tīrkultūrām), turklāt augļkermeņi atrasti 34% audžu, varam secināt, ka, veicot mežizstrādi veģetācijas periodā un neizmantojot celmu aizsardzības līdzekļus, ir jārēķinās ar sakņu piepes bazīdijsporu infekciju.

1.1.3. Secinājumi

Heterobasidion spp. konstatēts gandrīz 40 % analizēto audžu, kas norāda uz augstu potenciālu patogēnam izplatīties gan šajā, gan nākošajās koku paaudzēs, ja netiks veikti preventīvi sakņu piepes izplatības ierobežošanas pasākumi.

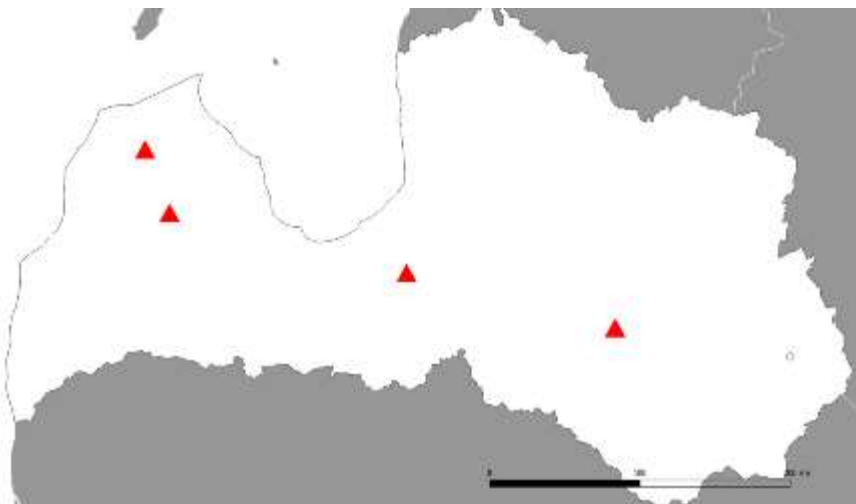
1.2. Sakņu piepes attīstības dinamika priedes jaunaudzēs

Trupi izraisošo sēņu attīstību ietekmē augsnes pH, aerācija, citu sēņu konkurence, mitruma saturs koksnē (Woodward *et al.*, 1998). Stādītās un sētās priedes jaunaudzēs sakņu trupi izraisošo sēņu izplatību var veicināt arī jauno kociņu stādīšana blakus trupējušiem celmiem. Literatūras dati liecina, ka egļu celmos dzīvotspējīgs *Heterobasidion* sp. micēlijs saglabājas 35-40 gadus (Laine, 1976; Piri, 1996; Gaitnieks *et al.*, 2021), savukārt *P.sitchensis* celmos dzīvotspējīgs micēlijs atrasts pat 62 gadus vecos celmos (Greig, Pratt, 1976). Ir veikti apjomīgi pētījumi par sakņu piepes populāciju struktūru un sekundāro izplatību egļu audzēs (Stenlid, 1985; Piri *et al.*, 1990; Piri, 1996; Piri, Korhonen, 2001; 2007; Piri, Valkonen, 2013), savukārt par sakņu piepes genotipu izplatību *P. sylvestris* audzēs mums zināms tikai viens uzsākts pētījums Somijā (T. Piri konsultācija), turklāt rezultāti nav publicēti. Iepriekš veiktos pētījumos ir noskaidrots, ka jaunas *P. sylvestris*, kas stādītas blakus inficētiem *P. abies* celmiem, var inficēties arī ar egļu sakņu piepi *H. parviporum*, turklāt ar sakņu piepi inficēti koki var nokalst pat vienas sezonas laikā (Korhonen, Piri, 2003). Prof. J. Stenlid pētījumos noskaidrots, ka ne vairāk kā 10 % *P. abies* inficējas ar sakņu piepi, ja stādīšanas attālums no iepriekšējās paaudzes celma ir vismaz 2,5 m (Stenlid, 1987). Skuju koku inficēšanos ar *H. annosum* un *Armillaria* spp. var ietekmēt arī stādmateriāla kvalitāte, piemēram, stādu sakņu bojājumi (Swedjemark, Stenlid, 1995) un ģenētiskās īpašības (Swedjemark, Stenlid, 1997). 2016. gadā tika uzsākts pētījums, lai analizētu sakņu piepes ilgtermiņa attīstību priežu jaunaudzēs, lai noskaidrotu, kāds ir infekcijas izplatības ātrums parastās priedes audzēs un kādi faktori to ietekmē.

1.2.1. Materiāli un metodes

Lai analizētu sakņu piepes attīstības dinamiku priedes jaunaudzēs, 2021. gadā atkārtoti apsekoti četri parauglaukumi (1.6. attēls), kas ierīkoti iepriekš:

- 1) LVM Vidusdaugavas reģions, Vecumnieku iecirknis (pirmo reizi apsekots 2013. gadā; 508 kv. apg. 292. kv., 7. nog. 0,8 ha 10P, Ln)). Audzes identifikācijas Nr. 508-292-7;
- 2) Kuldīgas novada, Rumbas pag., 1. kv. 4. nogabalā - saimniecība "Dzērves" (Z. pl. 57.0652421, A. g. 21.9561080, 0,5 ha, 9P 1B; Dm)). Audzes identifikācijas Nr. Dzērves. Pirmā kopšana priežu audzē veikta 2012. gadā;
- 3) LVM Dienvidlatgales reģions, Ābeļu iecirknis (pirmo reizi apsekots 2017. gadā) (302 kv. apg., 33. kv. 25. nog., 2,08 ha, 10P, Ln), audzes identifikācijas Nr. 302-22-25;
- 4) LVM Ziemeļkurzemes reģions, Mētru iecirknis (pirmo reizi apsekots 2017. gadā; 704 kv. apg. 140. kv. 37. nog., 0,89 ha, 10P, Mr), audzes identifikācijas Nr. 704-140-37.



1.6. att. Ilgtermiņa parauglaukumu izvietojums

1.2.1.1. Lauka darba metodika

2021. gada vasarā paraugi ievākti LVM Vecumnieku iecirknī (508-292-7) un Kuldīgā “Dzērvēs”. Mētru iecirknī 2021. gada vasaras sākumā konstatēti tikai astoņi kaltušie koki. LVM Ābeļu un Mētru iecirkņos ierīkotos parauglaukumus atkārtoti paredzēts apsekot 2022. gada pavasarī. Vecumnieku iecirknī un parauglaukumā Kuldīgā “Dzērvēs”, izmantojot tālmēru un busoli, kartēti visi augošie, nokaltušie koki, celmi.

Kaltušie koki nozāģēti 3 cm virs sakņu kakla, pēc tam ievākti koksnes paraugi; no infekcijas centros konstatētajiem celmiem ievāktas koksnes skaidiņas, tos atrokot un izzāģējot vai izcērtot paraugu. Koksnes paraugi līdz apstrādei uzglabāti +4°C. No celmiem izcirstās koksnes skaidas sterilizēja liesmā un inkubēja iesala-agara barotnēs.

1.2.1.2. Laboratorijas darba metodika

Ievāktās *P. sylvestris* ripas laboratorijā nomizoja un nomazgāja zem tekoša krāna ūdens, no ripām notecināja lieko ūdeni un piecas minūtes atstāja vertikālā stāvoklī. Pēc tam tās ievietoja polietilēna maisos, atstājot maisu galus vaļā, lai tiktu nodrošināta gaisa cirkulācija. Maisus ar ripām (novietojot ripas vertikāli kastēs) inkubēja 5 – 7 dienas istabas temperatūrā.

Pēc 5 – 7 dienu inkubācijas perioda, ripas izņēma no maisiem un uz katras ripas piestiprināja plastmasas režģi ar rūtiņu izmēru 0.7 cm x 0.7 cm. Izmantojot *Leica* stereomikroskopu, pārbaudīja koksnes ripas. Ja režģa rūtiņā atrada atsevišķus *H. annosum* konīdijnesējus vai to grupas, tie tika atzīmēti uz ripas virsmas ar ūdensizturīgas krāsas flomāsteru. Koksnes skaidas, kas iegūtas no celmiem, inkubēja 5-17 dienas, ik pēc divām dienām analizējot zem stereomikroskopa. Gan ripās, gan uz koksnes skaidām konstatētos *H. annosum* konīdijnesējus ar smalku, liesmā sterilizētu pinceti pārnesa uz Petri platēm un uzsēja uz iesala-agara barotnes. No katras ripas konīdijnesējus uzsēja 10 atkārtojumos (divās platēs pa pieciem atkārtojumiem uz katras). Pēc trīs un septiņām dienām plates mikroskopēja, lai izdalītu *H. annosum* tīrkultūras.

Lai noskaidrotu, vai no koksnes ripām un celmos izcirstajām skaidām iegūtie izolāti pieder vienam genotipam, *H. annosum* izolāta tīrkultūras gabaliņu ar liesmā sterilizētu skalpeli izgriezā no barotnes un pārnesa Petri platē uz iesala-agara barotnes. Pēc tam uz šīs pašas Petri plates pārnesa divus agara gabaliņus ar citiem *H. annosum* izolātiem un novietoja 1,5- 2 cm attālumā no uzliktās kultūras. Kultūras piederību konkrētam genotipam noteica piecu nedēļu

laikā, novērojot demarkācijas jeb konfrontācijas līniju starp kultūrām (Stenlid, 1985). Pēc *H. annosum* genotipu izdalīšanas iespējama to kartēšana un genotipu robežu noteikšana stādījumu shēmā.

1.2.2. Rezultāti

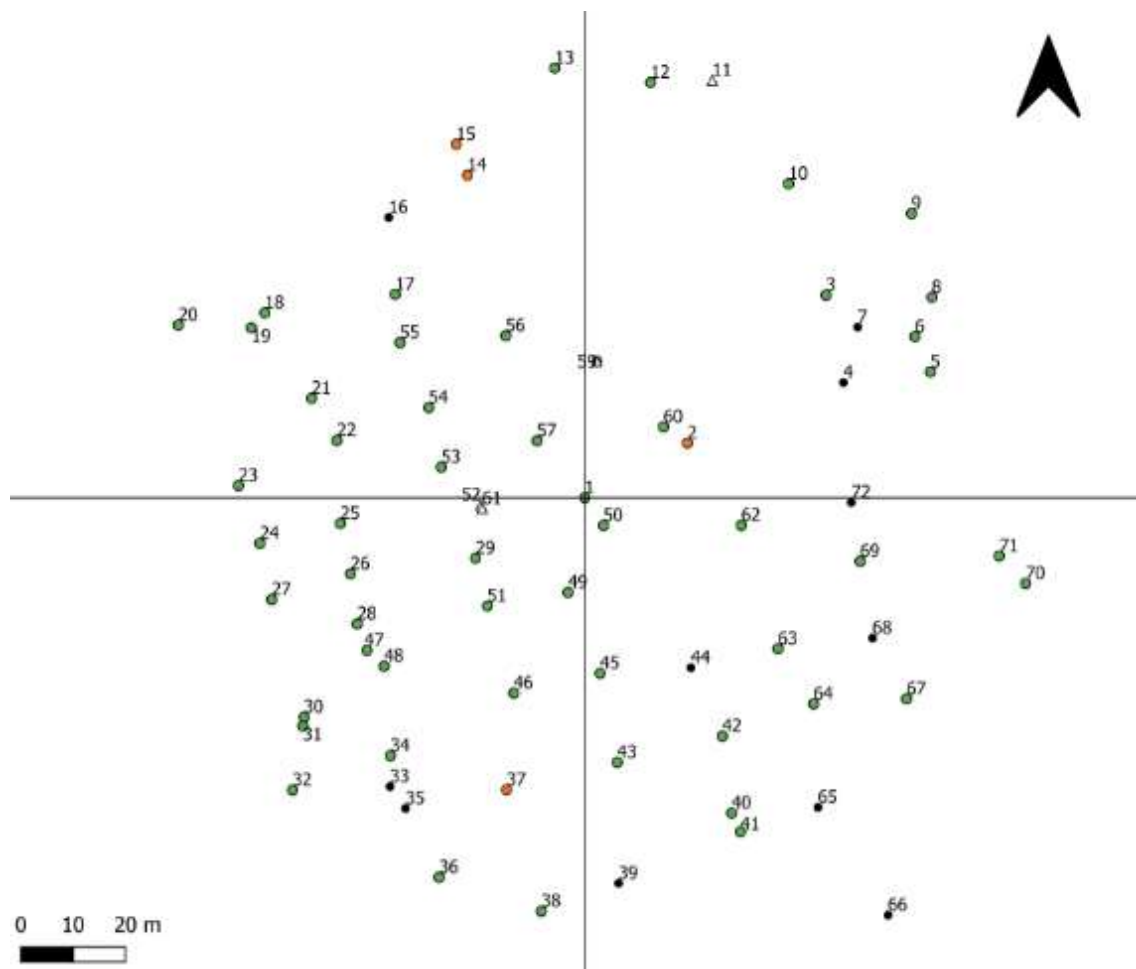
Lai gan 2017. gadā Ziemeļkurzemē, Mētru iecirknī ierīkotajā parauglaukumā konstatēja 65 nokaltušus kokus un *H. annosum* izdalīts no 24 kokiem, 2021. gadā atrasti vairs tikai atsevišķi (8) kalstoši koki, augļķermeņi netika konstatēti (1.2. tabula). Iespējams, ka, palielinoties audzes vecumam, koki kļūst mazāk uzņēmīgi pret sakņu trupi izraisošiem patogēniem, to skaitā sakņu piepi. Arī citu autoru pētījumos konstatēts, ka pret *Heterobasidion* rezistentākas ir vecākas priedes (Woodward *et al.*, 1998).

1.2. tabula. Ilgtermiņa parauglaukumu raksturojums un kopējais kaltsušo un inficēto koku skaits

Audzes identifikācijas nr.	Vecums, gadi	Platība, ha	Kaltušo koku skaits	Inficēto koku skaits
302-33-25*	11	2	211	41
508-292-7	19	0.8	191	73
Dzērves	18	0.5	45	30
704-140-37	12	0.9	73	24

*audzi apsekos 2022. gadā

Vecumnieku iecirknī (508-292-7) 2021. gada pavasarī un rudenī kopā ievākti 58 koksnes paraugi, sakņu piepe izdalīta 24 paraugiem (2014. gadā atzīmēti 60 kaltuši koki, 2017. gadā - 73). Kaltušo koku kopējais skaits sasniedz pat 191 koku jeb 240 uz hektāra. Visi infekcijas centri 2021. gadā tika kartēti un sagatavotas atsevišķu infekcijas centru kartes un kopējā audzes infekcijas centru shēma, izmantojot programmu QGIS (1.7. attēls). 2022. gadā nepieciešams apvienot 2021. gadā izveidoto kartogrāfisko materiālu ar 2012. gadā iegūtajiem datiem. Kopējais inficēto koku skaits – 73. Pavisam iegūtas un saglabātas 48 sakņu piepes tīrkultūras.



**1.7. att. Infekcijas centra shematisks attēlojums Vecumnieku iecirknī.
Sarkani apli – 2021. gadā inficēti koki, melni - kaltuši, zaļi – augoši koki**

Iegūtie *H. annosum* izolāti sakrustoti savā starpā ar 2014. un 2017. gadā ievāktajiem paraugiem, lai noteiktu genotipu attīstību. Desmit 2021. gadā iegūtie izolāti iekļāvās kādā no 2014. gadā konstatētajiem sakņu piepes genotipiem, bet 14 izolāti piederēja 5 līdz šim nekonstatētiem genotipiem, kas norāda, ka infekcija saglabājusies iepriekšējās paaudzes celmos gandrīz 20 gadus un vēl joprojām turpina izplatīties. Kā liecina iepriekš veiktie pētījumi Klinškalnu priedes audzēs (Zaļuma *et al.*, 2019) sakņu piepe var saglabāties pat 30 gadus vecos parastās priedes celmos. Kopējais genotipu skaits - 29.

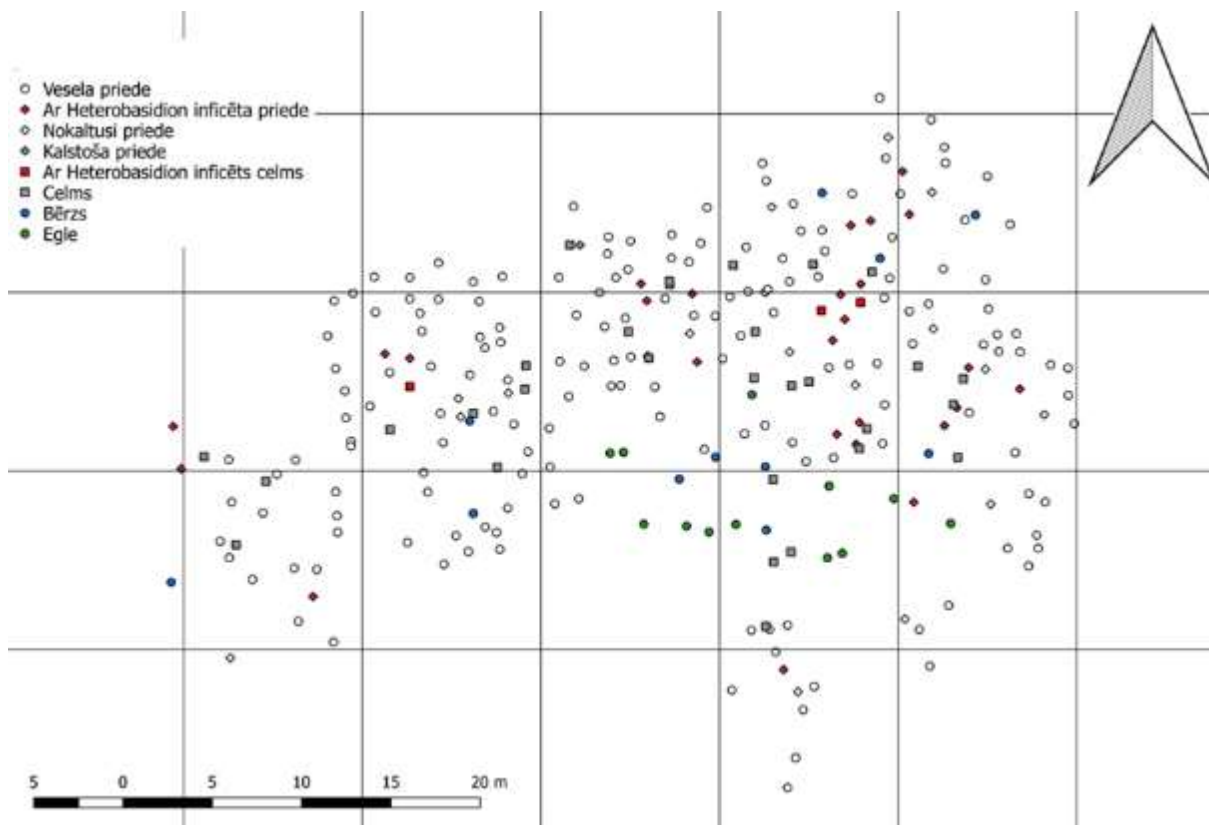
Līdz šim audzē kopšana nav veikta. Somijā veiktos pētījumos iegūtie dati liecina, ka kopšana pat ziemas apstākļos ne tikai neierobežo sakņu piepes izplatību audzē, bet atsevišķos gadījumos pat veicina tās izplatību (Piri, Korhonen, 2007). Līdzīgi rezultāti iegūti Latvijā 27 gadus vecā *P. contorta* audzē, pierādot, ka pēc kopšanas 4 gadu laikā attīstījušies vēl 10 jauni genotipi (Zaļuma *et al.*, 2019).

2021./2022. gada ziemā audzē paredzama kopšana, tādēļ sagaidāms, ka *Heterobasidion* spp. inficēto koku daudzums palielināsies un iegūtie dati tiks izmantoti, lai prognozētu infekcijas attīstības gaitu. Saskaņojot ar apsaimniekotāju, šajā objektā nepieciešams ierīkot 3 parauglaukumus, kuros:

- 1) kopšana tiks veikta, izmantojot standartpraksi;
- 2) ar maksimālo intensitāti;
- 3) kopšana netiks veikta.

Tādā veidā šajā audzē būs iespējams noteikt, cik lielā mērā kopšanas intensitāte ietekmē *Heterobasidion* spp. izplatību.

Kuldīgas (“Dzērves”) parauglaukumā 2016. gadā un 2017. gadā ievākti 40 paraugi, 26 koki bija inficēti ar sakņu piepi (1.8. attēls). 2019. gadā iepriekš minētajā parauglaukumā veikta kopšana – divu gadu laikā pēc kopšanas gājuši bojā vēl 15 koki, no kuriem 2021. gadā paņemti paraugi. Sakņu piepe līdz 2021. gada rudenim konstatēta 30 kokiem.



1.8. att. Kuldīgas parauglaukuma shematisks attēlojums

2022. gadā nepieciešama Kuldīgas (“Dzērves”) parauglaukuma atkārtota kartēšana, atzīmējot kopšanā nocirstos kokus, tādā veidā būs iespējams novērtēt sastāva kopšanas cirtē atstāto celmu inficētību un potenciālo ietekmi uz sakņu piepes sekundāro izplatību. Ābeļu iecirknī (302-33-2) ierīkotajā parauglaukumā koksnes paraugi tiks ievākti 2022. gada pavasarī.

1.2.3. Secinājumi

Stipri inficētās platībās priežu jaunaudzēs *Heterobasidion* infekcijas centri turpina palielināties, kas liecina par iepriekšējās paaudzēs celmos akumulētā sakņu piepes micēlija nozīmi infekcijas pārnēsē.

1.3. *Armillaria* spp. sugu sastopamība egļu audzēs mežos ar kūdras un minerālaugsnēm

Sakņu trapes izraisītie zaudējumi ir īpaši aktuāli egļu audzēs, jo *Heterobasidion* var izplatīties stumbrā līdz pat 12 m augstumam, bojājot vērtīgākos sortimentus (Stenlid, Redfern,

1998). Noskaidrots, ka Latvijā vidēji 22 % egļu ir trupējušas un zaudējumi galvenajā cirtē sastāda aptuveni 1000 eur/ha (Gaitnieks *et al.*, 2008; Arhipova *et al.*, 2011). Trupes izplatību lielā mērā ietekmē augsnes īpašības, sevišķi pH (Stenlid, Redfern 1998; Gonthier, Thor, 2013). Īpaši apdraudēti ir egļu stādījumi bijušajās lauksaimniecības zemēs, jo šīs platības raksturo paaugstināts pH un tajās nav pārstāvēta pret *Heterobasidion* antagonistiska mikroflora (Korhonen, Stenlid, 1998).

Daudzi pētījumi liecina, ka kūdras augsnēs *Heterobasidion* sastopams reti (Redfern, 1984; Rönnberg, Johansson, 1991; Redfern *et al.*, 1994; 2010). *Heterobasidion* sastopamību kūdrā ietekmē zemās pH vērtības un pret patogēnu antagonistiskā mikroflora, piemēram, *Trichoderma* spp. (Korhonen, Stenlid, 1998). Tomēr Latvijā veiktie pētījumi liecina, ka atsevišķās egļu audzēs ar kūdras augsnēm ar *Heterobasidion* inficēto koku īpatsvars ir ļoti augsts (Gaitnieks *et al.*, 2016). Jaunākos pētījumos pierādīta ļoti intensīva sakņu piepes augļķermeņu attīstība uz lielu dimensiju egles koksnes mežizstrādes atliekām audzēs ar kūdras augsnēm (Gaitnieks *et al.*, 2021). Kopā ar Somijas kolēģiem (Dr. Tuula Piri) tiek veikti pētījumi, analizējot *Heterobasidion* populāciju struktūru kūdras augsnēs.

Nozīmīgākais egļu sakņu trupi izraisošais patogēns, protams, ir sakņu piepe *Heterobasidion* spp. (Korhonen *et al.*, 1998; Gonthier, Thor, 2013; Rönnberg *et al.*, 2013), bet par otru ekonomiski nozīmīgāko trupi izraisīto sēni uzskata celmeni (Korhonen, Piri, 2003). Taču *Armillaria* arī ierobežo *Heterobasidion* izplatību (Holdenrieder, Greig, 1998; Piri, 2003). Ir pētījumi, kas pierāda abu sēņu vienlaicīgu attīstību egles stumbrā (Laine, 1976; Hintikka, 1994; Gaitnieks *et al.*, 2021). *Armillaria* izplatās ar sporām, ar micēliju sakņu kontaktu vietās un ar rizomorfām (Shaw, Kile, 1991). Uzskata, ka tieši rizomorfas ļoti efektīvi nodrošina *Armillaria* izplatību audzes ietvaros (Hintikka, 1974; Yafetto, 2018). Tāpēc rizomorfas tiek plaši izmantotas *Armillaria* bioloģijas pētījumos: i) nosakot rizomorfu daudzumu augsnes paraugos, ii) novērtējot rizomorfu ieaugšanu augsnē no inficēta substrāta, iii) izmantojot dažādus substrātus, lai noteiktu rizomorfu sastopamību konkrētā platībā (Hintikka 1974; Łakomy *et al.*, 2005; La Porta *et al.*, 2008; Koch *et al.*, 2017). Uzskata, ka mazāk patogēno *Armillaria* sugu attīstība, veidojot lielu daudzumu rizomorfu, varētu potenciāli ierobežot *Heterobasidion* attīstību (La Porta *et al.*, 2008). Tā kā gan patogēnās, gan mazāk patogēnās *Armillaria* sēņu sugas aizņem līdzīgas ekoloģiskās nišas kā *Heterobasidion*, tad svarīgi noskaidrot *Armillaria* sastopamību un sugu sastāvu *Heterobasidion* inficētās egļu audzēs ar kūdras augsnēm.

1.3.1. Materiāli un metodes

1.3.1.1. Randomizēta audžu apsekošana, lai noteiktu *Armillaria* spp. sastopamību Latvijā

Lai analizētu *Armillaria* sugu sastopamību egles audzēs ar kūdras un minerālaugsnēm, ievākti sēnes rizomorfu paraugi dažādās Latvijas vietās LVM apsaimniekotajās platībās. Egļu izcirtumi atlasīti randomizēti - 2020. vai 2021. gadā nocirstas egļu audzes (sastāvs vismaz 7E, platība 0.5 - 3 ha): 25 izcirtumi minerālaugsnēs un 25 kūdras augsnēs (1.9. attēls). Papildus datu analīzei izmantoti arī iepriekš ievāktie paraugi 23 egles audzēs: 8 egles audzes ar kūdras augsnēm, bet 15 ar minerālaugsnēm, kur iepriekš veiktos pētījumos konstatēts, ka audzes, iespējams, ir inficētas ar celmeni (Buša, 2020). Šīs audzes atlasītas, izmantojot LVMI Silava ilglaicīgo pētījumu audžu datus tā, lai ievāktie dati reprezentētu dažādus Latvijas reģionus. Pļaviņu novadā *Armillaria* spp. rizomorfu paraugi ievākti no sešām mežaudzēm, Ogres novadā no četrām, Babītes novadā - trīs, Kuldīgas, Olaines un Madonas novados katrā no divām un

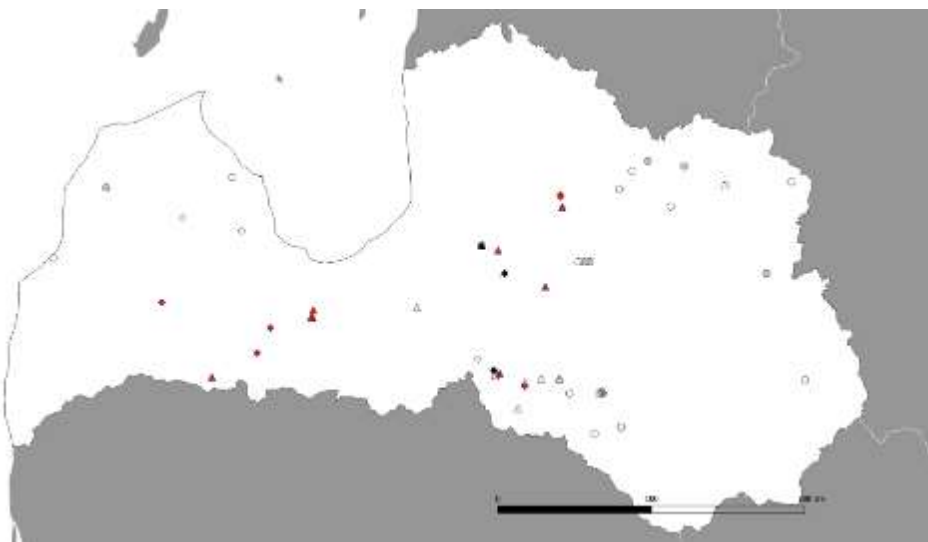
Auces, Lubānas, Skrīveru un Smiltenes novados katrā no vienas mežaudzes. Rizomorfas ievāktas LVM, SIA Rīgas meži un Meža pētīšanas stacijas (turpmāk – MPS) apsaimniekotajos mežos.

Atlasītajās mežaudzēs un izcirtumos veikta randomizēta *Armillaria* spp. rizomorfu paraugu ievākšana - ejot pa transekti (minimālais transekšu skaits -divas), apsekoti simptomātiskie koki, celmi, atliekas. Izcirtumos uzskaitītie visi uz transektēm esošie celmi, iedalot piecās gradācijas klasēs:

- 1) vesels;
- 2) ar krāsojumu;
- 3) strukturālas izmaiņas;
- 4) mīkstā trupe;
- 5) dobums.

Rizomorfu vai koksnes paraugi ievākti no 4. un 5. klases celmiem; 4. un 5. klases celmiem uzmērīti diametri un trupes aizņemtais laukums. Katrā audzē vai izcirtumā ievākti no 1 līdz 21 rizomorfu vai koksnes paraugiem. Tie ievākti no egles koksnes substrāta. Katram paraugam paņemts aptuveni līdz 10 cm garš rizomorfu pavediens, kas ievietots atsevišķā sterilā mēģenē. Katram ievāktajam paraugam piešķirts identifikācijas numurs un atzīmēta mežaudze. Ja celms bija ar dobumu un bija ļoti trupējies, tad no tā izcirstas koksnes skaidiņas, 2×5 cm, ja bija iespējams, tad no celma, izmantojot Preslera svārsptu paņemts koksnes urbums aptuveni 3 cm no celma virsmas, metodika iepriekš aprobēta pētījumā kopā Zviedrijas kolēģiem (Vasaitis *et al.*, 2016). Mežaudzēs veiktas atzīmes par substrāta struktūru, no kura ņemti paraugi: celms, lielu dimensiju mežizstrādes atlieka, izgāzts koks, nokaltis koks, nolūzis koks vai augošs koks.

Koksnes paraugu apstrāde veikta pēc metodikas, kāda izmantota, analizējot sēņu sugu daudzveidību egles celmos (Vasaitis *et al.*, 2016).



1.9. att. Atlasītās un apsektās egļu audzes

Apzīmējumi: 1) minerālaugsnēm - balti apli - audzes nav apsektas, balti rombi - nav bojātu celmu, nav paņemtu paraugu; melni rombi - ir trupējuši celmi, sarkani rombi – ir konstatēta *Armillaria*; 2) kūdras augsnēm - pelēki apli - audzes nav apsektas, balti trīsstūri - nav bojātu celmu, nav paņemtu paraugu, melni trīsstūri -trupējuši celmi, sarkani - konstatēta *Armillaria* spp.

1.3.1.2. Ilgtermiņa pētījuma objektu raksturojums

Egļu audzes ilgtermiņa parauglaukumu ierīkošanai, lai novērtētu celmenes sastopamību un izplatības dinamiku, izvēlētas MPS Kalsnavas mežu novadā. Divas audzes atrodas apmēram

200 m attālumā viena no otras, bet pārējās trīs 2-5 km attālumā. Visās audzēs konstatēta *Heterobasidion* infekcija (1.3. tabula) un iepriekš tika ierīkoti parauglaukumi, lai novērtētu ar sakņu piepi inficēto koku/celmu īpatsvaru. Audžu vecums 39-56 gadi; egļu īpatsvars audzēs 80-100%, trīs audzēs konstatēts bērza piemistrojums: 10-20%. Kūdras slāņa biezums 27...>70cm. Četras audzes atjaunotas veicot stādīšanu, bet viena atjaunojusies dabiski. Audzēs K1 un K2 veikta sastāva kopšana, bet audzēs T un PL kopšanas cirtes (1.10. attēls). Četrās no analizētajām audzēm ar sakņu piepi inficēto koku īpatsvars bija 11-69%. Jāatzīmē, ka sakņu piepes sastopamība izvēlētajās audzēs tika raksturota infekcijas centros jeb “trupes ligzdās”.



1.10. att. Ilgtermiņa parauglaukumi K1 un PL

1.3. tabula. Pētījumā izmantoto audžu raksturojums

Paraug-laukums	Koordin.	Audzē sastāvs	Meža tips	Vecums	Audzē platība, ha	Kūdras slāņa biezums, cm	pH	Het. īpatsvars, %*
PL	56.702557; 25.865390	10E	Ks	56	0,73	>70	-	-
T	56.689095; 25.901679	8E2B	Kp	54	0,53	>70	4,2	11
K1	56.672479; 25.891165	9E1B	Ks	50	3,91	27...>70	4,6	69
K2	56.673705; 25.893788	10E	Kp	55	1,64	>70	5,3	45
P	56.691478; 25.825312	10E	Ks	39	1,22	39	4,9	19

* *Heterobasidion* īpatsvars novērtēts infekcijas centros.

1.3.1.3. Lauka darbu metodika

Katrā audzē tika ierīkots viens parauglaukums (30-40×50m). Parauglaukumā uz brīvi izvēlētas transektes ievākti 6 kūdras paraugi apmēram 1,5 m attālumā viens no otra, bet trīs paraugi blakus ar *Heterobasidion* inficētām eglēm apmēram 40 cm attālumā no koka stumbra. Pavisam 5 parauglaukumos ievākti 45 kūdras paraugi izmantojot cilindru (diametrs 10 cm) līdz 30 cm dziļumam.

1.3.1.4. Laboratorijas darbu metodika

No ievāktajiem augsnes paraugiem izlasītas rizomorfas, atdalot tās no saknēm un augsnes fragmentiem. Rizomorfas pēc tam skalotas zem tekoša krāna ūdens un katrā paraugā atrastās rizomorfas ievietotas Petri platē ar ūdeni. Pēc tam, izmantojot stereomikroskopu 15-25× palielinājumā izdalītās rizomorfas tika vēlreiz pārbaudītas, lai izslēgtu sakņu fragmentu piemaisījumu. Jaunām rizomorfām raksturīga tumši brūna - sarkanīga krāsa, bet vecākām rizomorfām ārējā apvalka bojājuma vietās redzami micēlija pavedieni.

1.3.1.5. Datu apstrāde un analīze

Izdalītās rizomorfas skenētas, izmantojot Epson Perfection V750Pro (Epson, Tokyo, Japan) skeneri. Skenera paplātē ielej ūdeni un rizomorfas ievieto tajā tā, lai tās būtu pilnībā pārklātas ar ūdeni, nebūtu gaisa burbuļu, kas traucētu precīzu datu iegūvi no attēla. Ja nepieciešams, rizomorfas sagriež mazākos fragmentos, lai tie ieklātos ūdens slānī. Ieskenētos attēlus saglabā datorā. Tos ievada WinRHIZO 2005 C (Regent Instruments Inc., Canada) programmā, no kuras iegūst datus par katra parauga rizomorfu kopējo garumu, tilpumu, virsmas laukumu un vidējo diametru, kā arī sadalījumu diametra klasēs. Pēc tam rizomorfu paraugi uz stundu ievietoti VENTICELL žāvējamā skapī 60 °C temperatūrā. Katra parauga rizomorfu sausnes svars noteikts ar Precisa XB 220A analītiskajiem svariem.

Informācija par ievāktu rizomorfu paraugu sausnes svaru, kopējo garumu, virsmas laukumu, diametru un tilpumu, apkopota *MS Excel* datu tabulās. Tika aprēķinātas katra parametra vidējās vērtības katram parauglaukumam, izmantojot funkciju AVERAGE, un standartnovirze, izmantojot funkciju STDEV.

Lai noteiktu rezultātu būtiskumu, datu analīze veikta programmā R 4.1.2 for Windows (R Core Team 2021), lietojot R Studio for Windows 10 (versija 1.4.1103). Visiem parametriem tika veikta dispersijas analīze, kurā kā atkarīgais mainīgais ir parauglaukums un neatkarīgais mainīgais ir katrs parametrs. Dispersijas analīzei izmantota funkcija ANOVA. Šīs analīzes rezultāti parāda, vai faktora - parauglaukums - ietekme ir statistiski būtiska. Būtiskums pārbaudīts pie $\alpha=0,05$. Pēc tam parametriem, kuriem parauglaukuma ietekme ir būtiska, veikts post-hoc tests, izmantojot funkciju TukeyHSD. Šī testa rezultātā tiek iegūta vidējā aritmētiskā starpība starp katrām divām gradācijas klasēm, to ticamības intervāls un atbilstošā p-vērtība. Tika izpildīta arī HSD.test funkcija, kuras rezultātus pārveidoja grafiskā attēlā, lai grafiski parādītu katra parametra būtiskās atšķirības starp parauglaukumiem. Bartleta tests (funkcija bartlett.test) tika izmantots gradācijas klašu dispersiju homogenitātes noteikšanai.

1.3.2. Rezultāti

1.3.2.1. *Armillaria* spp. sastopamība randomizēti atlasītajās, apsekotajās audzēs

Kopumā no egles koksnes ievākti 233 *Armillaria* spp. rizomorfu un koksnes paraugi. Paraugi ievākti no dažādiem koksnes substrātiem– 59 no nokaltušiem kokiem, 47 no izgāztiem kokiem, 110 - celmiem, 14 - lielu dimensiju mežizstrādes atliekām, 2 - nolūzušiem kokiem un 1 no augoša koka. Tiek veikts darbs, lai sagatavotu paraugus celmenes sugu analīzei, lai noteiktu vai audzēs un izcirtumos sastopamās sugas ir saprofitiskās vai patogēnā *A. ostoyae*.

1.3.2.2. *Armillaria* spp. rizomorfu sastopamība ilgtermiņa parauglaukumos

No ievāktajiem 45 augsnes paraugiem desmit paraugos rizomorfas netika konstatētas. Vislielākais rizomorfu daudzums konstatēts PL parauglaukumā, kur rizomorfas atrastas visos ievāktajos paraugos, kamēr vismazākais pilno paraugu skaits ir P parauglaukumā, kurā rizomorfas atrastas tikai četros paraugos (1.4. tabula). Parauglaukumā T rizomorfas atrastas tikai tajos paraugos, kas ievākti uz transektes. K1 parauglaukumā rizomorfas netika atrastas tikai vienā augsnes paraugā, kas ievākts uz transektes, bet K2 parauglaukumā rizomorfas netika atrastas trīs paraugos, kas ievākti uz transektes. P parauglaukumā rizomorfas atrastas visos trīs paraugos, kas ievākti koka tuvumā, un tikai vienā paraugā no transektes.

1.4. tabula. Paraugu skaits ar/ bez rizomorfām analizētajos parauglaukumos

Parauglaukums	Paraugu skaits ar rizomorfām	Paraugu skaits, kuros rizomorfas netika atrastas
PL	9	0
T	6	3
K1	8	1
K2	5	4
P	4	5

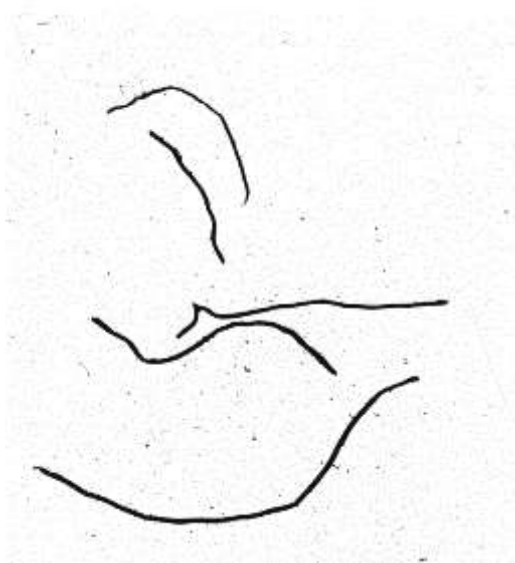
1.3.2.3. Rizomorfu paraugu parametri

Novērtējot iegūto rizomorfu morfoloģisko rādītāju vidējās vērtības, konstatēts, ka būtiskas atšķirības, salīdzinājumā ar parējiem analizētajiem parauglaurkumiem, uzrāda parauglaurkums PL (1.5. tabula). Neskatoties uz nelielo paraugu skaitu, kurā atrastas rizomorfas, arī parauglaurkumā P vidējais rizomorfu svars ir lielāks nekā parauglaurkumos K1, K2 un T. Savukārt, salīdzinot ar parauglaurkumu PL, rizomorfu sausais svars parauglaurkumā P būtiski neatšķiras (1.13. attēls). Mūsu iegūtie dati apstiprina citu autoru iegūtos rezultātus, ka vislielākais rizomorfu daudzums konstatēts blakus trupējušiem kokiem un celmiem (Twerry *et al.*, 1990).

Vidējais kopējais garums rizomorfām, kuru paraugi ievākti uz transektes, ir 63,3 cm un vidējais svars ir 0,12 g. Trupējušo koku tuvumā ievāktu rizomorfu paraugu vidējais kopējais garums ir 226,39 cm un vidējais svars – 0,28 g (1.11., 1.12. attēli).



1.11. att. Ieskenētās rizomorfas no PL parauglaurkuma, otrā parauga, kas ievākts koka tuvumā

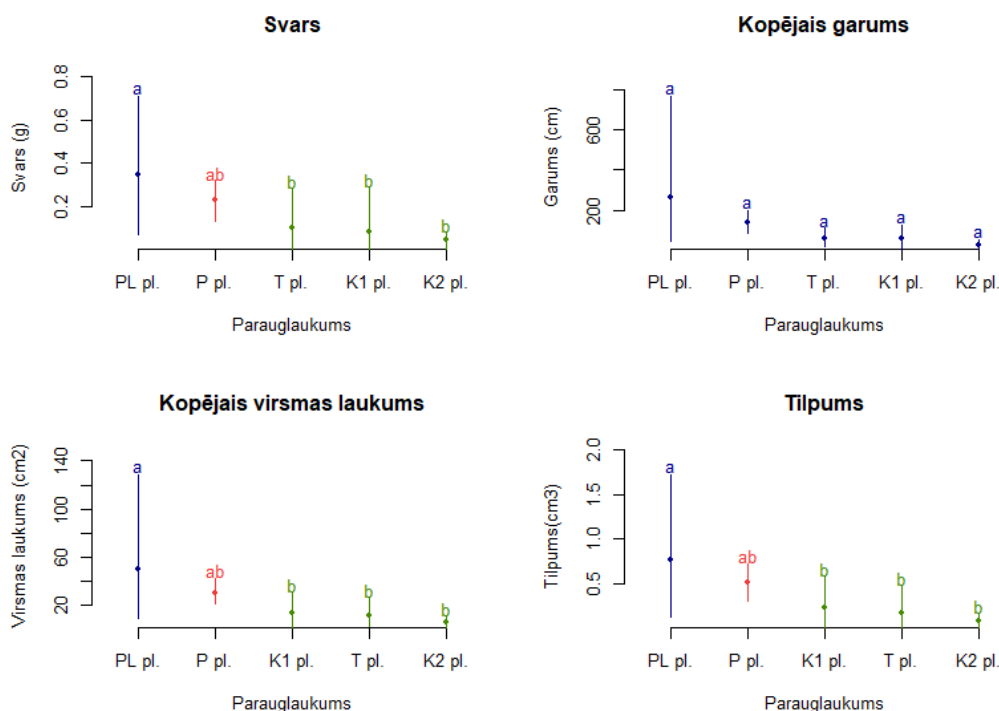


1.12. att. Ieskenētās rizomorfas no PL parauglaurkuma, piektā parauga, kas ievākts uz transektes

Vislielākais rizomorfu vidējais diametrs bija PL un K1 parauglaukumā. Pārējos parauglaukumos rizomorfu vidējās diametra vērtības ir zemākas, bet, kā liecina atšķirību būtiskuma novērtējums, visu parauglaukumu vidējo diametra vērtību atšķirības nav būtiskas, kas varētu būt skaidrojams ar nelielo analizēto paraugu skaitu. Rizomorfu zarojums un caurmērs dažādām sugām ir atšķirīgs, tāpēc šos rādītājus var izmantot, lai operatīvi iegūtu informāciju par *Armillaria* sp. sugu sastopamību konkrētā platībā.

1.5. tabula. Rizomorfu parametru vidējās vērtības (\pm standartnovirze) katrā parauglaukumā

Parauglaukums	Svars (g)	Kopējais garums (cm)	Kopējais virsmas laukums (cm ²)	Vidējais diametrs (mm)	Tilpums (cm ³)
PL	0,35 \pm 0,23	260,68 \pm 271,98	49,28 \pm 43,87	0,69 \pm 0,12	0,76 \pm 0,57
T	0,06 \pm 0,10	38,13 \pm 38,36	7,50 \pm 8,81	0,37 \pm 0,30	0,12 \pm 0,16
K1	0,08 \pm 0,10	49,32 \pm 46,32	11,40 \pm 11,38	0,62 \pm 0,24	0,21 \pm 0,22
K2	0,02 \pm 0,03	13,67 \pm 18,55	2,71 \pm 3,67	0,38 \pm 0,43	0,05 \pm 0,07
P	0,10 \pm 0,14	62,59 \pm 80,65	13,43 \pm 17,11	0,31 \pm 0,37	0,23 \pm 0,30



1.13. att. Parametru atšķirības būtiskums starp parauglaukumiem. Atšķirīgi burti nozīmē, ka starp paraugkopām ir būtiskas atšķirības

Parauglaukumā PL, kurā rizomorfu sastopamība būtiski atšķiras no pārējiem analizētajiem parauglaukumiem, *Heterobasidion* sp. inficētības pakāpe nav noteikta. Taču pārējos parauglaukumos ar *Heterobasidion* inficēto koku/celmu īpatsvars bija 11-69%. Lai gan attiecībā uz sakņu piepes infekciju starp parauglaukumiem konstatētas atšķirības, tomēr

analizēto rizomorfu morfoloģiskie rādītāji starp šiem parauglaukumiem būtiskas atšķirības neuzrāda. Iespējams tas saistīts ar piloteksperimentā analizēto nelielo paraugu skaitu. Bez tam jāatzīmē, ka sakņu piepes sastopamība tika noteikta “infekcijas centros”-vietās, kur sastopami samērā lieli sakņu piepes genotipi (1.14. attēls).



1.14. att. Infekcijas centrs parauglaukumā K1 (ar lenti norobežoti vienā genotipā iekļautie koki/celmi)

Lai analizētu mijiedarbību - *Heterobasidion* vs. *Armillaria* - rizomorfu paraugus jāievāc atsevišķi – infekcijas centros un audzes *Heterobasidion* infekcijas neskartajā daļā. Mūsu ierīkotajos parauglaukumos turpmākajā darbā paredzēts salīdzināt dažādus rizomorfu sastopamības noteikšanai izmantotos substrātus (egļu un bērza koksni, kā arī skaidas). 2022. gadā tiks noskaidrota rizomorfu sastopamība dažādos dziļumos, kā arī veikta ievāktu rizomorfu paraugu sugu identifikācija.

1.3.3. Secinājumi

1. Visos analizētajos parauglaukumos egļu audzēs ar kūdras augsnēm, kurus raksturo augsta *Heterobasidion* infekcija, plaši izplatīta arī *Armillaria* spp., par ko liecina rizomorfu sastopamība augsnē.
2. Izmantotā metodika rizomorfu paraugu ievākšanai ir izmantojama kūdras augsnēs, jo ļauj novērtēt rizomorfu sastopamību noteikta tilpuma paraugos konkrētā dziļumā.
3. Rizomorfu morfoloģisko rādītāju salīdzināšanu iespējams veikt, izmantojot programmu WinRhizo 2005C, kas aprobēta sakņu paraugu analīzei.

1.4. Augšnes apstrādes ietekme uz trupi izraisošo sēņu sastopamību

Iepriekš veiktos pētījumos konstatēts, ka celmu saknēs egles audzēs sakņu piepes micēlijs saglabā dzīvotspēju vairāk nekā 40 gadus (Piri, 1996; Gaitnieks *et al.*, 2021), ietekmējot to augšanu (Bendz-Hellgren, Stenlid, 1995), bet priedes koksne – 30 gadus (Woodward *et al.*, 1998; Zaļuma *et al.*, 2019). Tādēļ ļoti būtiska nozīme sakņu piepes izplatībā ir augsnes sagatavošanas veidam, kas ietekmē tuvāk augsnes virskārtai esošo inficēto sakņu izkliedi stādīšanai paredzētajā platībā.

1.4.1. Materiāli un metodes

2021. gadā sadarbībā ar Meža atjaunošanas virziena kolēģiem atlasītas audzes, kurās jau iepriekš vērtēta stādu iesaģšana un 2021. gada vasarā apsekotas kopā 14 skuju koku audzes (nogabali), kuras ierīkotas 2017./2018. gadā (katra nogabala platība 1-1,5 ha, sagatavošanas veids 7 audzes pacilas, 7 audzes vagas, meža tips- Dms, Ap, As, Ks, Kp), un 12 skuju koku audzes, kuras ierīkotas 2013./2014. gadā (6 audzes pacilas un 6 audzes vagas, meža tips – As, Ks). Audzes apsekotas pēc metodikas, kāda izmantota vidēja vecuma priedes audžu apsekošanai, kas detalizēti aprakstīta 1.1. nodaļā.

1.4.1. Rezultāti

Dati ievākti 26 audzēs un tikai četrās no tām konstatēti kalduši koki (1.6. tabula). Kaldušo koku skaits minētajās četrās audzēs ir ļoti mazs (max. četri kalduši koki), tāpēc ilgtermiņa parauglaukumu ierīkošana, lai noteiktu augsnes sagatavošanas ietekmi uz trupi izraisošo sēņu sastopamību, apsekotajās audzēs šobrīd nav paredzēta.

1.6. tabula. Kaldušo koku skaits skuju koku audzēs

Audzis atslēga	Koku suga	Kaldušo stādu skaits	Piezīmes
604-175-5	<i>P. sylvestris</i>	1	Kalduši galotne
604-511-3	<i>P. sylvestris</i>	4	Iepriekšējās paaudzis celmi (bēru) ar centrālo trupi
604-375-3	<i>P. sylvestris</i>	3	Audzis iežogota
802-514-28	<i>P. abies</i>	3	Iespējams mitruma režīma ietekme

Sadarbībā ar Meža atjaunošanas virziena kolēģiem (Dr. D. Lazdiņa) 2022. gadā paredzēts izvērtēt datus par iepriekšminētā pētījuma virziena darbinieku ierīkotajiem un apsekotajiem stādījumiem, kuros izmantotas atšķirīgas augsnes sagatavošanas metodes.

1.5. *Heterobasidion* micēlija saglabāšanās inficētos egles koksnes sakņu fragmentos, stādu inficēšanās no trupējušiem sakņu fragmentiem

Egles stumbra un sakņu trupi pamatā izraisa sakņu piepe *Heterobasidion* spp. (Piri *et al.*, 1990), radot nozīmīgus ekonomiskos zaudējumus (Woodward *et al.*, 1998; Gaitnieks *et al.*, 2019). Mežaudzes atjaunošana pēc galvenās cirtes, īpaši vietās ar augstu *Heterobasidion* sastopamību, ietver risku, ka nākamā koku paaudze ar sakņu kontaktiem starp jaunās ģenerācijas kokiem un trupējušiem iepriekšējās paaudzes celmiem var tikt inficēta ar *Heterobasidion* (Piri, 1996). Tādēļ ir svarīgi novērtēt skuju koku stādu inficēšanās riskus – cik ilgi sēnes micēlijs saglabājas trupējušu celmu sakņu fragmentos, kas paliek augsnē pēc tās sagatavošanas stādīšanai, kā arī - cik ilgā laikā un no kādu dimensiju celmu sakņu fragmentiem stādi var inficēties ar sakņu piepi.

Šādas zināšanas ir nozīmīgas ne tikai audzes atjaunošanas, bet arī sakņu piepes ierobežošanas kontekstā, novērtējot celmu izstrādes ietekmi uz *Heterobasidion* izplatību inficētās platībās, kad augsnē pēc celmu izvākšanas saglabājas trupējušu sakņu fragmenti. Somijā veikts pētījums, kurā novērtēta *Heterobasidion* izplatība pēc celmu raušanas egles audzēs minerālaugsnēs. Šajā pētījumā analizēta *Heterobasidion* saglabāšanās augsnē ieraktos sakņu fragmentos un spēja inficēt egļu stādus (Piri, Hamberg, 2015). Mūsu pētījums veikts pēc līdzīgas metodikas, lai novērtētu sakņu piepes micēlija saglabāšanās spēju un inficēšanas potenciālu skuju koku audzēs kūdras augsnēs. Latvijā vairāk nekā 70 tūkstoši hektāru egles audžu ir nosusinātās kūdras augsnēs (Brūna *et al.*, 2020), tādēļ svarīgi izvērtēt sakņu piepes sekundāro izplatību caur sakņu kontaktiem arī kūdras augsnēs.

1.5.1 Materiāli un metodes

2017. gadā ierīkots eksperiments, blakus pavasarī stādītiem egles un priedes stādiem ierokot dažādu dimensiju trupējušus, ar *Heterobasidion* spp. inficētus egles sakņu fragmentus. Pētījuma mērķis ir novērtēt *Heterobasidion* micēlija dzīvotspēju trupējušos egles sakņu fragmentos un sakņu piepes spēju inficēt skuju koku saknes kūdras augsnēs. Eksperiments ierīkots 12 parauglaukumos (6 priedes un 6 egles parauglaukumi). Katrā parauglaukumā pie stādiem apmēram 10 cm attālumā ierakti ar *Heterobasidion* inficēti 50-300 cm³ tilpuma egles sakņu fragmenti. Detalizēta eksperimenta ierīkošanas gaita un iepriekš iegūtie rezultāti aprakstīti LVMI Silava pētījuma “Sakņu trapes izplatību ierobežojošo faktoru izpēte” noslēguma pārskatā 2020. gadā.

2021. gada jūnijā veikta parauglaukumu apsekošana un marķējuma atjaunošana. Parauglaukumos konstatētie nokaltušie egles un priedes stādi kopā ar blakus iestrādātajiem sakņu fragmentiem ievākti tālākai analīzei. Izraktie sakņu fragmenti laboratorijas apstākļos apstrādāti, no tiem iegūti koksnes paraugi, kas sterilizēti liesmā un uzlikti Petri platēs uz Hagama barotnes. Petri plates pārbaudītas ik pēc 2-3 dienām, lai tīrkultūrā izdalītu no sakņu fragmentiem izaugušo *Heterobasidion* micēliju. No nokaltušajiem skuju koku stādiem paņemtas 4-6 0,5cm biezas ripas maksimāli tuvu sakņu kaklam un iegūtie koksnes fragmenti apstrādāti pēc tādas pašas metodikas, kā tie, kas iegūti no trupējušo sakņu fragmentiem.

Lai novērtētu, sakņu piepes micēlija saglabāšanos ieraktajos sakņu fragmentos un tā spēju inficēt blakus esošos skuju koku stādus, izdalītās *Heterobasidion* kultūras salīdzinātas ar eksperimenta sākumā iegūtajām patogēna micēlija tīrkultūrām, izmantojot somatiskās saderības testu (Stenlid, 1985).

1.5.2. Rezultāti

2021. gadā konstatēti 18 nokaltuši skuju koku stādi: 6 egles un 12 priedes stādi pavisam septiņos parauglaukumos. Turpmākai apstrādei ievākti 17 stādi un 36 trupējušu egles sakņu fragmenti, kas eksperimenta ierīkošanas laikā iestrādāti pie izvēlētajiem skuju koku stādiem. Sakņu piepes micēlijs konstatēts un izdalīts no 10 jeb 28% trupējušajiem sakņu fragmentiem (1.7. tabula), bet netika atrasts nevienā no nokaltušajiem stādiem.

1.7. tabula. Ievākto skuju koku stādu un sakņu fragmentu raksturojums

Koku suga	Nokaltušo stādu skaits, gab.	Sakņu fragmentu tilpums, cm ³	Ievākto paraugu skaits, gab.	Sakņu fragmenti, kuros konstatēts <i>Heterobasidion</i> , gab.
priede	12	50	4	2
		100	6	1
		200	10	1
		300	6	2
egle	6	100	3	1
		200	3	1
		300	4	2

Heterobasidion micēlijs atrasts dažādu dimensiju eksperimentā izmantoto (50-300 cm³) sakņu fragmentos: divi izolāti izdalīti no 50 cm³, 100 cm³ un 200 cm³ tilpuma fragmentiem un četri izolāti no 300 cm³ lieliem sakņu fragmentiem. Atkārtoti izdalītais *Heterobasidion* micēlijs atbilda tam, kas izdalīts no koksnes pirms eksperimenta ierīkošanas.

1.5.3. Secinājumi

1. Četrus gadus pēc eksperimenta ierīkošanas, *Heterobasidion* micēlijs saglabājas 28% sakņu fragmentu, bet nav inficējis blakus augošos skuju koku stādus.
2. Sakņu piepes micēlijs četrus gadus spēj saglabāties arī mazu dimensiju (50cm³) trupējušā egles koksnē.

1.6. Stādījumu monitorings celmu izstrādes parauglaukumos

Celmu izstrāde tiek uzskatīta par vienu no efektīvākajām metodēm, lai samazinātu *Heterobasidion* un *Armillaria* izraisītās sakņu trapes bojājumus nākamajos koku stādījumos (Vasaitis *et al.*, 2008, Cleary *et al.*, 2013). Latvijā 2011. – 2012. gadā ierīkoti pieci ilgtermiņa parauglaukumi, lai novērtētu celmu izstrādes ietekmi uz sakņu trapes izplatību, kā arī izvērtētu šādas prakses ekoloģiskos un ekonomiskos aspektus.

1.6.1. Materiāli un metodes

Pieci celmu izstrādes objekti atrodas Rietumvidzemes, Ziemeļkurzemes, Zemgales un Vidusdaugavas mežsaimniecībās (1.8. tabula). Katrā objektā pēc galvenās cirtes (veikta 2010.

gadā) ierīkoti divi parauglaukumi (0,5 ha katrs): viens atcelmošanas parauglaukums un viens kontroles parauglaukums, kur celmi netika izstrādāti.

1.8. tabula. Pētījumu objektu raksturojums

Parauglaukums	Kods	Meža tips
Rembate	80-29-07-501-360-9	Dm
Nītaure	65-03-07-410-58-34	Dm
Stende	82-04-07-714-188-9	Vr
Jaunpils	83-05-07-603-326-7	Vr
Dursupe	82-05-07-712-437-8	Dm

Visi parauglaukumi 2021. gada jūnijā tika apsekoti, izejot parauglaukumu pa transekti. Katrā parauglaukumā tika novērtēta egļu stādu vitalitāte.

1.6.2. Rezultāti un to analīze

Nevienā no apsekotajiem parauglaukumiem netika konstatēti nokaltuši egles stādi. Iespējams, egļu stādi vēl nav izveidojuši sakņu kontaktus ar inficētu koksni, vai infekcija saknēs nav paspējusi attīstīties, lai izraisītu stādu nokalšanu. Somijā veiktā pētījumā T. Piri un L. Hamberg (2015) konstatēja, ka jau pēc 25 mēnešiem daži egļu stādi nokalta, bet tiem bija tiešs sakņu kontakts ar inficēto koksni (inficēti koksnes gabaliņi ierakti blakus egļu stādiem). Citā mūsu pētījumā konstatēts, ka 6 gadus pēc celmu izstrādes *Heterobasidion* micēlijs izdalīts tikai no 1,5% koksnes fragmentu, kas palika augsnē (Burņeviča *et al.*, 2021), tāpēc infekcijas fons celmu izstrādes parauglaukumos varētu būt zems. Zviedrijā veiktā pētījumā (Oliva *et al.*, 2010) 70-75% blakus augošo koku bija inficēti no egļu celmiem 15 gadus pēc celmu inokulācijas ar dažādiem *Heterobasidion* izolātiem. Iespējams, arī mūsu parauglaukumos vēlāk infekcijas īpatsvars var palielināties, jo šobrīd ir pagājuši 8 gadi kopš stādīšanas brīža. Nākamgad ir paredzēts ievākt koksnes paraugus ne tikai no nokaltušiem egļu stādiem, bet arī no kalstošajiem (ar dzeltējošām skuļām), lai pārbaudītu to inficētību ar *Armillaria* sp., kuras īpatsvars trupējušu celmu sakņu fragmentos var ievērojami pārsniegt *Heterobasidion* īpatsvaru (Burņeviča *et al.*, 2021).

1.7. *Heterobasidion* augļķermeņu attīstības monitorings trupējušā egles koksnē

Somijā veiktos pētījumos noskaidrots, ka uz galvenajā un kopšanas cirtē atstātām ar *Heterobasidion* spp. inficētām svaigas egles koksnes lielu dimensiju mežizstrādes atliekām *Heterobasidion* spp. augļķermeņi izveidojas 1 - 4 gadu laikā (Müller *et al.*, 2007). Arī Latvijā, analizējot augļķermeņu attīstību uz vairāk nekā 400 egles koksnes lielu dimensiju mežizstrādes atliekām, secināts, ka 3-4 gadu laikā izveidojušos augļķermeņu laukums sastāda vidēji 3759 cm² uz 1m³ koksnes (Gaitnieks *et al.*, 2021). Pamatojoties uz mūsu pētījuma rezultātiem, MK noteikumos Nr. 947 norādīts, ka: “Lai ierobežotu sakņu trupi izraisošās sēnes *Heterobasidion annosum* s.l. (sakņu piepes) izplatību, cērtot kokus, no meža izvāc zaļu trupējušu egles koksni (izgāztas, lauztas egles, lielu apmēru ciršanas atliekas (diametrs 10-50 centimetru))”.

2016.-2018. gadā uzsākts pētījums, lai novērtētu lielu dimensiju svaigas, trupējušas egles koksnes daudzumu egles audzēs pēc krājas kopšanas un galvenās cirtes. Iepriekš veiktajā

pētījumā konstatēts, ka LVM apsaimniekotajās platībās uz pievešanas ceļiem pēc galvenās un krājas kopšanas cirtes atstāto egles koksnes lielu dimensiju, trupējušu mežizstrādes atlieku daudzums vidēji sastāda $0,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, kas liecina, ka LVM mežsaimniecības prakse neveicina sakņu piepes primāro izplatību. Turpmāk, veicot iepriekš apsekoto parauglaukumu monitoringu, tiks novērtēta sakņu piepes sastopamība uz egles koksnes atliekām.

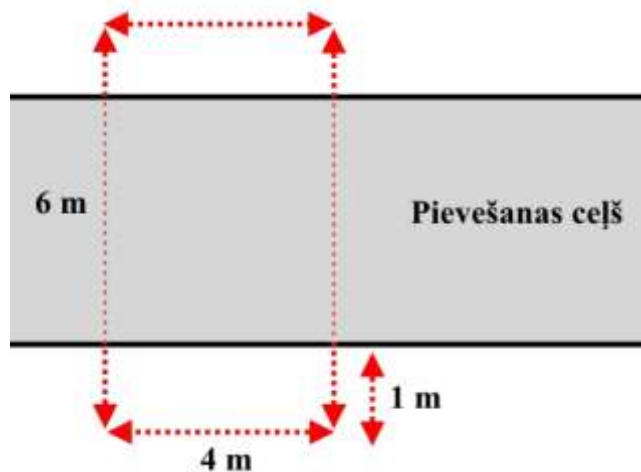
1.7.1. Materiāls un metodika

Izvērtējot datus un veicot pirmo apsekošanu, tika pieņemts lēmums, ka sākotnēji nepieciešams apsekot krājas kopšanas cirtes, kur mežizstrādes atlieku dimensijas ir daudz mazākas, līdz ar to tās varētu sadalīties ātrāk. No 2016.-2017. gadā koptajām cirtēm atlasītas audzes, kurās iepriekš konstatēts vislielākais skaits lielu dimensiju trupējušu un liela dimensiju svaigu mežizstrādes atlieku (1.9. tabula).

1.9. tabula. Atlasīto objektu raksturojums

Objekta nr.	Kvartāla apgabals	Kvartāls	Meža tips	Platība, ha	Kopšanas cirtes gads	Koordinātas	
						X	Y
Krājas kopšanas cirte							
1	206	353	Dm	1,2	2016	386178	287661
2	206	364	Ks	0,6	2016	384457	287232
3	207	129	Kp	1,6	2016	389623	295748
4	411	344	Ks	0,9	2016	594915	329940
5	501	217	As	0,7	2016	542606	298919
6	603	272	As	0,4	2017	433698	303235
7	208	170	Vrs	0,9	2017	427427	288323

Mežizstrādes atlieku atkārtotai uzskaitēi un uzmērīšanai izveidoti parauglaukumi ($4 \times 6 \text{ m}$) uz pievešanas ceļiem (1.15. attēls), turklāt tie ietver ne tikai pievešanas ceļu, bet metru uz abām pusēm no ceļa. Šādi parauglaukumi audzē izvietoti uz pievešanas ceļa ik pēc 40 metriem. Analizētajos nogabalos ierīkoti 5 - 8 parauglaukumi. To skaits nogabalā bija atkarīgs no kopējā pievešanas ceļu garuma. Katrā parauglaukumā uzskaitītas visas egles mežizstrādes atliekas, kuru tievgaļa diametrs lielāks par 10 cm. Katra mežizstrādes atlieka novērtēta, izmērot diametru, nosakot vai atlieka ir trupējusi, sausa, vai tā reprezentē galotni. Visām atliekām novērtēta sakņu piepes augļķermeņu un citu augļķermeņus veidojošo sēņu sastopamība. Sēņu sugas, kuras nebija iespējams noteikt mežā, nogādātas LVMI Silava, lai noteiktu pēc mikroskopiskajām pazīmēm.



1.15. att. Uz pievešanas ceļa ierīkoto parauglaukumu shematisks attēlojums

1.7.2. Rezultāti

2021. gadā apsekojot krājas kopšanas cirtes 7 audzēs, kopā apsekoti 39 parauglaukumi. Pavisam uzskaitītas 25 sēņu sugas (1.10. tabula), visbiežāk sastopamā ir *Armillaria* spp., kas tika konstatēta visos analizētajos parauglaukumos. Nevienā no analizētajiem parauglaukumiem netika konstatēta sakņu piepe (*Heterobasidion* spp.). Turklāt netika atrastas arī retas vai aizsargājamas sēņu sugas, kas veido augļķermeņus.

1.10. tabula. Konstatētas sēņu sugas

Sēņu suga	Audzēs, kurās konstatēta attiecīgā sēņu suga, Nr.*
<i>Amphinema byssoides</i>	4, 5, 6
<i>Antrodia serialis</i>	5, 6
<i>Armillaria sp.</i>	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
<i>Ascocoryne sp.</i>	1, 5
<i>Botryobasidium sp.</i>	4, 5
<i>Calocera sp.</i>	1, 2, 3, 4, 5
<i>Dacrymices sp.</i>	3,5,7
<i>Disporaea sp.</i>	2
<i>Exidia sp.</i>	5
<i>Fomitopsis pinicola</i>	4, 5
<i>Hyphoderma praetermissum</i>	5
<i>Marasmius sp.</i>	5
<i>Mycena hlorā</i>	1,2,5
<i>Mycena sp.</i>	1,2, 4
<i>Myxomycetes sp.</i>	1,2,3, 5
<i>Neonectria fuckeliana</i>	5
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	5
<i>Phlebiella vaga</i>	7
<i>Trichoderma sp.</i>	1,2,3,5,6,7
<i>Physisporinus vitreus</i>	5
<i>Postia caesia</i>	1,2,5
<i>Postia stiptica</i>	4, 5
<i>Resinicium bicolor</i>	1, 2, 3
<i>Trichaptum abietinum</i>	1, 5
<i>Tomentella sp.</i>	1, 2
<i>Tomentella terrestris</i>	7
<i>Trametes versicolor</i>	7

*pavisam apsektas 7 audzēs

1.7.3. Secinājumi

1. Kopšanas cirtēs atstātās 4-5 gadus vecas egles koksnes mežistrādes atliekas analizētajās audzēs neveicina sakņu piepes izplatību ar bazīdijsporām.
2. Uz analizētajām atliekām netika atrasti retu vai aizsargājamu sēņu sugu augļķermeņi.

1.8. Sēņu un bezmugurkaulnieku daudzveidība trupējušā egles koksne

Liela daļa no sēnēm noārda atmirušo koksni. Nepārtrauktā mijiedarbība starp koksni noārdošajām sēnēm un kokiem ir viens no nozīmīgākajiem procesiem mežu ekosistēmā (Ottosson, 2013). Mūsu iepriekšējie pētījumi parāda, ka Latvijā, audzēs, kur egle ir galvenā kokaugu suga, vairāk nekā 20% egļu ir trupējušas, turklāt visbiežāk sakņu un stumbra trupi izraisa sakņu piepe *Heterobasidion* spp. (Arhipova *et al.*,2011). Kā viens no sakņu piepes

ierobežošanas veidiem tiek rekomendēts trupējušu mežizstrādes atlieku izvākšana no meža, tomēr, pirms dažādu apsaimniekošanas pasākumu veikšanas, ir svarīgi izvērtēt pielietotās metodes ietekmi gan uz trupi izraisīto, gan citu koksni kolonizējošo sēņu sastopamību. Pētījums par sēņu sugu sastopamību uz trupējušām egles koksnes mežizstrādes atliekām, kas inficētas ar *Heterobasidion*, uzsākts ar mērķi - novērtēt, kādas koksni kolonizējošās sēņu sugas sastopamas uz šādām atliekām un kā to izvākšana no meža varētu ietekmēt citu sēņu sugu daudzveidību.

1.8.1. Materiāli un metodes

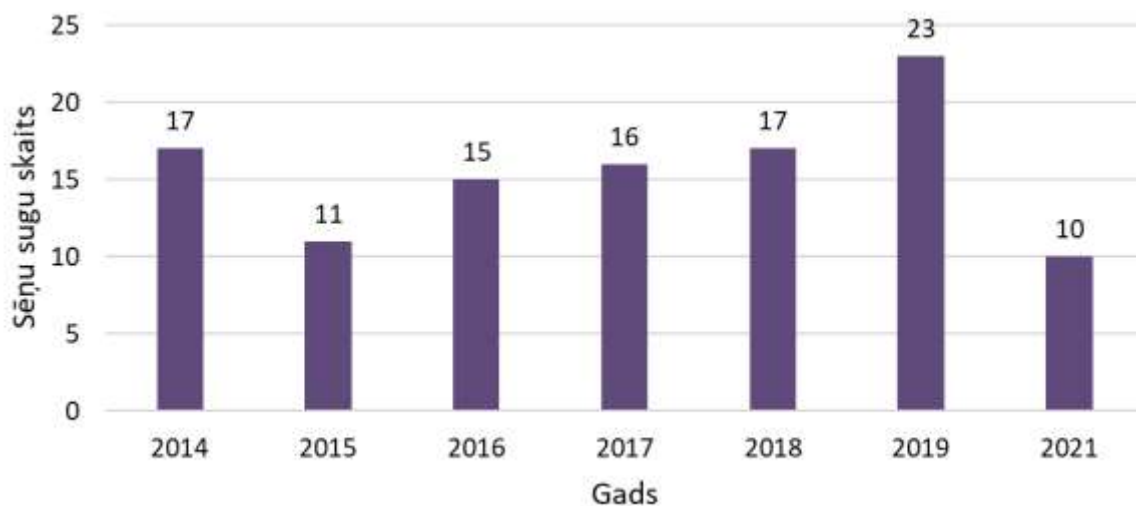
2011. gada augustā MPS Kalsnavas mežu novadā divos parauglaukumos Kp (139. kv. 15. nog.) un Dm (139. kv. 2. nog.) meža tipos kopā tika izvietota 61 trupējusi maza diametra (4,5-11,2cm) egles koksnes atlieka, kas zāģēta no paaugas eglēm 13. kv. 12. nogabalā (Ln). Laika periodā no 2014. līdz 2021. gadam 7 gadus (izņemot 2020. gadu) no augusta līdz oktobrim, atkarībā no meteoroloģiskajiem apstākļiem, veikta sēņu sugu daudzveidības uzskaitē. Pētījuma laikā daļa atlieku no eksperimentālajiem parauglaukumiem ir izvāktas, tādēļ 2021. gadā kopā analizētas 36 atliekas: 31 atlieka Kp meža tipā un piecas Dm meža tipā.

Koksni kolonizējošo sēņu sugu novērtējums veikts, vizuāli fiksējot sēņu auglķermeņus un rizomorfas. Uz katras atliekas fiksētie vienas sēņu sugas auglķermeņi uzskatīti kā viens novērojums. Tika noteiktas ne tikai piepes, bet arī cepurīšu sēnes un klājeniskās sēnes. Daļu sēņu lauka apstākļos nebija iespējams noteikt līdz sugas vai ģints līmenim, tādēļ tika ievākti to paraugi un sugas noteiktas laboratorijas apstākļos, izmantojot gaismas mikroskopu. Sēņu sugas noteiktas pēc micēlija, sporu un auglķermeņu morfoloģiskajām pazīmēm, izmantojot sēņu sugu noteicējus (Lesoe 1998; Breitenbach, Kränzlin 1986) un interneta resursus (Robert *et al.*, 2005).

1.8.2. Rezultāti

2021. gadā sēņu sugu novērtējums uz trupējušām mežizstrādes atliekām veikts 12. oktobrī. Pavisam konstatētas 10 sēņu sugas, visbiežāk atrastas celmenes *Armillaria* rizomorfas – uz 31 atliekas. Citas uz atliekām konstatētās sēņu sugas: *Ascocoryne cylichnium* (12 atliekas), *Athelia decipiens* (1), *Athelia* sp. (5), *Galerina* sp. (2), *Heterobasidion* sp. (4), *Mycena leptcephala* (1), *Resinicium bicolor* (4), *Tomentella* sp. (1) un *Geoglossales* (1). Visas konstatētās sēņu sugas ir bieži sastopamas un saprofitiskas (izņemot *Heterobasidion* sp., kas ir patogēna suga).

Kopš pētījuma sākuma, kopā konstatēti 54 sēņu taksoni. Salīdzinot ar citiem apsekojuma gadiem, 2021. gadā konstatēts mazāks sēņu sugu skaits (1.16. attēls). Iespējams tas skaidrojams ar ilgstošu karstuma periodu vasaras mēnešos, kas varēja negatīvi ietekmēt auglķermeņu veidošanos. Pētījuma norises laikā visbiežāk konstatētās sēņu sugas bija *Armillaria* sp., *A. cylichnium*, *R. bicolor* (visos novērojumu gados), *Heterobasidion* sp., *Mycena leptcephala* un *Botrybasidium* sp.



1.16. att. Konstatēto sēņu sugu skaits dalījumā pa gadiem

Uz eksperimentā izmantotajām atliekām nav konstatētas retas vai aizsargājamas sēņu sugas. Jāatzīmē, ka vairums eksperimentā izmantoto atlieku 2021. gadā, īpaši Kp meža tipā izvietotās, bija stipri sadalījušās, kas arī varēja ietekmēt sēņu sugu sastopamību. Turklāt sēņu sugu uzskaitē veikta oktobrī, kad, iespējams, daļa cepurīšu sēņu pēc auglķermeņiem vairs nebija nosakāmas.

1.8.3. Secinājumi

Ar sakņu piepi inficētu mazu dimensiju (4-11 cm) egles koksnes mežizstrādes atlieku izvākšana neietekmē trupējušu koksni kolonizējošo sēņu bioloģisko daudzveidību.

1.9. Sagatavota zinātniskā publikācija

Pārskata periodā sagatavotas trīs publikācijas. Publikācija par ķīmisko un bioloģisko celmu aizsardzības līdzekļu efektivitāti ir publicēta žurnālā *Forests* 2021. gada maijā (1.17. attēls). Publikācija par sakņu piepes genotipu attīstību kūdras augsnes sagatavota līdz 2021. gada novembrim un iesniegta *Canadian Journal of Forest Research* (1.18. attēls). 2022. gada janvārī no žurnāla redakcijas saņemtas divas recenzijas un šobrīd manuskriptā tiek veikti attiecīgie labojumi.

Article

Control of Heterobasidion in Norway Spruce Stands: The Impact of Stump Cover on Efficacy of Urea and *Phlebiopsis gigantea* and Implications for Forest Management

Astra Zaluma ^{1,*}, Patrick Sherwood ², Leana Bruma ³, Uvis Skola ^{1,5}, Talis Gaitnieks ¹ and Jonas Rönnerberg ²

- ¹ Latvian State Forest Research Institute Silava, Riga Street 11, LV-2109, Rēzekne, Latvia; astra.zaluma@silava.lv (A.Z.); talis.gaitnieks@silava.lv (T.G.)
- ² Swedish Forestry Research Centre, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 100, SE-2402 Lomma, Sweden; zarnad@silva.slu.se (P.S.); jonas.ronnerberg@silva.slu.se (J.R.)
- ³ SA Bērniecietis Latvia, Mēta Iela 4, Jūrmala, LV-9114, Jūrmala, Latvia
- ⁴ Correspondence: astra.zaluma@silava.lv; Tel.: +371 22 961766

Abstract: This study investigated the efficacy of *Bobtop*[®], a native Latvian *Phlebiopsis gigantea* strain and 25% urea solution in combination with a stump cover treatment to control against natural spore infection by *Heterobasidion* spp. upon post-commercial thinning of Norway spruce in three stands growing on former agricultural lands. The major findings were that (i) infection rates of *Heterobasidion* spp. on stumps treated with the native *P. gigantea* strain, *Bobtop*[®] or urea are similar when stumps are uncovered, and (ii) stump cover promotes stump colonization by the Latvian *P. gigantea* strain and *Bobtop*[®], leading to a significantly smaller relative area colonized by *Heterobasidion* spp., as well greater efficiency against *Heterobasidion* in comparison with urea. Covering of stumps appears beneficial for controlling *Heterobasidion* stump colonization and may be valuable to forest owners if used in small-scale operations, but it is important in automated thinning, where managers should consider using regular *Bobtop*[®] without covering the stumps.

Keywords: biological control; *Bobtop*[®]; urea treatment; natural bioturbation; agricultural land

Check for updates
 Citation: Zaluma, A.; Sherwood, P.; Bruma, L.; Skola, U.; Gaitnieks, T.; Rönnerberg, J. Control of Heterobasidion in Norway Spruce Stands: The Impact of Stump Cover on Efficacy of Urea and *Phlebiopsis gigantea*.

Spread of Heterobasidion genotypes in Norway spruce stands on drained peat soil	
Journal:	Canadian Journal of Forest Research
Manuscript ID:	CJFR-2021-0388
Manuscript Type:	Article
Date Submitted by the Author:	05 Nov 2021
Complete List of Authors:	Zaluma, Astra; Latvian State Forest Research Institute Silava; Skola, Uvis; Latvian State Forest Research Institute Silava; Bruma, Leana; Latvian State Forest Research Institute Silava; Sherwood, Patrick; Swedish University of Agricultural Sciences; Rönnerberg, Jonas; Latvian State Forest Research Institute Silava; Gaitnieks, Talis; Latvian State Forest Research Institute Silava; P.S.; Talis; Latvian State Forest Research Institute Silava
Keywords:	Forest sites; drained peat soil; spore infection; mycelium spread; Heterobasidion spp.; genetic
Is this article currently for consideration in a Special Issue?	Not applicable (regular submission)

SCHOLIX®
 Manuscripts

1.17. att. Publikācija žurnālā *Forests*

1.18. att. Manuskripts žurnālā *Canadian Journal of Forest Research*

Publikācija par sēņu sugu daudzveidību priedes koksņē iesniegta žurnālā *Trees* 2021. gada novembrī (1.19. attēls), bet vēl nav saņemts vērtējums.

Trees

Long-term pathological consequences of resin tapping wounds on stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	TSAF-D-21-00381	
Full Title:	Long-term pathological consequences of resin tapping wounds on stems of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	
Article Type:	Original Article	
Keywords:	Pinus sylvestris; resin tapping; stem wounds; fungal infection; <i>Porodectalea pini</i>	
Corresponding Author:	Astra Zaluma Latvijas Valsts mežzinātnes institūts Silava LATVIA	
Corresponding Author Secondary Information:		
Corresponding Author's Institution:	Latvijas Valsts mežzinātnes institūts Silava	
Corresponding Author's Secondary Institution:		
First Author:	Astra Zaluma	
First Author Secondary Information:		
Order of Authors:	Astra Zaluma Zane Strike Raitis Rieksts-Riekstiņš Talis Gaitnieks Rimvydas Vasaitis	
Order of Authors Secondary Information:		
Funding Information:	Latvijas valsts meži (5-5.9.1_007q_101_21_794)	Ms. Astra Zaluma

1.19. att. Publikācijas manuskripts žurnālā *Trees*

2. ALTERNATĪVA CELMU APSTRĀDES PREPARĀTA IZSTRĀDE LĪDZ ŠIM PIELIETOTAJAM ROTSTOP, TĀ EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS

Priede ir *P. gigantea* primārais saimniekaugs (Tubby *et al.*, 2008), tāpēc bioloģiskais celmu aizsardzības līdzeklis, kas satur *P. gigantea* sporas ir efektīvāks priedes koksnē (Sun *et al.*, 2009 Kenigvalde *et al.*, 2016; Tubby *et al.*, 2008). Tādēļ ir būtiski bioloģiskā celmu aizsardzības līdzekļa sastāvā iekļaut lielās pergamentsēnes izolātus un sēņu sugas, kuras veiksmīgi spētu kolonizēt arī egles koksnī, nodrošinot augstāku egles celmu aizsardzību. Darba mērķis ir izstrādāt bioloģisko preparātu - alternatīvu līdz šim Latvijas mežsaimniecības praksē pielietotajam somu preparātam Rotstop.

2.1. Somijā ražotā preparāta Rotstop efektivitātes monitorings un vietējo *P. gigantea* izolātu pārbaude

Bioloģiskā preparāta Rotstop sastāvā ir viens lielās pergamentsēnes izolāts (Korhonen *et al.*, 1994). Lai ilgtermiņā novērstu viena ģenētiski viendabīga izolāta ietekmi uz citu celmus kolonizējošo sēņu daudzveidību (Vasiliauskas *et al.*, 2004; 2005), ieteicams izmantot vietējās izcelsmes lielās pergamentsēnes sēņu izolātus. Citu autoru pētījumos (Pratt *et al.*, 2000) rekomendēts bioloģisko preparātu sastāvā esošos izolātus ik pēc diviem gadiem aizstāt ar citiem, lai garantētu celmu apstrādes efektivitāti. *P. gigantea* izolātu efektivitāte pret sakņu piepi pamatā ir atkarīga no sēnes micēlija augšanas ātruma koksnē (Sun *et al.*, 2009). Lielās pergamentsēnes izolātu īpašības var ietekmēt arī koku suga – Rotstop sastāvā esošais izolāts ir izdalīts no egles un, iespējams, tas arī nosaka preparāta augsto efektivitāti egļu celmos. 2021. gadā egles un priedes koksnē novērtēts 20 *P. gigantea* izolātu augšanas ātrums, kas salīdzināts ar bioloģiskā preparāta Rotstop sastāvā esošo *P. gigantea* izolātu. Eksperimentā izmantoti 10 *P. gigantea* izolāti, kas izdalīti no egles koksnē un 10 *P. gigantea* izolāti, kas izdalīti no priedes koksnē.

2.1.1. Lauka darbu metodika *P. gigantea* izolātu augšanas ātruma novērtēšanai

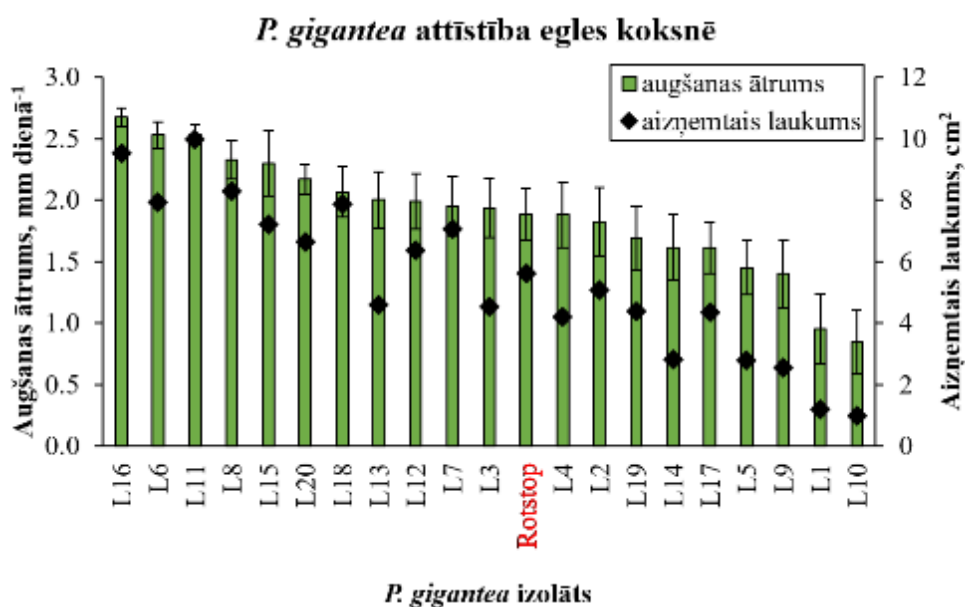
MPS Kalsnavas mežu novada teritorijā nozāģētas divas egles un divas priedes, kas sadalītas vienu metru garos nogriežņos un nogādātas eksperimenta ierīkošanas vietā. Vienu stundu pirms eksperimenta ierīkošanas metru garie nogriežņi sazāģēti 20 – 30 cm garos blukšīšos. Katra blukšīša augšējās virsmas aplievas daļā ar urbja palīdzību iestrādātas 10 - 11 bedrītes (diametrs 1,5 cm). Katrs *P. gigantea* izolāts analizēts 14 atkārtojumos egles koksnē un 20 atkārtojumos priedes koksnē.

P. gigantea izolāti laboratorijas apstākļos Petri platēs ar iesala-agara barotni inkubēti trīs nedēļas. Laboratorijā (3-4 stundas pirms eksperimenta ierīkošanas) sagatavota katra *P. gigantea* izolāta sporu suspensija ar sporu koncentrāciju 5000 sporas uz mililitru. Lauka apstākļos 0,4 mL sagatavotās attiecīgā *P. gigantea* izolāta suspensijas ar automatiskās pipetes palīdzību iepilināti bedrītē. Pēc tam visi blukšīši novietoti zem nojumes un inkubēti 3 – 4 nedēļas, periodiski veikta blukšīšu laistīšana, lai nodrošinātu nepieciešamos mitruma apstākļus *P. gigantea* attīstībai.

Pēc inkubācijas no katra bluķīša augšējās virsmas nozāģētas četras 2 – 3 cm biezas ripas un nogādātas laboratorijā. Ripas nomizotas, nomazgātas un ievietotas vaļējos polietilēna maisos. Ripas inkubētas 5 – 7 dienas istabas temperatūrā. Pēc tam veikta ripu apskate un ar ūdensizturīgas krāsas marķieri atzīmēts *P. gigantea* aizņemtais laukums uz katras ripas virsmas pēc *P. gigantea* veidotā oranži – brūnā krāsojuma koksne. *P. gigantea* izolātu aizņemtie laukumi pārzīmēti uz caurspīdīgas plēves un uzmērīti izmantojot planimetru.

2.1.2. Rezultāti

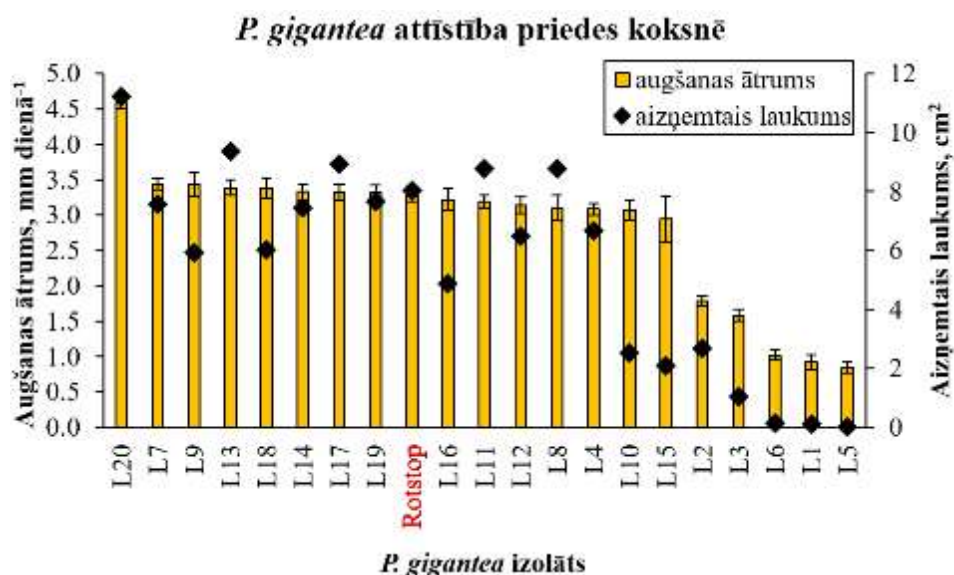
Divdesmit *P. gigantea* Latvijas izolātu vidējais augšanas ātrums egles koksne bija $0,85 \pm 0,26 \dots 2,67 \pm 0,07$ mm dienā⁻¹ (2.1. attēls). Konstatēts, ka *P. gigantea* Latvijas izolāti uzrāda līdzvērtīgas, vai pat augstākas vidējā augšanas ātruma vērtības, salīdzinot ar Rotstop – $1,89 \pm 0,21$ mm dienā⁻¹. Tomēr konstatētās atšķirības nav būtiskas ($p > 0,05$).



2.1. att. *P. gigantea* izolātu augšanas ātrums un aizņemtais laukums egles koksne

Salīdzinot analizēto *P. gigantea* izolātu vidēji aizņemto laukumu ($0,97 \pm 0,61 \dots 9,52 \pm 1,98$ cm²) secināts, ka tikai divi (*P. gigantea* izolāti L1 un L10) no 20 analizētajiem *P. gigantea* Latvijas izolātiem uzrāda būtiski mazāku vidēji aizņemto laukumu, salīdzinot ar Rotstop izolātu - $5,61 \pm 1,30$ cm² (2.1. attēls).

P. gigantea Latvijas izolātu vidējais augšanas ātrums priedes koksne bija $0,85 \pm 0,08 \dots 4,58 \pm 0,08$ mm dienā⁻¹, preparāta Rotstop - $3,27 \pm 0,08$ mm dienā⁻¹. Tikai četri *P. gigantea* Latvijas izolāti uzrādīja būtiski zemākas vidējā augšanas ātruma vērtības, salīdzinot ar Rotstop ($p < 0,05$) (2.2. attēls).



2.2. att. *P. gigantea* izolātu augšanas ātrums un aizņemtais laukums priedes koksnē

P. gigantea Latvijas izolātu vidēji aizņemtais laukums priedes koksnē bija $0,01 \pm 0,008 \dots 11,23 \pm 0,54 \text{ cm}^2$, no kuriem trīs *P. gigantea* izolāti (L1, L5 un L6) uzrādīja būtiski mazāku vidēji aizņemto laukumu, salīdzinājumā ar Rotstop - $8,02 \pm 0,42 \text{ cm}^2$.

Konstatēta būtiska pozitīva korelācija starp *P. gigantea* vidējo augšanas ātrumu un vidēji aizņemto virsmas laukumu gan priedes, gan egles koksnē ($R=0,942$ un $R=0,873$ (pie $\alpha=0,05$)). Mūsu 2021. gadā lauka apstākļos iegūtie dati liecina, ka lielākā daļa *P. gigantea* Latvijas izolātu uzrāda līdzvērtīgus augšanas rādītājus kā preparāts Rotstop. No analizētajiem *P. gigantea* izolātiem 11 izolāti egles koksnē un 1 izolāts priedes koksnē uzrādīja lielāku augšanas ātrumu salīdzinājumā ar Rotstop, vairākus Latvijas izcelsmes izolātus raksturo arī augstākas aizņemta laukuma vērtības koksnē (9 izolāti egles koksnē un 5 priedes koksnē). No 10 izolātiem, kas egles koksnē uzrādīja lielāku augšanas ātrumu un aizņemto laukumu salīdzinājumā ar Rotstop, 4 bija iegūti no egles, bet 6 no priedes koksnē. Priedes koksnē tikai izolāts L20 uzrādīja izteikti lielāku augšanas ātrumu un aizņemto laukumu, salīdzinājumā ar Rotstop un minētais izolāts bija iegūts no egles. Turpmākajā darbā tiks salīdzinātas no egles un priedes koksnē iegūto *P. gigantea* izolātu īpašības: sporu produkcija, antagonisms pret sakņu piepi, augšanas ātrums uz agara un koksnē, kā arī sēnes micēlija aizņemtais laukums koksnē. Aizņemtais laukums ir ļoti nozīmīgs rādītājs, jo tas raksturo izolāta spēju konkurēt ar sakņu piepi dziļāk koksnē (Zaluma *et al.*, 2019), tādējādi ierobežojot patogēna micēlija attīstību saknēs (Korhonen *et al.*, 1994, Pettersson *et al.*, 2003). Turpmākajos pētījumos, lai analizētu lielās pergamentsēnes efektivitāti pret sakņu piepi, tiks izmantoti izolāti L8, L11, L16 un L20, kas, salīdzinājumā ar Rotstop, uzrādīja lielāku augšanas ātrumu un aizņemto laukumu gan egles, gan priedes koksnē.

2.1.3. Secinājumi

1. No egles un priedes koksnē izdalītie lielās pergamentsēnes vietējās izcelsmes izolāti uzrāda augstākas vai līdzvērtīgas micēlija attīstību raksturojošās vērtības, salīdzinājumā ar Rotstop.
2. Latvijas *P. gigantea* izolāti, salīdzinot ar Rotstop, sekmīgāk kolonizē egles koksnē.

2.2. Celmus kolonizējošo sēņu izmantošanas potenciāls bioloģisko preparātu efektivitātes uzlabošanā

Celmu bioloģisko aizsardzības līdzekļu efektivitāti pret sakņu piepi varētu paaugstināt, izmantojot vairākas sēņu sugas. Sēnes, atkarībā no to sugas, kolonizē koksni atšķirīgās sadalīšanās pakāpēs, turklāt tās aizņem dažādas ekoloģiskās nišas, tādēļ vairākas sēņu sugas bioloģiskā preparāta satāvā varētu efektīvāk samazināt to substrāta (veselās koksnes) daudzumu, ko potenciāli varētu kolonizēt priežu vai egļu sakņu piepe. Pētījumi, kas veikti Somijā, parāda, ka *Chondrostereum purpureum* kopā ar *P. gigantea* palielina *P. gigantea* efektivitāti pret *H. parviporum* (Hamberg *et al.*, 2012). Citā pētījumā (Oliva *et al.*, 2017) noskaidrots, ka *Debaryomyces* ģints sēnes veicina Rotstop preparāta efektivitāti.

Mūsu pētījuma ietvaros paredzēts novērtēt citu celmus kolonizējošo sēņu izmantošanas potenciālu bioloģisko preparātu efektivitātes uzlabošanā, lai ierobežotu sakņu piepes infekciju. Pētījumi ir uzsākti 2021. gada oktobrī.

Koksni noārdošo sēņu *Sistotrema brinkmannii*, *Bjerkandera adusta*, *Resinicium bicolor*, *Hypholoma fasciculare* un *Hypholoma capnoides* antagonisms pret *Heterobasidion* spp. ir pierādīts vairākos eksperimentos gan *in vitro*, gan *in vivo* (Rishbeth, 1970; Chapela, 1989; Holmer, Stenlid, 1993; Nicolotti *et al.*, 1999). Turklāt *R. bicolor* un *Hypholoma* spp. pieder pie kordas veidojošām sēnēm, kas koksni kolonizē ar micēlija veidojumu – kordu palīdzību izplatoties augsnē, tādējādi potenciāli limitējot arī *Heterobasidion* sekundāro izplatību saknēs (Boddy, 2000). Mūsu pētījumā pārbaudīts vairāku egļu celmus kolonizējošo bazīdijsēņu antagonisms pret *Heterobasidion annosum* un *H. parviporum* un novērtēts to izmantošanas potenciāls sakņu trapes ierobežošanai. Pavisam ierīkoti 3 dažādi eksperimenti:

- 1) laboratorijā uz iesala-agara barotnēm, pārbaudot antagonismu pret *Heterobasidion annosum* un *H. parviporum*;
- 2) novērtējot sēņu antagonismu uz priedes un egles koksnes ripām;
- 3) klimata kamerā, izmantojot priedes un egles koksnes blukšus.

2.2.1. Materiāli un metodes

2.2.1.1. Laboratorijas darbu metodika

Visos trīs pētījumos izmantotas četras sēņu sugas (*Bjerkandera adusta*, *Hypholoma fasciculare*, *Resinicium bicolor* un *Sistotrema brinkmannii*).

2021. gada vasarā uzsākts pētījums laboratorijas apstākļos, atlasīti sēņu izolāti, pārstādītas tīrkultūras un pārbaudīts to augšanas ātrums un antagonisms pret abām Latvijā sastopamām *Heterobasidion* sugām: *H. annosum* un *H. parviporum* (2.1. tabula).

2.1. tabula. Pētījumā izmantoto sēņu izolātu apraksts

Sēņu suga	Izolāts	Numurs NCBI Genbank datubāzē	Izcelsme	Koku suga
<i>Pelēkā dūmaine</i> <i>Bjerkandera adusta</i>	B25		Īle	egle
	B50	FJ903311	Tērvete	egle
	E67		Talsi	egle
	E182		Cēsis	egle
	I216		Šķēde	baltalksnis
	I345	GU062301	Kalsnava	baltalksnis
	L38A		Skrīveri	egle
	L38B		Misa	egle
	M59	JF340266	Kalsnava	melnalksnis
	M108		Kalsnava	melnalksnis
M111		Kalsnava	melnalksnis	
Brinkmaņa sistotrēma <i>Sistotrema brinkmannii</i>	B5	FJ903297	Tukums	egle
	E136		Tukums	egle
	I390	GU062313	Kalsnava	baltalksnis
	I409		Kalsnava	baltalksnis
	P31		Tukums	priede
	S73	MK911637	Durspupe	egle
Divkrāsu sveķsēne <i>Resinicium bicolor</i>	N50		Zviedrija	egle
	O4		Ogre	egle
	S37		Ogre	egle
	S84		Stende	egle
	SR26A		Ogre	egle
	SR26B	MK911661	Stende	egle
	SR49		Ogre	egle
Rūgtā sērsēne <i>Hypholoma fasciculare</i>	SR73	MK911689	Ogre	egle
	SR108		Jaunpils	egle
Priežu sakņupiepe <i>Heterobasidion annosum</i>	HAZ		Zvirgzde	Klinškalnu priede
Egļu sakņupiepe <i>Heterobasidion parviporum</i>	HPO		Ogre	egle

Lai noteiktu katra sēņu izolāta augšanas ātrumu, neliels agara bloks (5x5 mm) tika izgriezts no katra izolāta tīrkultūras un pārnesti uz Petri trauku ar iesala-agara barotni (divos atkārtojumos). Micēlija augšanu izmērīja katru otro dienu izmantojot lineālu.

Lai novērtētu izvēlēto sēņu izolātu antagonismu pret *Heterobasidion* spp., no pārbaudāmā sēņu izolāta izgriezta agara bloku un novietoja Petri platē ar iesala-agara barotni tuvu plates malai. Pretējā pusē novieto tādu pašu agara bloku, kas izgriezts no *Heterobasidion annosum* vai *H. parviporum* tīrkultūras. Pēc 14 un 25 dienām novērtē sēņu mijiedarbību: vai pārbaudāmais sēņu izolāts uzauga virsū *Heterobasidion* izolātam (izaugušā micēlija platums) vai izveidojas demarkācijas līnija (tās platums), vai antagonisms nav novērots, vai *Heterobasidion* uzauga virsū pārbaudāmai kultūrai. Sēnes, kas uzrāda labāko antagonismu pret abām *Heterobasidion* sugām, tiks izmantotas turpmākajos eksperimentos koksne. 2021. gada augustā tika apkopoti rezultāti un, balstoties uz iegūtajiem datiem, atlasīti izolāti turpmākai pārbaudei egles un priedes koksne. Eksperimentā izmantots *P. gigantea* izolāts 382, *Hypholoma fasciculare* SR 73, *Resinicium bicolor* S84, Rotstop.

No katras iegūtās sēnes izolāta kultūras, tai skaitā Rotstop izolāta, ar liesmā sterilizētu metāla cilindru iegūti vienādi micēlija gabaliņi un, izmantojot sterilizētu metāla preparējamo adatu, atsevišķi ievietoti Petri platēs ar iesala – agara barotni. Katram izolātam trīs atkārtojumi. Izolāti inkubēti vienu mēnesi 20 °C temperatūrā. Pēc inkubācijas no katra izolāta tīrkultūras ar

10 mL ūdens, izmantojot stikla špateli, noskalotas oīdijas, konīdijporas un pagatavota suspensija vienā litrā krāna ūdens. Ar automātisko pipeti paņemti 1 mL *P. gigantea* suspensijas, kas pārnesta uz jaunu Petri plati, ar stikla špateli to vienmērīgi izklidējot pa visu Petri plates virsmu. *P. gigantea* oīdijas un pārējo sēņu sporas skaitītas Petri platē 20 mikroskopa redzeslaukos pie 100x palielinājuma. Noskaidrojot sporu skaitu, tiek veikts aprēķins, lai iegūtu kopējo oīdiju/sporu skaitu (miljonos) konkrētajam analizētajam izolātam pēc formulas:

$$N_{vid} = \frac{N_{sp.} \times S_p}{S_r \times 2000}$$

$N_{sp.}$ – vidējais sporu skaits vienā redzeslaukā; S_p – Petri plates laukums ($(\pi r^2, r=4,5 \text{ cm}, \pi \sim 3,14), \text{ cm}^2$); S_r – redzeslauka laukums ($0,0371 \text{ cm}^2$).

Laboratorijā (2 stundas pirms eksperimenta sākuma) pagatavota katras sēnes izolāta sporu suspensija ar sporu koncentrāciju 5000 sporas uz mililitru. No katras Petri plates noskaloto micēlija daudzumu sajauc ar litru dejonizēta ūdens. No iegūtā suspensijas šķīduma litra ar automātisko pipeti paņem katram izolātam aprēķināto suspensijas daudzumu (2.2. tabula) un pievieno ūdeni, lai kopējais tilpums būtu 1L. Suspensiju salēja 500 mL plastmasas pudelēs un ar permanento marķieri atzīmēja attiecīgo izolāta nosaukumu.

Vienu stundu pēc apstrādes ar sēņu suspensijām, bluķīši apstrādāti ar *H. annosum* konīdijsporu suspensiju ar koncentrāciju 500 sporas·mL⁻¹. 2021. gada oktobrī ierīkots papildus eksperiments, piesaistot līdzfinansējumu N. Burņevičas vadītajā pētījumā: “Sakņu trapes ierobežošana, izmantojot Latvijas izcelsmes sēņu izolātus”, lai analizētu *B. adusta* izolāta B25, un *S. brinkmannii* izolāta P31 ietekmi uz *P. gigantea* efektivitāti; šī pētījuma rezultāti vēl nav apkopoti.

2.2. tabula. Nepieciešamais suspensijas daudzums uz 1000 mL

Izolāts	Daudzums uz 1000 mL, mL
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	160,7
<i>Resinicium bicolor</i>	281,8
<i>Hypholoma fasciculare</i>	445,8
Rotstop	313

2.2.1.2. Materiāls bluķīšu un ripu eksperimentiem

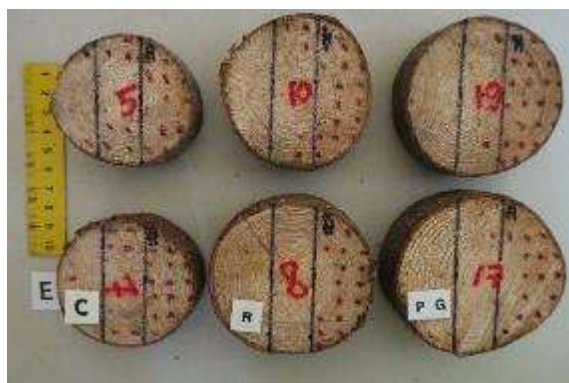
2021. gada 19. oktobrī ierīkots pētījums, izmantojot egles un priedes koksnes bluķīšus un ripas. MPS Kalsnavas mežu novadā 204. kv 28. nog., 150. kv.19. nog., 108. kv. 13. nog., 111. kv. 23. nog. tika izvēlētas un nozāģētas 50 egles un 50 priedes. Īpaši pievērša uzmanību, lai netiek izraisīti mizas bojājumi. No katra koka nozāģēja 50 cm garu nogriezni, ko nogādāja LVMI Silava Meža fitopatoloģijas un mikoloģijas laboratorijā. Tieši pirms eksperimenta ierīkošanas katru nogriezni sazāģē 30 cm garos bluķīšos (no katra nogriežņa gala tika nozāģēti 5-10 cm (lai izvairītos no sēņu kontaminācijas mežā) un no tievgaļa 2 cm bieza koksnes ripa turpmākajiem eksperimentiem, lai pārbaudītu atlasīto sēņu izolātu attīstību). Bluķīšus un koksnes ripas sanumurē. Ripu augšējā virsma ar ūdensizturīgas krāsas marķiera palīdzību sadalīta trīs daļās, pa vidu iezīmējot 2 cm platu joslu.

2.2.1.3. Apstrāde un inkubācija

Bluķīši un ripas ar sēņu suspensijām (suspensiju sagatavošana aprakstīta 2.2.1.1.2. nodaļā) apstrādāti tūlīt pēc to sazāģēšanas; kopā izmantoti 7 apstrādes varianti katrai koku sugai:

- 1) apstrāde ar ūdeni (kontrolē);
- 2) apstrāde ar Rotstop;
- 3) apstrāde ar vietējo *P. gigantea* 382 izolātu;
- 4) apstrāde ar *Hypholoma fasciculare*;
- 5) apstrāde ar *Resinicium bicolor*;
- 6) apstrāde ar jaukto suspensiju *Phlebiopsis gigantea* un *Resinicium bicolor*;
- 7) apstrāde ar jaukto suspensiju *Phlebiopsis gigantea* un *Hypholoma fasciculare*.

Ripas tika mitrinātas ar dejonizētu ūdeni, ripas vienā pusē uzklāts *Heterobasidion annosum* un *Heterobasidion parviporum* konīdijsporu suspensijas maisījums, bet otrā pusē attiecīgā apstrādes varianta suspensija (2.3., 2.4. attēli). Ripas inkubētas istabas temperatūrā 10 dienas. Bluķīši stundu pēc apstrādes ar potenciālajiem celmu aizsardzības līdzekļiem apstrādāti ar sakņu piepes sporu suspensiju.



2.3. att. Egles ripas 10 dienas pēc inkubācijas



2.4. att. Priedes ripas 10 dienas pēc inkubācijas

C - kontrolē (5 un 7), R - Rotstop (8 un 10), PG - *P. gigantea* 382 (17 un 19) izolāts; ripas vidējā josla visos apstrādes variantos, līdzīgi kā kontrolē sektors, apstrādāta tikai ar ūdeni

C – kontrolē (3 un 4), R - Rotstop (9 un 10), PG - *P. gigantea* 382 izolāts (18 un 20); ripas vidējā josla visos apstrādes variantos, līdzīgi kā kontrolē sektors, apstrādāta tikai ar ūdeni

Bluķīšu virsma tika mitrināta ar dejonizētu ūdeni un tad apstrādāta ar attiecīgo suspensiju. Stundu pēc apstrādes visi bluķīši tika apsmidzināti ar *Heterobasidion* konīdijsporu suspensiju un nogādāti inkubācijai klimata kamerās. Pavisam tika noteikts 30 dienu ilgs inkubācijas periods konstantā temperatūrā (21 °C) un mitrumā (90%) klimata kamerā.

2.2.1.4. Koksnes paraugu analīze

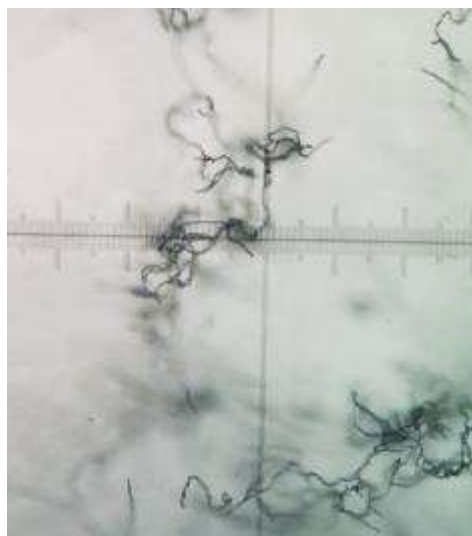
Bluķīšus pēc 30 dienu inkubācijas, vispirms veicot vienu taisnu un vienu slīpu iezāģējumu sānu virsmā, sazāģēja katru 3 cm biezās sešās ripās, tām atzīmējot virspusi un apakšpusi. Ripas sagatavoja inkubācijai, vispirms nomizojot un nomazgājot ar birsti zem tekoša ūdens. Pēc mazgāšanas ripas ievietoja polietilēna maisos mitruma nodrošināšanai ar atvērtiem

galiem gaisa cirkulācijai. Polietilēna maisus ievietoja kastē stāvus, kastes atstāja istabas temperatūrā inkubācijai (~20 °C) uz 7 dienām.

Pēc 7-10 dienu ilgas inkubācijas koksnes paraugi analizēti, nosakot *P. gigantea*, *H. fasciculare*, *R. bicolor* un *Heterobasidion* sastopamību (2.5., 2.6. attēli).



2.5. att. *H. annosum* konīdijnesēji



2.6. att. *P. gigantea* micēlijs

2.2.2. Rezultāti un to analīze

2.2.2.1. *In vitro* pētījumā iegūtie rezultāti

Šajā pētījumā kopumā izanalizēts 26 dažādu sēņu izolātu (11 *B. adusta*, 6 *S. brinkmanii*, 7. *R. bicolor* un 2 *H. fasciculare*) antagonisms pret diviem *Heterobasidion* izolātiem (*H. annosum* un *H. parviporum*). Iegūtie rezultāti ir apkopoti 2.3. tabulā.

2.3. tabula. Egles koksni kolonizējošo bazīdijsēņu micēlija augšanas ātrums un antagonisms pret *Heterobasidion* spp.

Sēņu suga	Izolāts	Micēlija vidējais augšanas ātrums, cm/dienā ±SD	Demarkācijas līnijas/pārauguma zonas platums, cm			
			<i>H.annosum</i>		<i>H.parviporum</i>	
			Pēc 14 dienām	Pēc 25 dienām	Pēc 14 dienām	Pēc 25 dienām
<i>Bjerkandera adusta</i>	B25	0,77±0,15	1,2*	2,0*	1,5*	2,5*
	B50	0,72±0,15	0,1	-	0,1	0,1
	E67	0,74±0,11	0,1	-	0,1	0,1
	E182	0,88±0,04	0,1	-	0,1	0,1
	I216	0,76±0,09	-	-	-	-
	I345	0,84±0,09	0,1	-	0,1	-
	L38A	0,42±0,08	0,1	0,1	0,2	0,1
	L38B	0,73±0,17	0,1	-	0,1	0,1
	M59	0,69±0,25	0,2*	0,5*	0,3*	0,4*
	M108	0,70±0,17	-	-	0,1	0,1
	M111	0,78±0,18	-	-	0,1	0,1
<i>Sistotrema brinkmannii</i>	B5	0,46±0,09	1,1	0,1	0,9	0,1
	E136	0,18±0,07	0,2	0,1	0,7	0,1
	I390	0,34±0,11	-	-	0,2	-
	I409	0,16±0,05	0,2	-	0,8	-
	P31	0,42±0,12	0,2	0,4*	0,1	0,7*
	S73	0,34±0,10	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>Resinicium bicolor</i>	N50	0,25±0,11	0,7	0,3	1,9	0,1
	O4	0,31±0,11	0,6	0,2	0,5	0,1
	S37	0,26±0,13	0,5	0,2	0,7	0,1
	S84	0,18±0,08	1,4	0,2	2,6	0,4
	SR26A	0,20±0,12	3,2	1,2	2,9	0,3
	SR26B	0,25±0,10	0,7	0,4	0,7	0,1
	SR49	0,28±0,13	2,1	0,2	0,6	0,1
<i>Hypholoma fasciculare</i>	SR71	0,06±0,04	0,6	0,2*	1,1	1,3*
	SR108	0,24±0,07	3,3	1,0	1,4	1,4

* Pārbaudāmā sēne uzauga virsū *Heterobasidion* micēlijam; - antagonisms nav novērots, *Heterobasidion* uzauga virsū pārbaudāmai sēnei.

Apkopojot iegūtos datus, secināts, ka visām pārbaudītajām bazīdijsēņu sugām konstatēti izolāti, kas uzrādīja izteiktu antagonismu pret abām *Heterobasidion* sugām. Kopumā, antagonistiskā ietekme konstatēta 3 *B.adusta*, 4 *S.brinkmannii*, 7 *R.bicolor* un 2 *H.fasciculare* izolātiem. Visizteiktāko antagonismu, sēnei pāraugot *Heterobasidion* spp. micēliju, novēroja 4 sēņu izolātiem: *B. adusta* izolātiem B25 (2.7., 2.8. attēli) un M59; *S. brinkmannii* izolātam P31 un *H. fasciculare* izolātam SR71 (2.9. attēls). *Bjerkandera adusta* izolāts L38A, *S. brinkmannii* izolāti B5, E136 un S73, visi *R.bicolor* izolāti (2.10. attēls) un *H. fasciculare* izolāts SR108 uzrādīja antagonismu pret *H. annosum* un *H. parviporum*, izveidojot demarkācijas līnijas starp pārbaudāmas sēnes micēliju un *Heterobasidion*. Pārējie pārbaudītie sēņu izolāti neuzrādīja antagonismu pret *Heterobasidion* spp. Sēņu izolāti, kas uzrādīja antagonistisko aktivitāti pret abām *Heterobasidion* sugām, tiks izmantoti turpmākajos eksperimentos koksne.



2.7. att. *Bjerkandera adusta* izolāta (BAB25) antagonisms pret *Heterobasidion annosum* s.s.(HAZ)



2.8. att. *Bjerkandera adusta* izolāta BAB25 antagonisms pret *Heterobasidion parviporum* (HPO)



2.9. att. *Hypholoma fasciculare* izolāta SR71 antagonisms pret *Heterobasidion parviporum* (HP)



2.10. att. *Resinicium bicolor* izolāta SR26B antagonisms pret *Heterobasidion annosum* (HA)

2.2.2.2. Sēņu antagonisms koksne -skuju koku ripās

Analizējot egles un priedes ripas pēc 10 dienu inkubācijas, konstatēts, ka visās kontrolei izmantotajās priedes un egles ripās, kas apstrādātas ar ūdeni un *Heterobasidion* suspensiju ir attīstījies *Heterobasidion* spp. Patogēna micēlijs no 98 analizētajām priedes un egles ripām nebija attīstījies 4 priedes ripās. Analizējot *Heterobasidion* attīstību “vidus joslā”, kas netika apstrādāta, konstatēts, ka tikai 3 priedes ripās, kas inokulētas ar vietējo *P. gigantea* izolātu (382) ir konstatēta patogēna attīstība. Tomēr egles koksne šādas likumsakarības netika konstatētas un sešās no septiņām analizētajām ripām, kas apstrādātas ar *P. gigantea* 382 izolātu, vidus joslā tika atrasti *Heterobasidion* spp. konīdijnesēji.

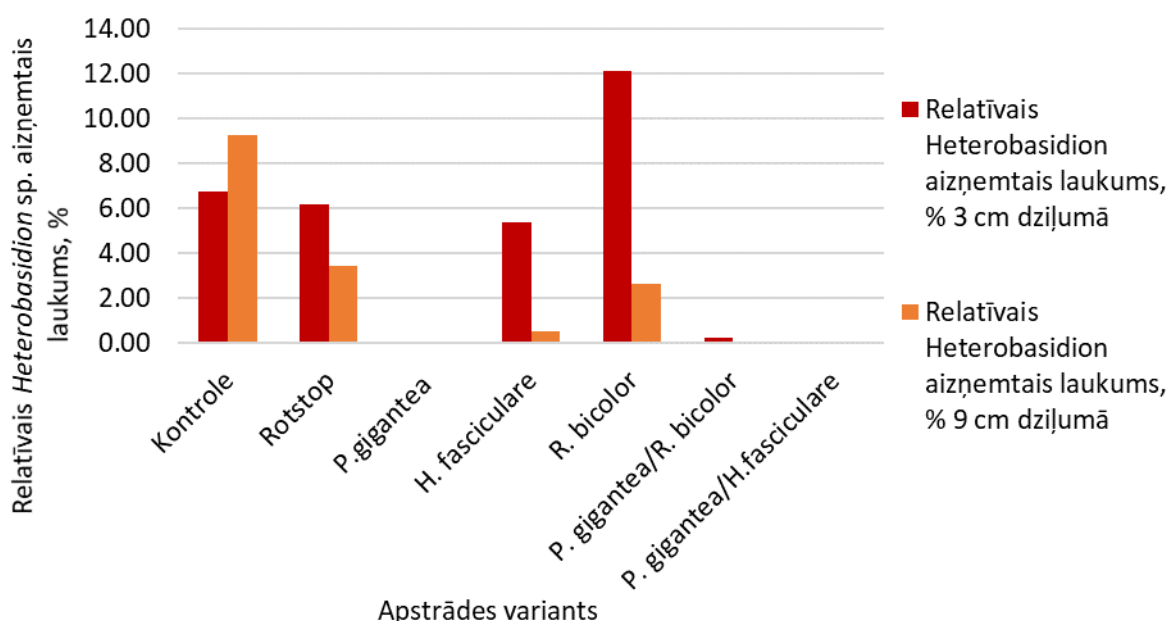
Jāatzīmē, ka pēc 10 dienu inkubācijas egles koksnes iekrāsojums būtiski ($p < 0,05$) biežāk konstatēts tām ripām, kas apstrādātas ar jaukto *P. gigantea* / *H. fasciculare* un *P. gigantea* / *R. bicolor* suspensiju, salīdzinot ar citiem apstrādes variantiem. Ņemot vērā neilgo inkubācijas periodu (tā kā ripas nebija mizotas, tad turpmāko micēlija attīstību varēja ietekmēt uz ripām konstatētā *Trichoderma* spp.) nav iespējams izdarīt secinājumus par sēņu izolātu un to suspensiju ietekmi uz *Heterobasidion* attīstību, jo lielākajā daļā koksnes ripu gan patogēns, gan

analizēto sēņu micēlijs bija tikai sācis attīstīties vidus joslā. Metodika izmantojama turpmākajos pētījumos, sēņu inkubācijai nodrošinot 14-20 dienas, kā arī ierobežojot *Trichoderma* attīstību.

2.2.2.3. Sēņu antagonisms koksne - bluķīšos

Analizējot iegūtos rezultātus (kopā apstrādāti dati par 588 koksnes paraugiem no 49 priedes un 49 egles bluķīšiem), konstatēts, ka piecos no septiņiem kontrolē izmantotajiem egles bluķīšiem sakņu piepes infekcija ir attīstījusies, aizņemot vidēji 7 - 9 % no ripas laukuma 3 un 9 cm dziļumā (2.11. attēls). Iegūtie rezultāti liecina, ka viszemāko antagonismu pret sakņu piepi egles koksne uzrāda *Resinicium bicolor*. Konstatēts, ka 3 cm dziļumā ar *R. bicolor* apstrādātajiem koksnes paraugiem *Heterobasidion* spp. konīdijnesēji tika konstatēti piecos bluķīšos (tomēr 9 cm dziļumā infekcija konstatēta vairs divos bluķīšos). Kontrolē izmantotajiem bluķīšiem sakņu piepes infekcija biežāk konstatēta 9 cm dziļumā, salīdzinot ar 3 cm dziļumu (attiecīgi piecos un divos bluķīšos). Iegūtie rezultāti kontroles bluķīšos skaidrojami ar mitrumu režīma atšķirībām bluķīša virsmā.

Turklāt egles koksne, analizējot micēlija attīstību 3 cm dziļumā, nav konstatētas būtiskas atšķirības *Heterobasidion* spp. aizņemtajam relatīvajam laukumam kontroles paraugiem un ar *Resinicium bicolor* apstrādātajiem ($p > 0,05$, *wilcoxon test*), kas norāda uz sēnes vājo antagonismu (2.11. attēls). Līdzīgi rezultāti ir iegūti arī citu autoru pētījumā, analizējot *Heterobasidion* sp. attīstību Sitkas egles celmos. Minētajā pētījumā (Redfern *et al.*, 1997) secināts, ka *Resinicium bicolor* un *H. fasciculare* vairāk sastopamas celmos, kas apstrādāti ar augstas koncentrācijas *Heterobasidion* spp. konīdijsporu suspensiju, salīdzinot ar celmiem, kas apstrādāti ar mazāku daudzumu sporu.



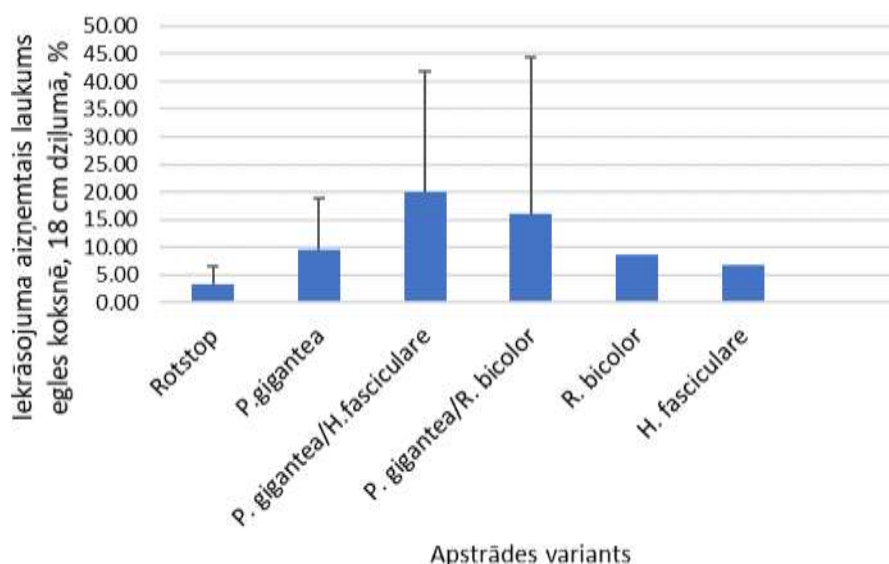
2.11. att. Relatīvais *Heterobasidion* sp. aizņemtais laukums (%) egles bluķīšos 3 un 9 cm dziļumā

Visaugstāko efektivitāti egles koksne uzrādīja *P. gigantea* un *P. gigantea* jauktā suspensija ar *H. fasciculare* gan 3 cm gan, 9 cm dziļumā, kas pilnībā ierobežoja *Heterobasidion* konīdijsporu infekciju (2.11. attēls). Mūsu iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka *P. gigantea* attīstības ātrumu/ieaugšanas dziļumu egles koksne ietekmē gan izvēlētais izolāts, gan citu sēņu klātbūtne celmā. Piemēram, *P. gigantea* un *H. fasciculare* jauktā suspensija 3 cm dziļumā vidēji aizņēma

92% kopējā virsmas laukuma, *P. gigantea* 52% no laukuma virsmas, bet Rotstop tikai 39 %, kas ir būtiski ($p < 0,05$) mazāk nekā *P. gigantea* un *H. fasciculare* jauktā suspensija. Turklāt, iegūtie dati liecina, ka vislielākais izaugšanas ātrums konstatēts egles bluķīšos, kas apstrādāti ar suspensiju, kuras sastāvā ir gan *P. gigantea*, gan *H. fasciculare* sporas (2.12. attēls), tomēr atšķirības aizņemtajam laukumam 18 cm dziļumā, salīdzinot visus apstrādes variantus, nav būtiskas ($p > 0,05$).

Priedes koksne *Heterobasidion* spp. konstatēts divos no septiņiem kontrolē izmantotajiem koksnes bluķīšiem, bet infekcija netika atrasta nevienā no apstrādes variantiem. Iegūtie rezultāti norāda uz priedes koksnes augsto rezistenci pret sakņu piepi, kas pierādīta jau iepriekš veiktajos LVMI Silava pētījumos (Zaluma *et al.*, 2015). Jāatzīmē, ka visu analizēto sēņu izolātu un to maisījumu izraisītais koksnes iekrāsojums 3 cm dziļumā priedes koksne aizņēma vairāk nekā 80% no kopējā laukuma. Priedes koksne 18 cm dziļumā visos apstrādes variantos sēnes relatīvais aizņemtā laukums uzrādīja augstas vērtības: vidēji 65-85%.

Turpmākajos pētījumos nepieciešams noskaidrot *H. fasciculare* ietekmi uz *P. gigantea* attīstību ilgtermiņā. 2022. gadā paredzēts pārbaudīt *T. abietinum* un *H. capnoides* micēlija attīstību skuju koku koksne.



2.12. att. Relatīvais analizēto sēņu aizņemtā laukums (%) egles bluķīšos 18 cm dziļumā

2.2.3. Secinājumi

1. Turpmākajiem pētījumiem *Heterobasidion* sporu infekcijas ierobežošanai izmantojams vietējais *P. gigantea* izolāts (382), kas egles koksne uzrāda stiprāku antagonismu, salīdzinājumā ar līdz šim izmantoto bioloģisko preparātu Rotstop.
2. *H. fasciculare* jauktā suspensijā ar *P. gigantea* veicina *P. gigantea* micēlija attīstību.

2.3. Izstrādāt alternatīvu preparātu Somijā ražotajam līdzeklim Rotstop

Heterobasidion sakņu trupes ierobežošanai daudzās valstīs praktizē celmu apstrādi ar lielo pergamentsēni *Phlebiopsis gigantea* saturošiem bioloģiskās aizsardzības līdzekļiem. Ir reģistrēti vairāki *P. gigantea* preparāti: PG Suspension® Lielbritānijā, PG IBL® Polijā, Rotstop® Somijā un RotstopS® Zviedrijā. Katrā valstī izmanto savas ražošanas metodes un preparāta pielietošanas protokolu. Piemēram, Lielbritānijā piedāvā *P. gigantea* oīdiju suspensiju saharozē, bet audzēšanai izmanto priedes koksni; Polijā celmu apstrādei un sēnes audzēšanai izmanto sterilizētas dižskābarža skaidas, bet Somijā – ražo Rotstop preparātu gan pulverveidā, gan pēdējos gados – arī suspensijā (Pratt *et al.*, 2000). Tāpēc, lai izstrādātu Latvijas apstākļiem piemērotu celmu bioloģiskās aizsardzības preparātu, ir svarīgi izveidot tā ražošanas (kas sākotnēji ietver sēņu micēlija audzēšanu) un pielietošanas protokolus.

2.3.1. Materiāli un metodes

Pētījumā izmantotas trīs sēņu sugas: *Bjerkandera adusta* izolāts BAB25, *Phlebiopsis gigantea* izolāts PG382, *Sistotrema brinkmannii* izolāts SBP31. Sēņu augšana pārbaudīta piecos dažādos substrātos: graudzāles salmos, rudzu kliņģās, kukurūzas serdeņos, skuju koku un lapu koku skaidās.

Visi substrāti ievietoti 0,5 l sterilizētos stikla traukos ar skrūvējamu vāku. Katrā vākā ar urbi izveidots caurums un no iekšpuses ielikts filtrpapīrs, lai nodrošinātu gaisa apmaiņu, bet novērstu infekciju. Katrs substrāts nosvērts, pēc tam to divas reizes autoklāvēja 20 minūtes 121° C divās atmosfērās. Autoklāvēšana notika ar diennakts starpību.

Sēņu sporu suspensijas pagatavotas, izmantojot 20 dienas vecas sēņu tīrkultūras uz iesala-agara barotnes. Ar mehānisko pipeti 0,5 ml ūdens iepilināja Petri platē, ar liesmā sterilizētu skalpeli nokasīja micēliju no agara virsmas un iegūto suspensiju ielēja kolbā ar 500 ml ūdens. Iegūto suspensiju samaisīja. Sporu koncentrāciju rēķina pēc Kenigssvalde *et al.*, (2017) metodes. Tālāk sporu daudzuma novērtējums un suspensiju sagatavošana kā aprakstīts nodaļā 2.2. Jauktā sporu suspensija pagatavota, atsevišķā traukā pielejot 200 ml no katras iegūtās sēņu sporu suspensijas (1:1:1) ar sporu koncentrāciju 5000 sporu /ml.

Katrs substrāts samitrināts, pielejot 100 ml sterila ūdens, pēc tam katrā substrātā, izmantojot mehānisko pipeti, iepilina 5 ml sēņu sporu suspensijas. Katrai sēņu sugai katrā substrātā - 3 atkārtējumi.

Sagatavotie substrāti ievietoti termostatā 21 °C turpmākai inkubācijai. Pēc divām nedēļām substrāti tika atkārtoti nosvērti un vizuāli novērtēti. Pēc 4 nedēļām no katra substrāta ar sterilu pinceti paņemts micēlija gabaliņš, uzlikts uz priekšmetstikla un novērtēts zem mikroskopa, lai pārliecinātos, ka tā ir tā pati sēne, ar ko tika inokulēts substrāts. Papildus, izmantojot Hagem barotni, veikta sēnes reizolācija no atbilstošā substrāta

2.3.2. Rezultāti

Iegūti rezultāti apkopoti 2.4. tabulā.

2.4. tabula. Dažādu sēņu augšana atšķirīgos substrātos

Substrāts	Vizuālais novērtējums				Novērtējums zem mikroskopa			
	BA *	SB	PG	Jauktā	BA	SB	PG	Jauktā
Skuju koku skaidas	aug	aug	aug	aug	veido oīdijas	veido konīdij-sporas	veido oīdijas	PG; veido oīdijas
Lapu koku skaidas	aug	neaug	aug	aug	veido oīdijas	micēlijs nav atrasts	veido oīdijas	BA; neveido oīdijas
Salmi	aug ātri	aug ātri	aug ātri	aug ātri	neveido oīdijas	veido konīdij-sporas	neveido oīdijas	BA; SB; PG; visi neveido oīdijas
Rudzu klijas	aug ātri	aug ātri	aug ātri	aug ātri	veido oīdijas	veido konīdij-sporas	bakteriālas infekcijas dēļ neizdevās novērtēt	BA; veido oīdijas
Kukurūzas serdeņi	neaug	neaug	neaug	aug	micēlijs nav novērots	micēlijs nav novērots	micēlijs nav novērots	BA, veido oīdijas

* BA – *Bjerkandera adusta*, SB-*Sistotrema brinkmannii*, PG – *Phlebiopsis gigantea*, Jauktā – šo trīs sēņu sugu sporu maisījums

Analizējot iegūtos rezultātus, secināts, ka sēņu audzēšanai vispiemērotākie ir divi substrāti: rudzu klijas un skuju koku skaidas. Abos substrātos konstatēta micēlija un oīdiju/konīdijsporu attīstība visiem pārbaudītajiem sēņu izolātiem.

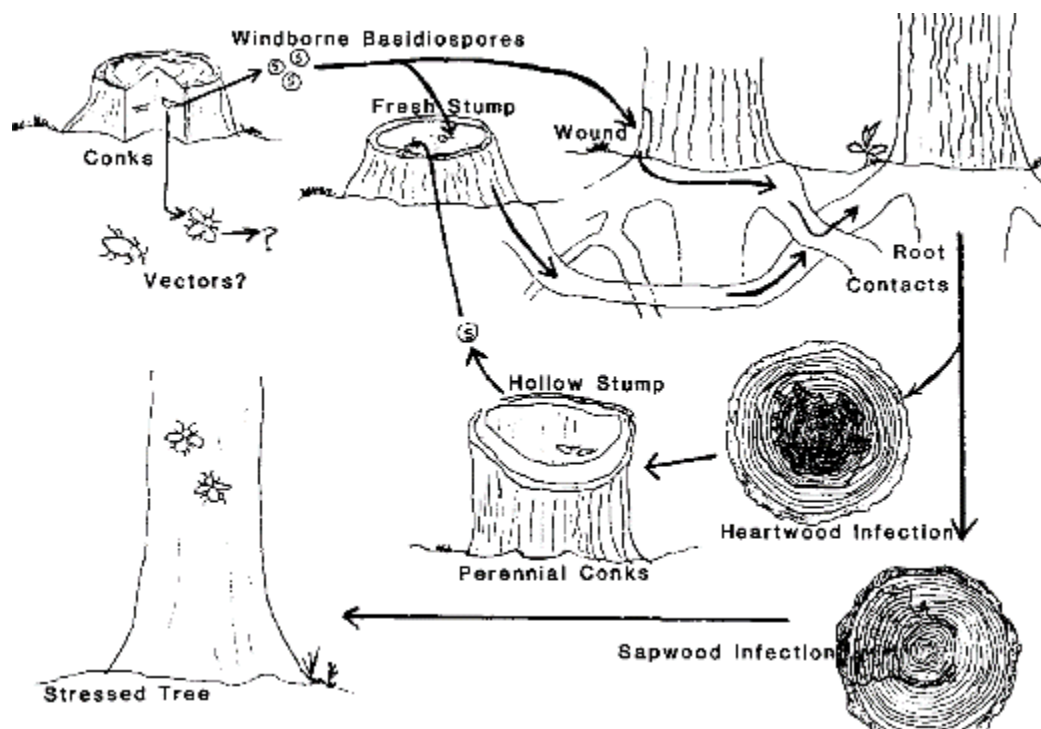
3. SAKŅU TRUPI IZRAISOŠO SĒŅU POPULĀCIJU STRUKTŪRA UN DINAMIKA ILGTSPĒJĪGAS MEŽSAIMNIECĪBAS PRAKSĒ PERSPEKTĪVO INTRODUCĒTO KOKU SUGU MEŽAUDZĒS

Heterobasidion spp. infekcija ir konstatēta gan skuju kokiem, gan lapu kokiem. Tomēr Latvijā iegūtie dati liecina, ka tieši egles un priedes audzēs sakņu piepes bojājumi konstatēti visbiežāk. Pētījuma mērķis ir novērtēt vietējiem apstākļiem piemērotu augstražīgu introducēto koku sugu uzņēmību pret patogēno sēņu infekcijām.

3.1. Informācija par Latvijā introducēto koku sugu rezistenci pret sakņu piepes un celmenes bojājumiem

Heterobasidion spp. infekcija ir konstatēta 200 dažādām gan skuju koku, gan lapu koku sugām (Capretti *et al.*, 1994). Kā vienu no mežsaimniecībā praktiski pielietotajām metodēm jāatzīmē pret *H.annosum* rezistentāka, vietējiem apstākļiem piemērotāka, stādmateriāla izmantošanu (Garbelotto, Gonthier, 2013). Ir veikti samērā daudz pētījumu, lai izdalītu rezistentas sugas, klonus (Swedjemark, Stenlid 1995; Swedjemark, Stenlid 1997; Swedjemark *et al.*, 1998; Swedjemark, Karlsson 2004; Karlsson, Swedjemark, 2006, Swedjemark, Karlsson 2006; Karlsson *et al.*, 2008). Atsevišķas koku sugas, piemēram, *Quercus sp.*, *Arctostaphylos sp.*, *Cupressaceae sp.* uzrāda augstu rezistenci pret *H.annosum* (Hunt *et al.*, 1974; Gonthier *et al.*, 2012). *H. annosum* netika konstatēts audzē ar dažādu sugu ozoliem, pat blakus stipri inficētai priežu audzei ar augstu *H. annosum* izplatību (Gonthier *et al.*, 2012). Tomēr Polijā konstatēts, ka sakņu piepe inficē arī sarkano ozolu *Quercus rubra* (Łakomy, 2019). Iespējams, ka infekcijas attīstība atkarīga no audzē sastopamā patogēna sugas – *Heterobasidion* sugu komplekss iekļauj 5 sugas.

Literatūrā apkopotā informācija (3.1. tabula) liecina, ka *Heterobasidion annosum* infekcija visbiežāk tiek konstatēta skuju kokiem – uzskata ka sakņu trapes izplatību iespējams samazināt, veidojot mistraudzes ar lapu kokiem. Būtiska nozīme, veidojot mistraudzes ir tam, ka šādās audzēs skuju koku kopšanu iespējams veikt ievērojami vēlāk, kas ierobežo sēnes sporu iekļūšanu koksnē caur brūcēm (Lygis, 2005). Piemēram, pētījumā, kur *P. sylvestris* stādīta vienā audzē ar lapu koku sugām – balto robīniju, krūmveida amorfu un kārpaino bērzu–*H. annosum* augļķermeņus nekonstatēja (Lygis *et al.*, 2004). Tomēr citā Lietuvā veiktā pētījumā 1975. gadā ierīkotajā *Betula pendula* stādījumā *H. annosum* tika atrasts 47 % analizēto koku (4,2 % vitālo bērzu /53% atmiruso bērzu) (Lygis *et al.*, 2004). Jāatzīmē, ka lapu koki lielākoties inficējas sakņu kontaktu ceļā no inficētiem iepriekšējās vai esošās paaudzes kokiem (3.1. attēls).



3.1. att. Slimības izplatības shematisks attēlojums. Attēls no Otrósina 1989.

Sedlák un Tomšovský (2011) norādījuši, ka *H. annosum* ir visplašākais saimniekorganismu diapozons un patogēns izplatās ne tikai *Betula pendula* audzēs, bet var tikt izolēts arī no dažādām kļavu sugām *Acer* sp. un lazdām *Corylus avellana*. Arī Latvijā stipri inficētā egļu audzē, kas ierīkota bijušajā palienu pļavā, atrastas ar sakņu piepi inficētas lazdas (Gaitnieks, nepubl. dati). Mūsu pētījumi liecina, ka lazdas piemistrojums egļu audzēs saistīts ar augstu skuju koku infekcijas risku, jo lazdas raksturo eitrofos augšanas apstākļus, kas sekmē *Heterobasidion* spp. sekundāro izplatību. Atsevišķos avotos minēts, ka *Heterobasidion* var atrast arī uz alkšņiem *Alnus* sp., vilkābelēm *Crataegus* sp., skābārziem *Carpinus* sp., sausseržiem *Lonicera* sp., plūmēm *Prunus* sp., pīlādžiem *Sorbus* sp., plūškokiem *Sambucus* sp., ošiem *Fraxinus* sp., bumbieriem *Pyrus* sp., robīnijām *Robinia* sp., vītoli dzimtas kokiem un krūmiem *Salix* sp., gobām *Ulmus* sp. un retumis pat Ēriku dzimtas krūmiem – viršiem *Calluna* sp., vistenēm *Empetrum* sp. un ogulājiem *Vaccinium* sp. (Ryvarden, Gilbertson, 1993 (citēts pēc Zarzyński, 2009), Łakomy *et al.*, 2008). Giri un Rana (2007) atzīmē, ka pat no rododendra *Rhododendron arboreum* koksnes izolēts *H. annosum* (Giri, Rana, 1970). Lietuvā tika veikti apjomīgi pētījumi, analizējot 21 dažādu kokaugu sugu sakņu un lapu ūdens ekstraktu ietekmi uz sakņu piepes micēlija attīstību laboratorijas apstākļos. Secināts, ka izteiktu inhibējošo ietekmi pret sakņu piepes micēliju uzrādīja tikai *Rhobinia*. Minētajā pētījumā secināts, ka ierīkojot skuju koku kultūras paaugstināta riska platībās, piemēram, bijušajās lauksaimniecības zemēs piemistrojamā varētu rekomendēt balto akāciju (Vasilauskas *et al.*, 1989). Tomēr jāatzīmē, ka šie pētījuma rezultāti ir iegūti laboratorijas apstākļos, kas ne vienmēr atspoguļo reālo situāciju dabā. Tomēr veicot *in vitro* pētījumus, kuros analizēta koksnes noārdīšanās, iespējams iegūt vērtīgu informāciju par atmirušas koksnes uzņēmību pret sakņu piepi un trapes procesa norisi. Šāds pētījums veikts Dr. Zarzyński, vadībā, analizējot 25 dažādas koku sugas. Koksnes paraugi tika inficēti ar *H. annosum* micēliju un pēc 30 dienām visaugstākā sadalīšanās pakāpe konstatēta *A. pseudoplatanoides*, *P. tremula* un *C. betulus*. Praktiski nekāda (< 0,05 %) koksnes sadalīšanās netika novērota eksotiskākām koku sugām – *Intsia bakeri*, *Hymnaea* sp. un *Pterocarpus soyauxii*. Turpretī pēc 60 dienu inkubēšanas vislielākā koksnes sadalīšanās tika novērota *A. glutinosa*, kā arī *P. tremula* un *B. pendula*. Pēc 90 dienu inkubēšanas arī *T. cordata* novēroja sausās koksnes masas zudumu. Bez jau pieminētām lapu koku sugām arī citām Eiropā izplatītām sugām – stepes gobai *U. carpinifolia*, parastajam dižskābārdim *Fagus sylvatica*,

sarkanajam ozolam, trauslajam vītolam *Salix fragilis* – pierādīta intensīva koksnes noārdīšanās. Salīdzinot ar zaudētās koksnes masu egļu un priežu koksnes paraugiem, daudzi lapu koku paraugi, it īpaši ZA Eiropai raksturīgo koku sugām, bija vairāk sadalījušies (Zarzyński, 2009).

In vitro pētījumā ar pilsētvidē augošām koku sugām riekstu ozols *Quercus nuttallii*, Pensilvānijas osis *Fraxinus pennsylvanica* un lirveida ozols *Quercus lyrata* bija visuzņēmīgākie pret trupi izraisošajām sēnēm, no kurām *H. annosum* bija trešā agresīvākā. Paraugi tika inkubēti vienu gadu 21°C temperatūrā un trupe noteikta, aprēķinot sausās koksnes masas zudumu. Pēc divu gadu inkubācijas laika sausās koksnes zudums pieauga līdz pat 18 % visiem koksnes paraugiem – *F. pennsylvanica*, *Q. nuttallii*, *Q. lyrata*, *Pinus taeda*, *Populus deltoides*, *Platanus occidentalis*, *Liquidambar styraciflua*, *Thuja occidentalis* un *Taxodium distichum* - un *H. annosum* izraisītie koksnes zudumi bija otrie lielākie. Autori īpaši uzsver abu analizēto ozolu uzņēmību pret *H. annosum* (Baietto, Wilson, 2010).

Jāņem vērā, ka rezistence ir atkarīga no kokauga fizioloģiskajām un anatomiskajām īpašībām. Pirmais aizsardzības mehānisms ir miza, kas veido lignificētu, suberinizētu un hidrofobisku barjeru (Franceschi *et al.*, 2005). Ja patogēns izkļūst cauri mizai vai mizā ir bojājumi, tad būtiska loma ir aplievas un kodolkoksnes aktīvo vielu sastāvam. Piemēram, *Pinus sp.* kodolkoksnē ir aptuveni 35 savienojumi (lielākā daļa no tiem ir dažādi fenoli), kas inhibē *H.annosum s.l.* un citu patogēnu attīstību, (Rishbeth, 1972). Augstais dažādu fenolu (sveķu saturs) arī nodrošina *Pinus sp.* augstāku noturību, salīdzinot ar *Picea sp.*(Gonthier, Thor, 2013).

3.1. tabula. Apkopotā informācija par skuju un lapu koku uzņēmību pret sakņu piepi

	<i>H.abietinum</i>	<i>H.annosum</i>	<i>H. parviporium</i>	<i>H. irregulare</i>	<i>H. occidentale</i>
<i>Abies alba</i> Mill.	+++ ^a	+	0	-	-
<i>Abies nebrodensis</i> Mattei	+		++	-	-
<i>Larix decidua</i> Mill.	+	+++	++	-	-
<i>Larix sibirica</i> Ledebour	-	+	++	-	-
<i>Larix eurolepis</i> Henry	-	+++	-	-	-
<i>Larix kaempferi</i> Carr.	-	+++	-	-	-
<i>Picea abies</i> (L.) Karst	0	++	++++	-	-
<i>Pinus cembra</i> L./ <i>P.sibirica</i> Du Tour	0	+	++	-	-
<i>Pinus pinea</i> L.	0	++	0	++ ^b	-
<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	+++	+(+)	(+) ^c	-
<i>A.concolor</i> (Gord.&Glend.) Lindl.ex.Hildebr.	-	-	-	0	+++
<i>A.grandis</i> (Douglas ex. D.Don) Lindl.	-	-	-	0	+++
<i>Calocedrus decurrens</i> (Torr.) Florin	-	-	-	+++	+
<i>Juniperus</i> spp.	-	+++	-	++++	++
<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière	-	++++ ^b	-	0	++++
<i>Pinus elliotii</i> Englem.	-	-	-	++++	+
<i>Pinus jeffreyi</i> Balf.	-	-	-	++(+)	+
<i>Pinus ponderosa</i> Lawson&C.Lawson	-	-	-	+++	+
<i>Pinus contorta</i> Dougl	-	+++	+	+++	-
<i>Pinus mugo</i> Turr.	-	+++	-	-	-
<i>Pinus radiata</i> D.Don	-	-	-	+	+
<i>Pinus resinosa</i> Aiton	-	-	-	+++	+
<i>Pinus taeda</i> L.	-	-	-	++++	+
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	+ ^b	++++ ^b	-	+	++
<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) J.Buchholz	-	-	-	0	++
<i>Thuja plicata</i> Donn ex D.Don	-	-	-	0	++
<i>Tsuga heterophylla</i> (Raf.) Sarg.	-	-	-	0	++++
<i>Betula</i> sp.	-	++	0	+	0
<i>Quercus</i> sp.	-	+	-	+ ^c	-
<i>Fagus</i> sp.	-	++	-	+	-
<i>Alnus incana</i>	-	+	-	-	-
<i>Populus tremula</i>	-	(+)	-	-	-
<i>Sorbus</i> sp.	-	+	-	-	-
<i>Fagus sylvatica</i>	-	+	-	-	-
<i>Prunus</i> sp.(tai skaitā <i>Padus avium</i>)	-	+	-	-	-

^aUzņēmību raksturojošie rādītāji:

++++- stipra;

+++ - vidēja;

++ vāja;

+ reti konstatējami bojājumi (atsevišķi gadījumi; spēcīgi inficētas audzes);

0-nav bojāts (neuzņēmīgs);Nav pieejama informācija(-).

^bAlopatriskā saimnieka un patogēna kombinācija.

^c H. irregulare Eiropā ievests 20 gs. vidū, šobrīd konstatēts Vidusjūras reģionā, attiecīgi tur biežāk sastopamjām koka sugām, bet sagaidāms, ka laika gaitā patogēns tiks konstatēts arvien jauniem saimniekaugiem.

Iepriekš minētajā tabulā (3.1. tabula) iekļauti dati no mākslīgās inficēšanas eksperimentiem un lauka pētījumos iegūtajiem novērojumiem. Tomēr jāatzīmē, ka literatūrā sastopamā informācija par dažādu koku sugu uzņēmību pret sakņu piepi dažkārt ir ļoti pretrunīga un tas ir saistīts ar:

1) datu iegūvi dažādās klimatiskajās zonās/reģionos, kur dominē atšķirīgas sakņu piepes sugu kompleksa sugas un attiecīgi vairāk adaptējušos saimniekaugu koku sugu;

2) eksperimentos ir salīdzināti dažādi *Heterobasidion* infekcijas veidi – sporu, ar micēliju, mākslīgi inficējot celmus ar bazīdijsporām/konīdijsporām vai iestrādājot saknēs/stumbrā ar patogēnu inficētu substrātu;

3) tiek analizētas dažāda vecuma un sastāva audzes, atšķirīgos meža tipos un augsnēs, novērtējot dažādas izcelsmes stādmateriālu (Greig, 1962, Morrison, 1989, Swedjemark, Stenlid, 1995, Vollbrecht *et al.*, 1995, Piri 1996, Rönnerberg, Vollbrecht, 1999, Morrison, Johnson, 1999, Greig *et al.*, 2001, Gibbs *et al.*, 2002, Zaluma *et al.*, 2015, Zaluma *et al.*, 2019, Bruna *et al.*, 2021). Turklāt sakņu piepes sastopmību būtiski ietekmē ne tikai apežotās platības iepriekšējais izmantošanas veids - meža vai lauksaimniecības zemes, bet arī iepriekšējās audzes inficētības pakāpe, respektīvi trupējušo celmu īpatsvars, kas var sekmēt patogēna sekundāro izplatību, kā arī kopšanas ciršu skaits, ir vai nav bijusi sastāva kopšana, vai mežsaimnieciskās darbības ir veiktas ziemā vai veģetācijas perioda laikā, pielietotā mežsaimniecības prakse, ar to saistītie stumbra un sakņu bojājumi, augsnes sagatavošanas veids, augsnes īpašības – nodrošinājums ar barības vielām; patogēna izplatību veicina dažādi stresa faktori, kā, piemēram, kukaiņu bojājumi, ūdens režīms, gaisa piesārņojums utt. Ne mazāk svarīga ir arī citu patogēno sēņu, piemēram, *Armillaria* spp. klātbūtne – atsevišķās audzēs celmenes izraisītie bojājumi ir pat lielāki salīdzinājumā ar sakņu piepes izraisītajiem zaudējumiem. Turpmājiem pētījumiem nepieciešams izmantot koku sugas, kuras raksturo zemāka uzņēmība pret sakņu piepi, turklāt analizēt dažādas izcelsmes stādmateriālu.

Pētījumos bieži rekomendēts kokus, kurus raksturo zema uzņēmība pret *H.annosum*, stādīt ar *H.annosum* inficētās platībās, izmantot veidojot robežstādījumus, kas samazinātu *H.annosum* izplatību starp audzēm, vai izmantot, veidojot mistraudzes (Hunt *et al.*, 1974; Piri, Korhonen, 2001; Piri, 2003; Lygis *et al.*, 2004). Lai ilgtermiņā samazinātu sakņu trapes izplatību, ieteikts stādīt kokaugu sugas, kas ir mazāk uzņēmīgas pret konkrētajā platībā sastopamajām *Heterobasidion* sugām (Gonthier, Thor, 2013), tomēr prof. Paolo Gonthier uzskata, ka nav pareizi pilnīgi izslēgt kokaugu sugas, kas ir uzņēmīgas pret sakņu piepi, jo pretējā gadījumā patogēns pielāgosies sugām, kas nav *Heterobasidion* spp. primārie saimniekaugi (Gonthier, 2010). Turklāt, izvērtējot ierīkoto stādījumu inficēšanās riskus, jāņem vērā arī daudzi citi iepriekš minētie faktori. Koku rezistence pret patogēniem, protams, jāizvērtē arī kontekstā ar meteoroloģisko faktoru ekstremālajām vērtībām un eventuālajām klimata izmaiņām.

3.2.Sakņu trapes izplatīšanās ātrums perspektīvākajām introducēto koku sugām

Pamatojoties uz LVMI Silava iepriekš iegūtajiem rezultātiem, turpmākajos pētījumos rekomendēts īpaši analizēt Klinškalnu priedes *Pinus contorta* un lapegļu *Larix* spp. uzņēmību pret Latvijā sastopamajām sakņu piepes sugām. 2021. gadā, izvērtējot audžu inficētību ar *Heterobasidion*, turpmākajiem pētījumiem atlasītas 20 Klinškalnu priedes – un 20 lapegles audzes, kurās paredzēts izvērtēt *Heterobasidion* izplatības dinamiku. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, tiks skaidrots sakņu trapes izplatīšanās ātrums pētījumiem izvēlēto introducēto koku sugu audzēs, to vērtējot no ilgspējīgas mežsaimniecības aspekta.

3.2.1. Materiāli un metodes

2021. gadā apsekotas 18 lapegles un 8 Klinškalnu priedes audzes. Tajās novērtēti visi koki, noteikta to vitalitāte, sakņu piepes auglķermenu sastopamība, katrā audzē ar Preslera svārpstu ievākti 1-7 paraugi no kaltušo koku grupas. Paraugu apstrādes metodika detalizēti aprakstīta nodaļā 1.1.

3.2.2. Rezultāti

Infekcija konstatēta tikai vienā lapegles audzē un sešās Klinškalnu priedes audzēs, piecās no tām infekcija pierādīta vairāk nekā 10 kokiem (3.2. tabula). Kopā ievākti 92 koksnes paraugi (metodika kā 1.1. sadaļā).

3.2. tabula. Apsekoto un turpmāk pētījumos izmantojamo Klinškalnu priedes un lapegļu audžu raksturojums

Suga	Koord.	Vieta	Vecums	Konstatēto inficēto koku skaits
Klinškalnu priede	56.68516, 24.46167	Vecumnieki	36	>10
Klinškalnu priede	56.66713, 25.83322	Kalsnava	35	>10
Klinškalnu priede	57.26016, 21.99674	Ugāle	35	>10
Klinškalnu priede	57.05976, 21.95804	Kuldīga	37	>10
Klinškalnu priede	56.68512, 24.45789	Vecumnieki	33	>10
Lapegle	56.7373, 23.6929	Jelgava	38	1

Jāatzīmē, ka apsekoto dabiski inficēto lapegļu audžu skaits ir nepietiekams, lai 2022. gadā analizētu trupes izplatību introducēto koku stumbrā. Arī citu autoru pētījumos atzīmēta lapegļu augstāka rezistence pret sakņu piepi, salīdzinājumā ar egli un priedi (Gonthier, 2010; Gonthier *et al.*, 2012, 2019). 2007- 2018. gadā LVMI Silava tika veikts pētījums, kura ietvaros inficētas 40 lapegles (20 ar *Heterobasidion annosum* un 20 ar *Heterobasidion parviporum*). Šajā pētījumā noskaidrots, ka 15 % no inficētajiem kokiem neuzrāda rezistenci pret patogēnu un tajos attīstās stumbra trupe. Trupes kolonnas izplatības augstums variēja no 0,18 līdz 3,62 m, vidēji sasniedzot $0,86 \pm 1,42$ m, tātad patogēns stumbrā izplatās ar ātrumu vidēji 0,09 m gadā, kas saskan ar iepriekš veiktiem eksperimentiem egles koksne (Bendz-Hellgren *et al.*, 1999). Papildus dati ir nepieciešami, lai apstiprinātu iegūtos rezultātus, tomēr, ņemot vērā, ka šobrīd nav pietiekamā apjomā atrastas lapegļu audzes ar sakņu piepes infekciju, 2022. gadā paredzēts ierīkot eksperimentu izmantojot lapegles blukīšus. Vairākos pētījumos ir uzsvērts, ka blukīšu eksperimenti var aizstāt eksperimentus ar celmiem (Brūna *et al.*, 2020). Atlasītajās Klinškalnu priedes audzēs tiks izvēlēti 20 koki, kurus sazāgēs 5 cm garos nogriežņos, noteiks koksnes iekrāsojumu un analizēs trupes kolonnu, tās izplatības augstumu.

4. REKOMENDĀCIJAS SAKŅU PIEPES IZRAISĪTO ZAUDĒJUMU SAMAZINĀŠANAI

Lai samazinātu *Heterobasidion* spp. primāro infekciju, svaigi skuju koku celmi tiek apstrādāti ar bioloģiskajiem preparātiem (Nicolotti *et al.*, 1999), tomēr Latvijā šāda prakse tiek realizēta tikai krājas kopšanas cirtēs (Kenigsvalde *u.c.*, 2011). Šī pētījuma mērķis ir sniegt padziļinātas zināšanas par kokaugu rezistences mehānismiem, bioloģisko un ķīmisko aizsardzības līdzekļu pielietojumu un izstrādāt rekomendācijas sakņu piepes izraisīto zaudējumu samazināšanai.

4.1.P. *gigantea* attīstība trupējušā priedes koksnē

Sakņu piepes infekcijas riskam pakļauti arī ir galvenajā cirtē atstātie celmi, kuru virsmas laukums ir vēl lielāks salīdzinot ar celmiem krājas kopšanas cirtēs, tomēr nereti galvenajā cirtē koki jau ir inficēti ar sakņu trupi izraisošiem patogēniem. Vairākos pētījumos konstatēts, ka kokā, kurš jau inficēts ar *Heterobasidion* spp., micēlija izplatības ātrums saknēs pēc koka nozāģēšanas pieaug līdz pat trim reizēm, salīdzinot ar sēnes izplatību augošu koku saknēs (Bendz-Hellgren *et al.*, 1999; Pettersson *et al.*, 2003). Tā kā sakņu kontakti būtiski veicina sakņu piepes izplatību, svarīgi ir samazināt micēlija attīstību saknēs, tādējādi ierobežojot infekcijas pārnesei nākošās paaudzes koku saknēs. Ir samērā maz pētījumu par *P. gigantea* ietekmi un *Heterobasidion* jau trupējušos celmos. Zviedrijā veiktie pētījumi pierādīja, ka celmu apstrāde ar Rotstop būtiski neietekmē *Heterobasidion parviporum* attīstību mākslīgi inficētos egļu celmos trīs gadus pēc inokulācijas. Tomēr, izvērtējot iepriekš minētā eksperimenta rezultātus pēc pieciem gadiem, novērota tendence, ka, salīdzinājumā ar kontroli, *H. parviporum* inficēto sakņu skaits samazinājās ar Rotstop apstrādātajos celmos (Pettersson *et al.*, 2003). *Heterobasidion* spp., kolonizējot koku no sakņu kontaktiem, primāri egles koksnē aizņem kodolkoksni (Oliva *et al.*, 2013). Savukārt mūsu iepriekš veiktie pētījumi, parāda, ka *P. gigantea* pamatā attīstās aplievas koksnē gan priedei, gan eglei. 2021. gadā veiktajā pētījumā pārbaudīta *P. gigantea* attīstība ar *Heterobasidion* inficētos priedes celmos, lai novērtētu šādu celmu apstrādes lietderību. Iepriekšējos pētījumos konstatēts, ka *Heterobasidion* spp. īpatsvars priežu celmos samazinājās gadu pēc celmu apstrādes. Tāpēc ir svarīgi novērtēt *P. gigantea*, kā arī *Heterobasidion* attīstību šajos celmos un celmu saknēs ilgstošākā laika periodā.

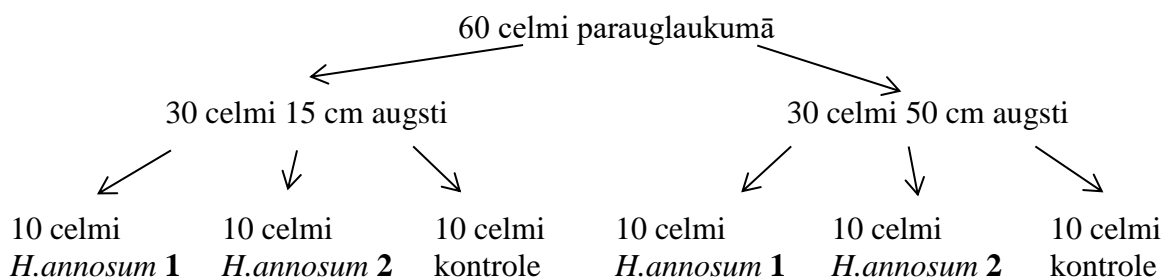
4.1.1. Materiāli un metodes

Lai ilgtermiņā novērtētu *P. gigantea* attīstību trupējušā priedes koksnē, ierīkots eksperiments divās priežu audzēs MPS Kalsnavas mežu novadā. Mežaudžu raksturojums eksperimenta ierīkošanas brīdī uzrādīts 4.1. tabulā.

4.1. tabula. Eksperimentā izmantoto mežaudžu raksturojums

Audze	Kv., nog.	Vecums	Sastāva formula	Meža tips	Platība, ha
Saltupes	93, 15	23	10P +B	Ln	1,04
Kandavas 2	193, 1	21	10P	Ln	1,90

Katrā audzē izvēlēti 60 koki, no kuriem puse nozāģēta, atstājot 15 cm augstu celmu, bet pārējiem – 50 cm augstu. Analizēto celmu diametrs svārstījās no 7,4 līdz 19,5 cm (vidēji 12 cm). Katrā augstuma grupā 20 celmi apstrādāti ar divām *H. annosum* sporu suspensijām (10 celmi ar katru). Pirmajā suspensijā (“12 *P.sylvestris*”) izmantots *Heterobasidion* sp. izolāts, kas izdalīts no *P. contorta* (turpmāk tekstā *H. annosum* 1), savukārt otrajā suspensijā sakņu piepes izolāts (“V Ma15”), kas izdalīts no *P. sylvestris* (turpmāk tekstā *H. annosum* 2). Katrā augstuma grupā 10 celmi atstāti neapstrādāti – kontrolei. Attiecīgie sakņu piepes izolāti izmantoti arī iepriekš veiktos pētījumos, tādējādi ir iespējams salīdzināt rezultātus no dažādiem eksperimentiem. Detalizēta eksperimenta ierīkošanas shēma parādīta 4.1. attēlā. Pēc eksperimenta ierīkošanas celmi atstāti dabiskai *P. gigantea* infekcijai, lai novērtētu, kā *P. gigantea* attīstās ar *Heterobasidion* inficētā priedes koksnē.



4.1. att. Eksperimenta ierīkošanas dizains

Trīs mēnešus pēc eksperimenta ierīkošanas (2020. gada novembrī) ievākti koksnes paraugi, lai noteiktu, vai eksperimenta ierīkošana ir bijusi veiksmīga, resp., vai patogēna micēlijs ir attīstījies ar *Heterobasidion* sporu suspensiju apstrādātajos celmos. Kopā ievākti paraugi no 60 celmiem (30 no katra parauglaukuma): 5 no katra varianta. No katra celma nozāģētas divas 2,5-3 cm biezas ripas: pirmā – virsējā ripa – tika aizmesta, bet otrā paņemta turpmākai analīzei. Laboratorijā ripas nomizotas, nomazgātas zem tekoša krāna ūdens un ievietotas plastmasas maisiņos inkubācijai uz septiņām dienām. Pēc inkubācijas, izmantojot stereomikroskopu, skatīta ripu apakšpuse, kur novērtēta gan *Heterobasidion*, gan *P. gigantea* sastopamība (Bruna *et al.*, 2020).

2021. gada jūnijā pēc iepriekš aprakstītās metodikas ievākti paraugi no visiem celmiem, un noteikta gan *Heterobasidion*, gan dabiskās *P. gigantea* sastopamība. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, atlasīti 20 celmi, kuros vienlaicīgi attīstījās abas analizētās sēnes (4.2. tabula). Izvēlētie celmi 2021. gada novembrī atrakti un nogādāti LVMI Silava tālākai apstrādei. No katra celma sakņu kakla, sakņu resgaļa un dažādos attālumos no saknes pamatnes (atkarībā no saknes garuma un diametra) nozāģēta ripa (4.2.a attēls). Tā nomizota, noskalota zem tekoša krāna ūdens un inkubēta septiņas dienas atsevišķā plastmasas maisiņā.

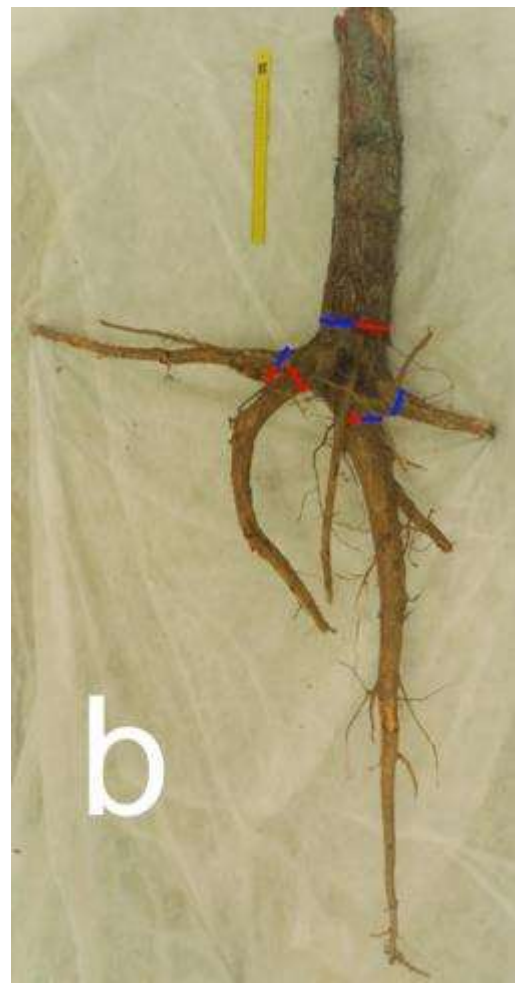
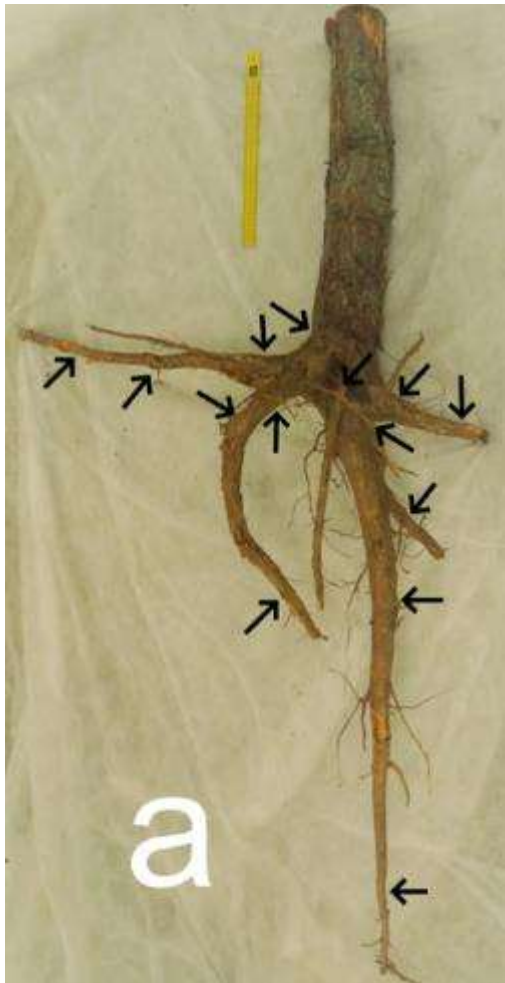
4.2. tabula. *Heterobasidion* un *P. gigantea* attīstība priedes celmos

Parauglaukums	Celma Nr.	Celma augstums, cm	<i>Heterobasidion</i> izolāts	<i>Heterobasidion</i> laukums, cm ²	<i>P. gigantea</i> laukums, cm ²
Saltupes	A1	15	12 <i>P.sylvestris</i>	53,9	42,33
Saltupes	A2	15	12 <i>P.sylvestris</i>	23,52	82,63
Saltupes	A4	15	12 <i>P.sylvestris</i>	46,06	14,63
Saltupes	A8	15	12 <i>P.sylvestris</i>	4,90	17,01
Saltupes	A9	15	12 <i>P.sylvestris</i>	4,41	12,23
Saltupes	A10	15	12 <i>P.sylvestris</i>	23,03	34,24
Saltupes	B7	15	V Ma15	18,13	88,89
Saltupes	K1	15	Kontrole	2,45	148,64
Saltupes	K6	15	Kontrole	0,98	182,38
Saltupes	A1	50	12 <i>P.sylvestris</i>	2,94	41,20
Saltupes	A3	50	12 <i>P.sylvestris</i>	12,25	27,73
Saltupes	A8	50	12 <i>P.sylvestris</i>	8,33	47,17
Saltupes	B3	50	V Ma15	17,64	2,19
Saltupes	B4	50	V Ma15	10,29	48,27
Saltupes	B7	50	V Ma15	5,88	90,51
Saltupes	K1	50	Kontrole	1,96	54,70
Saltupes	K6	50	Kontrole	0,49	26,97
Kandavas	K3	50	Kontrole	8,33	3,92
Kandavas	K4	50	Kontrole	6,86	17,00
Kandavas	K5	50	Kontrole	7,84	4,39

P. gigantea un *Heterobasidion* sastopamība novērtēta, izmantojot stereomikroskopu *Leica 205M*. Konstatētais *P. gigantea* un *Heterobasidion* micēlijs atzīmēts uz ripas, pārzīmēts uz caurspīdīgas plēves un aprēķināts sēņu aizņemtais laukums no ripas kopējā laukuma. Šobrīd turpinās darbs, lai abu sēņu micēlijus izdalītu no sakņu fragmentiem tīrkultūrā un noteiktu, vai saknēs konstatētais micēlijs ir ieaudzis no celma virsmas vai caur sakņu kontaktiem no blakus esošajiem kokiem/celmiem.

4.1.2. Rezultāti

Kopā analizēti trīs celmi no parauglaukuma Kandavas un 17 celmi no parauglaukuma Saltupes. Analizēti deviņi 15 cm augstie celmi un 11 – 50 cm augstie celmi. Celmiem novērtēta *P. gigantea* un *Heterobasidion* attīstība (katram celmam analizētas 4 līdz 15 saknes; 4.2. attēls).



4.2. att. Paraugu ievākšanas vietas no celma sakņu sistēmas (norāde ar bultu) – (a) un *P. gigantea* (zila krāsa) un *Heterobasidion* (sarkana krāsa) ieaugšanas dziļums celma A3 saknēs (b)

Pie sakņu kakla *P. gigantea* konstatēta 16, bet *Heterobasidion* – deviņos celmos. Vienā celmā *P. gigantea* un *Heterobasidion* netika konstatēts ne pie sakņu kakla, ne saknēs (4.3. tabula). Šajā celmā gandrīz visās saknēs atrasts *Resinicium bicolor* (dati nav uzrādīti).

4.3. tabula. *Heterobasidion* un *P. gigantea* attīstība trupējušu priedes celmu saknēs

PL	Celma nr.	Celma H, cm	Analizēto sakņu skaits	Aizņemtais laukums pie sakņu kakla, %		Sakņu skaits ar		Max attālums, cm	
				Het.	P. g.	Het.	P. g.	Het.	P. g.
Saltupes	A1	15	9	100	0	8	0	20	0
Saltupes	A2	15	7	0	98,5	2	4	33	19
Saltupes	A4	15	12	91,3	8,7	12	1	50	0
Saltupes	A8	15	6	47	17,5	6	0	15	0
Saltupes	A9	15	7	0	80,7	0	2	0	20
Saltupes	A10	15	15	29,2	40,3	11	3	55	0
Saltupes	B7	15	7	14,7	0	7	1	80	0
Saltupes	K1	15	9	3,8	55,5	5	4	52	0
Saltupes	K6	15	6	0	20,1	0	4	0	25
Saltupes	A1	50	9	0	77,4	0	5	0	0
Saltupes	A3	50	5	22,5	66,2	3	3	0	0
Saltupes	A8	50	11	0	89,2	1	10	0	10
Saltupes	B3	50	4	0	73,6	0	2	0	0
Saltupes	B4	50	7	46,7	16,4	7	2	60	30
Saltupes	B7	50	9	6	65,2	7	3	20	0
Saltupes	K1	50	8	0	94,7	0	3	0	0
Saltupes	K6	50	6	0	97,4	0	3	0	0
Kandavas	K3	50	4	0	0	0	2	0	0
Kandavas	K4	50	6	0	0	0	0	0	0
Kandavas	K5	50	8	0	6,2	0	0	0	0

Sakņu diametrs, kurās konstatēta *P. gigantea* bija vidēji 4,8 cm (1,8-10,8 cm), bet *Heterobasidion* – 4,5 cm (1,3-10,8 cm). Maksimālais attālums saknēs no sakņu kakla, kur atrasta *P. gigantea* bija 30 cm (50 cm augsts celms parauglaukumā Saltupes), bet *Heterobasidion* – 80 cm (15 cm augsts celms parauglaukumā Saltupes). Abiem šiem celmiem *P. gigantea* un *Heterobasidion* aizņemtais laukums (%) uz celma pie sakņu kakla bija attiecīgi 16 % un 14 %. Pētījumā noskaidrots, ka gada laikā *Heterobasidion* izplatījies 77% analizēto celmu(ieskaitot tikai apstrādātos celmus un celmus, kuros konstatēta micēlija attīstība), vidēji 42 centimetru lielā attālumā. Lielā pergamentsēne konstatēta 85 % celmu un vidējais micēlija izplatīšanās attālums saknēs ir 23 cm. Salīdzinot dažādu celmu augstumu, (ieskaitot arī kontroles celmus) secināts, ka *Heterobasidion* vairāk saglabājas 15 cm augstos celmos salīdzinājumā ar 50 cm augstajiem celmiem – patogēns tika konstatēts 73% analizēto sakņu 15 cm augstajiem celmiem un 40% sakņu 50 cm augstajiem celmiem . Vidējais inficēto sakņu skaits vienam 15 cm augstajam celmam bija 2 reizes lielāks nekā 50 cm augstajiem celmiem. Savukārt *P. gigantea* vairāk konstatēta 50 cm augsto celmu saknēs – 55 % no analizētajām saknēm, salīdzinājumā ar 15 cm augsto celmu analizēto sakņu - 17%; ar lielo pergamentsēni inficēto sakņu vidējais skaits 15 un 50 cm augstajiem celmiem bija 1,5 pret 4,5.

Iegūtie rezultāti parāda nevienmērīgu analizēto sēņu micēlija attīstības tendenci. Neskatoties uz samērā lielu *P. gigantea* aizņemto laukumu pie sakņu kakla (65-97%), atsevišķos celmos sēnes micēlijs saknēs vairāk netika konstatēts. Savukārt, piemēram, celmā K1 *Heterobasidion* micēlijam pie sakņu kakla aizņemot tikai 3,8 % virsmas laukuma, sēnes micēlija attīstība saknēs konstatēta līdz 52 cm.

Ļoti nevienmērīga *Heterobasidion* micēlija attīstība koksne konstatēta arī citu autoru pētījumos (Redfern 1982, Morrison, Redfern 1994, Redfern, MacAskill 2003). Redfern *et al.* (2001) secina, ka Sitkas egles celmos lielas *Heterobasidion* kolonijas var iet bojā, bet sākotnēji mazas kolonijas attīstoties, var aizņemt ļoti lielu celma virsmas laukumu. Iespējams, ka mūsu eksperimentā sēņu attīstību celmos ietekmēja diametrs (vidēji 12 cm). Salīdzinot ar sakņu piepi apstrādātajiem celmiem *P. gigantea* bija kolonizējusi daudz mazāku sakņu skaitu, kā arī sēnes iesaģšanas dziļums bija mazāks. Iespējams tas skaidrojams ar infekcijas veidu: sakņu piepes mākslīgā konīdijsporu infekcija vs. dabīgā lielās pergamentsēnes infekcija. Arī Roy *et*

al.,(2003) pētījumā ir secināts, ka dabīgā *P. gigantea* attīstās piecas reizes lēnāk, salīdzinot ar micēlija attīstību pēc mākslīgās apstrādes ar oīdijsporām. Turpmākajā darbā tiks analizēta *P. gigantea* un *Heterobasidion* attīstība pārējos apstrādātajos celmos, lai ilgtermiņā novērtētu patogēna un pret to antagonistiskās sēnes micēlija saglabāšanos, respektīvi, *Heterobasidion* spēju izplatīties maza diametra priežu celmu saknēs un potenciāli “pārnest” infekciju uz blakus augošiem kokiem.

4.1.3. Secinājumi

1. Sakņu piepes micēlijs priedes celmu saknēs 10 mēnešu laikā iesauc vidēji līdz 42 cm dziļumam, bet var sasniegt pat 80 cm. Dabiskā *P. gigantea* šajā laika periodā nevar ierobežot sakņu piepes micēlija attīstību celmu saknēs pēc apstrādes ar sakņu piepes kondījsporu suspensiju.
2. Celma augstums ietekmē sakņu piepes micēlija saglabāšanos saknēs- 15 cm augstajos celmos ar *Heterobasidion* bija inficēti 73% sakņu, bet 50 cm augstajiem celmiem – 40% sakņu.
3. Lielās pergamentsēnes micēlijs sekmīgāk kolonizē 50 cm augstos priedes celmus, salīdzinājumā ar 15 cm augstajiem celmiem- dabiskā lielās pergamentsēnes infekcija konstatēta 55% 50 cm augsto celmu saknēs (vidēji vienam celmam kolonizētas 4,1 saknes) un 17% 15 cm augsto celmu saknēs – vidēji vienam celmam kolonizētas 1,5 saknes.

4.2. Bioloģisko un ķīmisko preparātu efektivitāte un ietekme uz koksni kolonizējošām sēnēm

Lai samazinātu primāro infekciju ar *Heterobasidion* sporām, celmu apstrādei var izmantot bioloģiskos vai ķīmiskos celmu aizsardzības līdzekļus (Holdenrieder, Greig, 1998). Ilgtermiņa monitorings Latvijā uzrādīja, ka Rotstop efektivitāte dažādos eksperimentos svārstās no 36 līdz 100% egļu celmos (vidēji 64%) un no 54 līdz 100% priežu celmos (vidēji 82%) (Kenigvalde *et al.*, 2016). Zema Rotstop efektivitāte konstatēta arī pētījumos Zviedrijā (Berglund, Rönnerberg, 2004; Berglund, 2005; Berglund *et al.*, 2005).

Kā alternatīvu bioloģiskajiem celmu aizsardzības līdzekļiem var izmantot urīnvielu (Zaluma *et al.*, 2021). 2018. gadā uzsākts pētījums, lai noskaidrotu ķīmisko un bioloģisko celmu aizsardzības līdzekļu efektivitāti Latvijā egļu audzēs bijušajās lauksaimniecības zemēs. 2021. gadā audzes apsekotas un ievākti koksnes paraugi, lai salīdzinātu bioloģisko un ķīmisko līdzekļu efektivitāti un to ietekmi uz celmus kolonizējošo sēņu daudzveidību.

4.2.1. Materiāli un metodes

Iepriekš ierīkotajā eksperimentā 2018. gadā egļu celmi apstrādāti ar Latvijas *P. gigantea* 422 izolātu, Rotstop un urīnvielu. Kontroles celmi apstrādāti ar ūdeni. Kopumā 3 parauglaukumos (4.4. tabula, 4.3. attēls) apstrādāti 480 egļu celmi. Puse no celmiem bija nosegti ar ripu, kas nozāģēta no attiecīgā celma. Pētījuma ierīkošanas metodika sīkāk aprakstīta un publicēta 2021. gadā žurnālā “Forests” (Zaluma *et al.*, 2021).

4.4. tabula. Analizēto audžu raksturojums

Audzes apzīmējums	Koord.	Vecums	Platība, ha	Meža tips
1-8	56.24088, 27.88769	18	5,83	<i>Oxalidosā</i>
1-54	56.22804, 27.97499	18	2,38	<i>Oxalidosā turf. mel.</i>
1-79	56.22430, 27.83745	18	8,44	<i>Hylocomiosā</i>



4.3. att. Audžu atrašanās vieta

Lai analizētu celmu aizsardzības līdzekļu ietekmi, pirmo reizi paraugi ievākti 2018. gadā. 2021. gada maijā veikta celmu atkārtota marķēšana un 2021. gada septembrī no 60 celmiem ievākti koksnes paraugi, kā arī raksturota sēņu auglķermeņu sastopamība (4.5. tabula). Katrā parauglaukumā ievākti 20 paraugi, 5 paraugi no katra apstrādes varianta (urīnviela, Rotstop, *P. gigantea* 422 un ūdens (kontrolē)). No katra celma virsmas nozāģēta viena ripa, kas aizmesta, bet analīzei ievākota otrā ripa (2-3 cm biezumā), kas nogādāta LVMI Silava. Celmiem atjaunots marķējums. Koksnes paraugu apstrādes metodika aprakstītā nodaļā 1.2.

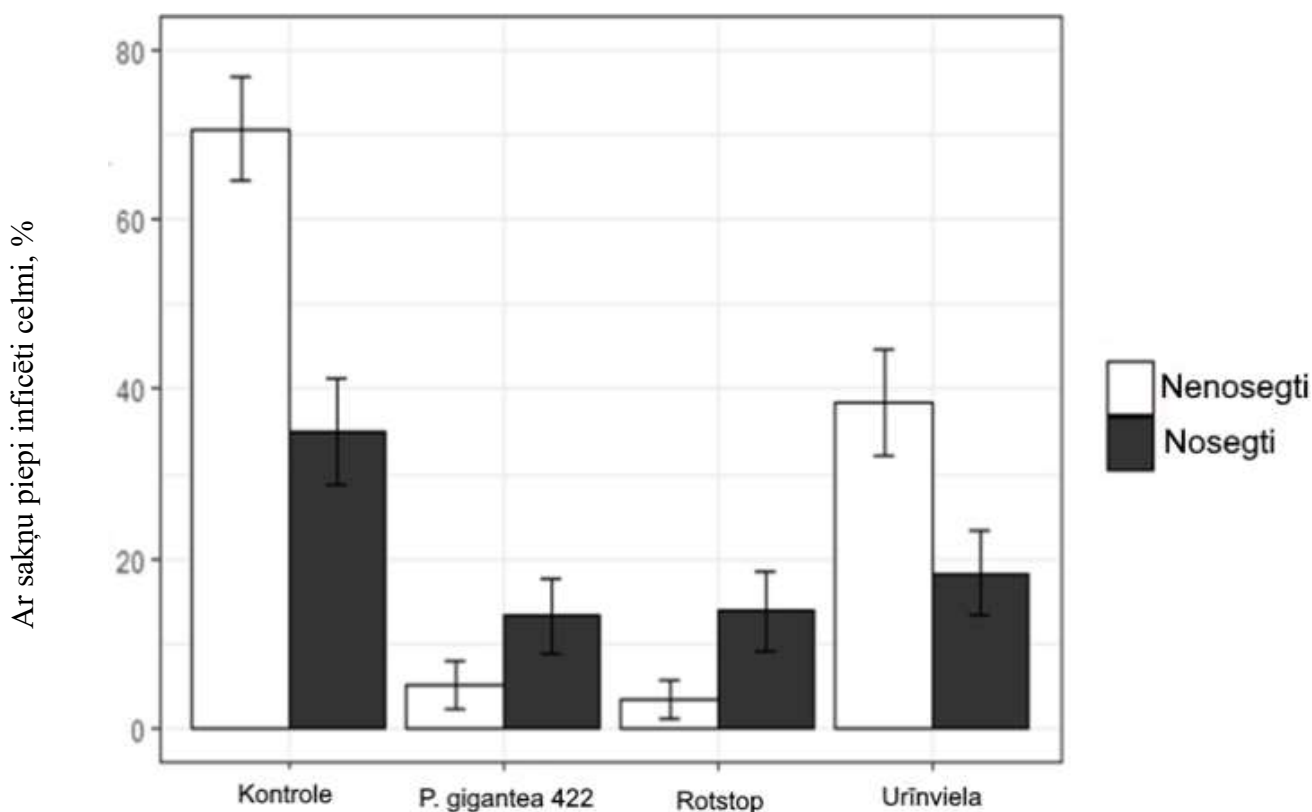
4.5. tabula. Analizētie paraugi

Apstrādes veids	Metode	
	Atstāti nenosegti *	Nosegti ar ripu
Kontrolē	60 (15)	58
<i>Phlebiopsis gigantea</i> 422	60 (15)	60
Rotstop	58 (15)	60
Urīnviela	60 (15)	60

*2021. gadā ievākto paraugu skaits atzīmēts iekavās

4.2.2. Rezultāti

No 2021. gadā ievāktajiem 60 koksnes paraugiem *Heterobasidion* spp. konstatēts astoņos paraugos. Salīdzinot ar 2018. gadā ievāktajiem datiem, konstatēts, ka infekcija ir izzudusi no 32 celmiem (no atlasītajiem 60 celmiem - 2018. gadā ar sakņu piepi bija inficēti 40). Sakņu piepes infekcijas samazinājums laika gaitā pierādīts arī citu autoru darbos (Dimitri *et al.*, 1971). 2021. gadā *Heterobasidion* spp. konstatēts tikai kontroles celmos un ar urīnvielu apstrādātajos celmos (3 ripās), lai gan 2018. gadā infekcija pierādīta visos apstrādes variantos (4.4. attēls) un būtiski biežāk ar ripu nenosegtos vai ar urīnvielu apstrādātos nosegtos celmos. Visbiežāk koksņē - 34 ripās (57 %) un uz celmiem - 38 celmos (63 %) konstatēta *P. gigantea*. Pavisam konstatēti 15 dažādu sēņu sugu taksoni. Bez *P. gigantea*, vēl bieži sastopamas bija *Calocera* sp., *Tomentella* sp., *Dacrymyces* sp.



4.4. att. Ar sakņu piepi inficēto celmu daudzums 2018. gadā

Konstatēts, ka sēņu sugu sastopamība ir atkarīga no apstrādes veida un parauglaukuma, tomēr atšķirības nav būtiskas (izmantots *Chi-square* tests). Iespējams, palielinot paraugkopu būtu iespējams statistiski apstiprināt iegūtos datus. Jāatzīmē, ka vairāk sēņu sugu atrasts kontroles (septiņas sugas) un ar urīnvielu apstrādātajos celmos (10 sēņu sugas), salīdzinot ar celmiem, kas apstrādāti ar lielo pergamentsēni (uz šiem celmiem konstatētas 4 sēņu sugas no 15). Iegūtie rezultāti saskan ar R. Vasiliauskas un viņa kolēģu iegūtajiem datiem, ka ar bioloģisko preparātu Rotstop apstrādātajos celmos būtiski biežāk sastopama lielā pergamentsēne (Vasiliauskas *et al.*, 2004)

4.2.3. Secinājumi

1. Vietējie *P. gigantea* izolāti uzrāda tikpat augstu efektivitāti pret *Heterobasidion* kā Rotstop gan īstermiņā (4 mēnešus pēc apstrādes) gan ilgtermiņā (3 gadus pēc apstrādes).
2. *Heterobasidion* spp. infekcija celmos 3 gadu laikā var būtiski samazināties.
3. Urīnvielas pielietojums celmu apstrādē mazāk ietekmē sēņu sugu sastopamību, salīdzinājumā ar lielo pergamentsēni.

4.3. Veikt *P. gigantea* augļķermeņu attīstību ietekmējošo faktoru izvērtēšanu un sporu izdalīšanās potenciāla novērtēšanu

Sakņu piepes primāro infekciju ar bazīdijsporām lielā mērā nosaka patogēna augļķermeņu sastopamība konkrētā audzē (Rishbeth, 1959; Stenlid, 1994; Gonthier *et al.*, 2001), jo viens cm² sēnes augļķermeņa stundā izdala līdz pat 400 000 sporu (Kallio, 1974) un ir noskaidrots, ka veģetācijas periodā egļu audzēs patogēna sporu daudzums uz vienu m² stundā var pārsniegt 400 sporas (Dimitri *et al.*, 1971; Möykkynen, Kontiokari, 2001). Lai skuju koku celmos sekmīgi attīstītos dzīvotspējīgs *Heterobasidion* micēlijs, teorētiski nepieciešamas divas sēnes sporas (Möykkynen, Kontiokari, 2001). Tātad, veicot koku zāģēšanu veģetācijas periodā, jārēķinās ar augstu sakņu piepes sporu infekcijas risku.

Svaigus celmus kolonizē dažādas koksni noārdošās sēnes, un sakņu piepes sporu attīstību celmos ierobežo ar sakņu piepi konkurējošā lielā pergamentsēne (Holdenrieder, Greig 1998). Lielā pergamentsēne *Phlebiopsis gigantea* un sakņu piepe *Heterobasidion* ir primārās skuju koku celmus kolonizējošās sēnes (Rishbeth, 1959; Meredith, 1960). Abu par substrātu konkurējošo sēņu sporu daudzums, kas nonāk uz svaigu celmu virsmas lielā mērā ietekmē micēlija tālāko attīstību koksne un līdz ar to arī sakņu trapes izplatību gan celmos, gan caur celmu sakņu kontaktiem jau audzes līmenī. Daudzos pētījumos ir analizēta gan *Heterobasidion* sporu izdalīšanās intensitāte, gan sporulācijas gradients – sporu daudzums dažādos attālumos no augļķermeņa (Kallio, 1970; Dimitri *et al.*, 1971; Stenlid, 1994; Möykkynen, Kontiokari, 2001; Bruna *et al.*, 2021). Šim nolūkam izmantotas gan Petri plates ar iesala-agara barotni, gan skuju koku ripas (Solheim, 1999; Gonthier *et al.*, 2001; 2005; 2012; Wang *et al.*, 2012; Bruna *et al.*, 2021). Taču, attiecībā par antagonistiskās sēnes *P. gigantea* sporulāciju, pētījumu ir ļoti maz. Lielās pergamentsēnes sastopamība audzē ir analizēta, izmantojot priežu ripas (Rishbeth 1959) vai novērtējot sēnes infekciju skuju koku celmos (Annesi *et al.*, 2005; Berglund, Rönnberg 2004; Rönnberg *et al.*, 2006).

Vairākos pētījumos ir norādīts, ka dabiskā *P. gigantea* nevar ierobežot *Heterobasidion* infekciju (Annesi *et al.*, 2005; Rönnberg *et al.*, 2006; Drenkhan *et al.*, 2008). Tomēr citi autori uzsver dabiskās *P. gigantea* lomu *Heterobasidion* sporu infekcijas ierobežošanā (Rishbeth 1952; 1963; Meredith 1960; Greig 1976; Negrutskii 1986; Holdenrieder, Greig 1998; Asiegbu *et al.*, 2005). Latvijā veiktie pētījumi liecina, ka mazu dimensiju priedes celmos, atšķirībā no egļu celmiem, *P. gigantea* ierobežo *Heterobasidion* attīstību (Gaitnieks *et al.*, 2020). Veicot kopšanas cirtes siltajā gada laikā, dabiskās *P. gigantea* infekcija var ierobežot *Heterobasidion* izplatību, bet šāda aizsardzība ir nepietiekama, pazeminoties gaisa temperatūrai. Somijā visintensīvākā *P. gigantea* sporulācija ir konstatēta aprīļa un maija mēnešos, bet septembra otrajā pusē sporulācija strauji samazinās (Kallio, Hallaksela 1979). Arī Zviedrijā lielā pergamentsēne netika atrasta uz egles nogriežņiem, kas mežaudzē eksponēti oktobrī (Vasiliauskas *et al.*, 2005). LVMI Silava veiktie pētījumi parāda, ka *Heterobasidion* visintensīvāk sporulē no augusta līdz septembrim, bet pie pozitīvām gaisa temperatūrām

sporulācija atzīmēta arī ziemas mēnešos (Silbauma, nepubl. dati), tāpēc svarīgi ir noskaidrot arī *P. gigantea* sporulācijas dinamiku, īpaši aukstajā gada laikā. 2021. gadā uzsākts pētījums, lai analizētu *P. gigantea* sporu izdalīšanās potenciālu un sporu izdalīšanās gradientu.

4.3.1. Materiāli un metodes

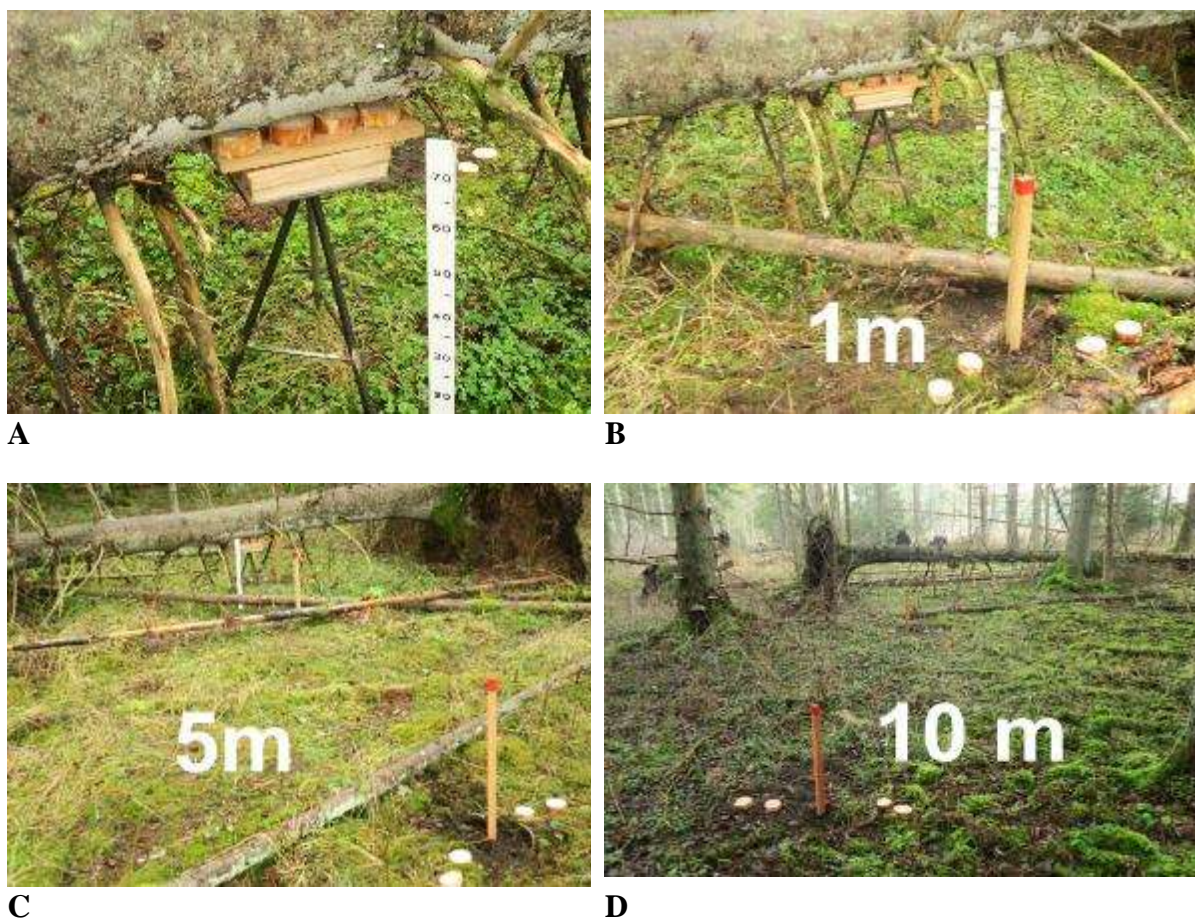
4.3.1.1. *P. gigantea* sporulācijas un sporu izkliedes gradienta novērtējums

Eksperiments ierīkots SIA “Rīgas meži” Tīreļu mežniecības teritorijā (239. kv., 18. nog.-platība - 2,9 ha, meža tips - Ap). Minētajā platībā izvēlēta izgāzta egle (diametrs krūšu augstumā – 43 cm), uz kuras stumbra, aptuveni 80 cm attālumā un 18m attālumā no sakņu kakla, atrasti *P. gigantea* augļķermeņi – turpmāk tekstā attiecīgi PG1 un PG2. Augļķermeņu dimensijas: PG1 - 170×40 cm, bet PG2 - 80×20 cm. Blakus augļķermenim PG1 ir izveidojies vēl viens augļķermenis ar dimensijām 75×15 cm, veidojot sporu uzskaites punktā augļķermeņu kompleksu ar kopējo garumu aptuveni 2,5 m (4.5. attēls).



4.5. att. Izgāzta egle ar *P. gigantea* augļķermeņi PG1 (bulta), kas izmantots, analizējot sporulācijas gradientu

Sporu uzskaitē (Petri platēs ar iesala-agara barotni) veikta tieši zem augļķermeņiem PG1 un PG2, savukārt *P. gigantea* infekcijas novērtējums (izmantojot egles un priedes ripas) veikts tikai zem augļķermeņa PG1 (4.6. a attēls) kā arī 1 m (4.6. b attēls), 5 m (4.6. c attēls) un 10m (4.6. d attēls) attālumā no PG1 austrumu (A) un rietumu (R) virzienos.



4.6. att. Sporu uzskaitē un *P. gigantea* infekcijas novērtējums tieši zem auglķermeņa (a), 1m attālumā A virzienā (b), 5m attālumā A virzienā (c) un 10m attālumā R virzienā no auglķermeņa(d)

Katrā no uzskaites punktiem vienlaicīgi izmantotas divas Petri plātes vai četras skuju koku ripas (2 egles un 2 priedes). Sporu uzskaitē veikta 10 reizes laikā no 7.11. līdz 16.12. Lielās pergamentsēnes infekcijas novērtējums uz egļu un priežu ripām veikts trīs reizes: 10., 13. un 20. novembrī, izmantojot egļu un priežu ripas, kas eksponētas 24 stundas. Zem auglķermeņa PG2 sporu uzskaitē veikta 5 reizes laikā no 21.11. līdz 16.12. Petri plašu eksponēšanas laiks variēja no 1,5 līdz 21,5 min. Sporas Petri plātēs skaitītas, izmantojot Leica gaismas mikroskopu 20 redzeslaukos katrā Petri plātē, 100× palielinājumā. Gaisa temperatūra laika periodā, kad tika veikta sporu uzskaitē un *P. gigantea* infekcijas novērtējums, variēja no +1°C līdz +8°C (vidēji 4,5°C); relatīvais gaisa mitrums 75% - 96% (vidēji 86 %); vēja ātrums no 2,2 līdz 6 m/s (vidēji 4 m/s).

4.3.1.2. *P. gigantea* sporulācijas novērtējums uz priedes ripām

Eksperiments ierīkots MPS Kalsnavas mežu novada teritorijā. 2021. gada 20. oktobrī 111. kv. 23. nogabalā izvēlētas četras svaigi zāģētas priedes. No katras no tām nozāģētas 30 aptuveni 1-1,5 cm biezas, 7-9 cm diametra ripas, kas tūlīt pēc nozāģēšanas nomizotas un ievietotas vienā, kopējā polietilēna maisā. Katras ripas apakšpuse marķēta ar flomāsteru.

Pētījumam izvēlētas sešas egles un priedes audzes (4.6. tabula). Katrā audzē izvietotas 20 nozāģētās ripas pēc noteiktas shēmas (kopā 120 ripas; 4.7. attēls), izmantojot citos pētījumos aprobētu metodiku (Gonthier *et al.*, 2001; 2005). Katra ripa ievietota atsevišķā Petri plātē, lai

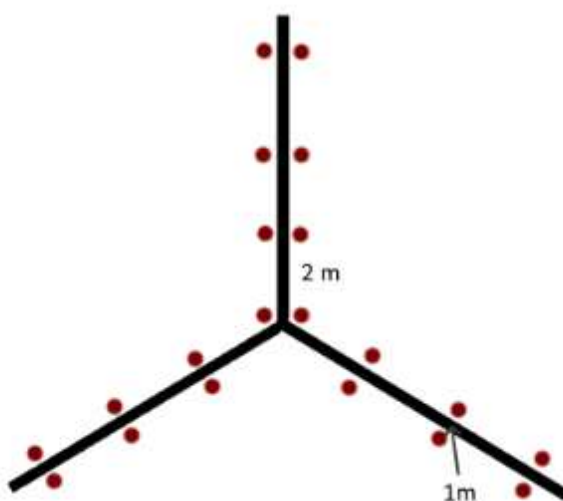
novērstu kontaktu ar zemesdzi. Eksperimenta ierīkošanas diena bija apmākusies, smidzināja neliels lietus, gaisa temperatūra +10..11°C. Līdzīga gaisa temperatūra saglabājās visu diennakti.

4.6. tabula. Parauglaukumu raksturojums

Audzis	Kv., nog.	Meža tips	Vecums	Bluķīšu skaits	Audzis sastāvs	Koordinātas
1PE	205, 5	Dm	32	15P, 15E	10P + E	56.671273, 25.925343
2E	204, 28	As	43, 47	15E	5P ₄₃ 5E ₄₇	56.671604, 25.918994
3P	150, 19	Ln	22	15P	10P	56.683986, 25.855623
4E	108, 13	As	42	15E	10E ₄₂ + B ₄₀	56.702240, 25.843829
5P	111, 23	Am	36	15P	10P ₃₆ +B ₃₄ E ₃₄	56.701007, 25.829999
6PE	107, 23	As	70		7P 2E 1B	56.701033, 25.841614

Nākamajā dienā (24h pēc ripu izvietošanas audzēs) ripas ievāktas tālākai inkubācijai laboratorijas apstākļos. Katra ripa ielikta atsevišķā plastmasas maisiņā.

Turpmāk ripas (nemazgātas) inkubētas istabas temperatūrā, periodiski mitrinot ar pulverizatoru, izmantojot krāna ūdeni. Pēc septiņām dienām novērtēta *Heterobasidion* sastopamība, bet pēc 14 dienām – *P. gigantea*. *Heterobasidion* uzskaitē uz ripas uzlikts 0.7×0.7 cm režģis, *Heterobasidion* punktēts ar sarkanu flomāsteru. *P. gigantea* atzīmēta pēc tai raksturīgā koksnes krāsojuma, apvelkot ar zaļu marķieri. Visām ripām izmērīts diametrs (divos virzienos) un biezums. Tās pārzīmētas uz caurspīdīgas plēves. *P. gigantea* laukums izmērīts ar planimetru, bet *Heterobasidion* laukums aprēķināts, ņemot vērā režģa izmēru.



4.7. att. Ripu izvietošanas shēma katrā parauglaukumā. Sarkanie punkti – ripu izvietošanas vietas

4.3.1.3. *P. gigantea* un *Heterobasidion* attīstības novērtējums skuju koku bluķīšos

2021. gada 12. oktobrī piecās audzēs nozāģēti pavisam 90 priedes un egles nogriežņi, garums 45 cm, pēc tam tie uz nedēļu atstāti attiecīgajā audzē vertikālā stāvoklī (4.8. attēls). Bluķīšu skaits un audzes ir uzrādītas 4.6. tabulā.



4.8. att. Priedes blukīšu inkubācija audzē 3P (ar bultu norādīti eksponētie blukīši)

Pēc nedēļas blukīši pārvietoti uz LVMI Silava un ievietoti audzēšanas skapjos (21°C un 80% mitruma režīms). Audzēšanas skapjos blukīši inkubēti piecas nedēļas, regulāri tos mitrinot. Pēc inkubācijas perioda beigām, no katra blukīša nozāģētas trīs 3 cm biezas ripas. No parauglaukumā 1PE zāģētajiem blukīšiem (15 priedes un 15 egles) nozāģētas sešas 3 cm biezas ripas. Visas ripas nomizotas un nomazgātas zem tekoša krāna ūdens un nedēļu inkubētas daļēji slēgtos plastmasas maisiņos.

Visiem blukīšiem novērtēta *Heterobasidion* un *P. gigantea* sastopamība 3 cm dziļumā, kā arī *P. gigantea* aizņemtais laukums 9 cm dziļumā. Parauglaukumā 1PE zāģētajiem blukīšiem noteikts *Heterobasidion* un *P. gigantea* aizņemtais laukums arī 18 cm dziļumā. Gan *Heterobasidion*, gan *P. gigantea* aprēķināts aizņemtais laukums un izteikts pret ripas kopējo laukumu (aizņemtais laukums, %).

4.3.2. Rezultāti

4.3.2.1. *P. gigantea* sporulācijas un sporu izkliedes gradienta novērtējums

Mūsu iegūtie rezultāti, novērtējot *P. gigantea* augļķermeņu izdalīto sporu daudzumu, liecina, ka aktīva sporulācija turpinās tik ilgi, kamēr gaisa temperatūra pārsniedz 0°C. Laikā no 7. novembra līdz 16. decembrim sporu daudzums tieši zem augļķermeņa, pārrēķinot uz vienu m² stundas laikā, svārstās samērā plašā amplitūdā: no 201 tūkst. līdz 81 milj. (vidēji 14,3 milj.; 4.7. tabula). Šāda liela datu izkliede konstatēta arī citu autoru pētījumos, novērtējot *Heterobasidion* sporu daudzumu zem augļķermeņiem (Kallio 1970). Pārrēķinot mūsu iegūtos datus par izdalīto sporu daudzumu uz vienu cm² sēnes augļķermeņa varam secināt, ka šis sporu daudzums sastāda vidēji 1400 sporas stundā. Respektīvi, 1 cm² sēnes sporulējošās virsmas diennaktī izdala vairāk nekā 33 000 sporu. Somijā noskaidrots, ka 1 cm² sakņu piepes

augļķermeņa jūlija - augusta mēnešos stundas laikā izdala 35 000 -151 000 sporu (Möykkynen *et al.*, 1997). Jāatzīmē, ka iegūtie rezultāti Somijā raksturo laika periodu, kad sakņu piepes sporulācijas intensitāte sasniedz maksimālās vērtības (Brandtberg *et al.*, 1996).

Mūsu iegūtie liecina, ka lielās pergamentsēnes izdalīto sporu daudzums novembra - decembra mēnešos pārsniedz sakņu piepes izdalīto sporu daudzumu rudens - ziemas mēnešos. Piemēram, citā pētījumā Latvijā noskaidrots, ka 14. oktobrī (gaisa temperatūra +8-10 °C) 10 m attālumā no augļķermeņa sakņu piepes sporu daudzums sastādīja 4000 – 41 000 sporu uz m² stundā (Brūna *et al.*, 2021), bet mūsu pētījumā secināts, ka laikā no 14. līdz 21. novembrim lielās pergamentsēnes sporu daudzums uz m² 10 m attālumā no augļķermeņa ir 19 000 – 120 000 sporas, respektīvi, līdz pat 3 reizēm vairāk par sakņu piepes izdalīto sporu daudzumu. Protams, sporulāciju ietekmē augļķermeņu dimensijas, vēja virziens, tomēr iegūtie dati liecina, ka lielā pergamentsēne aktīvi sporulē arī aukstajā gada laikā. Līdzīgi kā attiecībā pret sakņu piepi, arī lielās pergamentsēnes izdalīto sporu daudzums strauji samazinās, palielinoties attālumam no augļķermeņa, kas īpaši iezīmējas 10. un 14. novembrī R un A virzienā (skat. 4.3.2. tabulu). Arī Somijā 10 m attālumā no sakņu piepes augļķermeņa vasaras mēnešos konstatēts ievērojami mazāks sporu daudzums nekā 5 m attālumā (Möykkynen *et al.*, 1997). Tomēr jāatzīmē, ka iepriekš minētajā pētījumā Somijā analizētās sakņu piepes augļķermeņu dimensijas bija ievērojami mazākas (kopējais sporulējošas virsmas laukums nepārsniedz 800 cm²), salīdzinot ar mūsu eksperimentā iekļautajiem lielās pergamentsēnes augļķermeņiem. Konstatētais sporu daudzuma palielinājums 10m attālumā varētu būt saistīts ar PG2 augļķermeņa ietekmi.

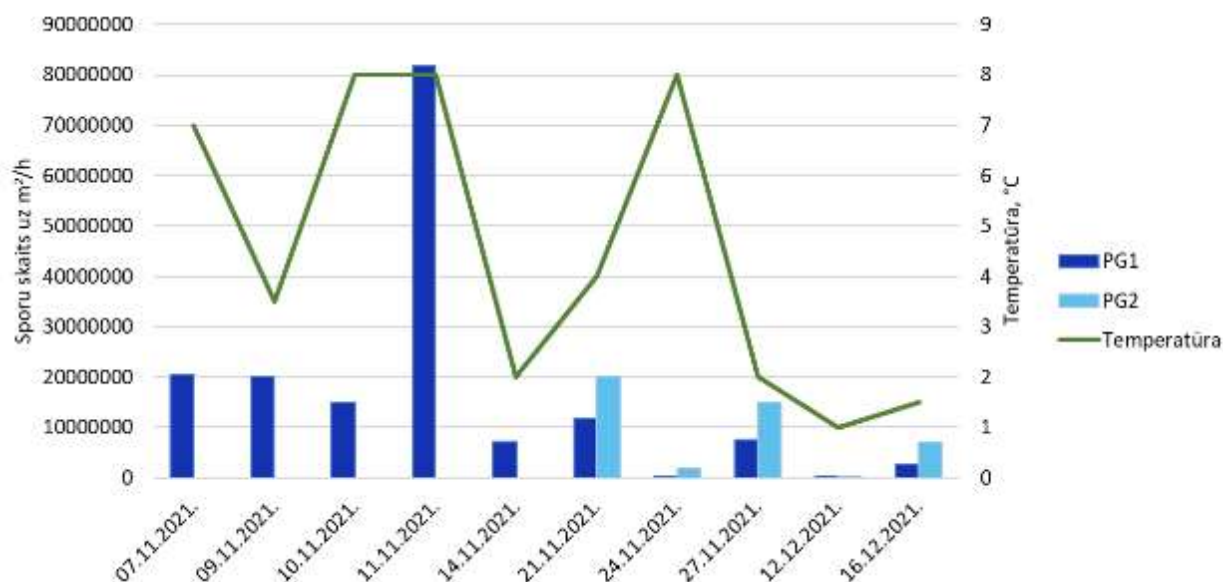
4.7. tabula. *P. gigantea* sporulācijas un sastopamības gradienta novērtējums (sporu skaits uz m² stundas laikā)

Attālums un virziens	07.11.	09.11.	10.11.	11.11.**	14.11.**	21.11.**	24.11.	27.11.	12.12.	16.12.
PG1 (0)*	20325149	20264837	14942418	81863507	7157026	11866266	201040	7576385	205715	2774353
PG2 (0)*						20260914	2030504	14973330	430132	6915778
1m R		40208	93507		40208	0				
5m R		0	56104		100520	0				
10m R			18701		60312	0				
1m A	80416	80416	37403		261352	19614				
5m A	40208	40208	18701		180936	0				
10m A	0		56104		120624	19614				

* Sporu uzskaitē zem augļķermeņa

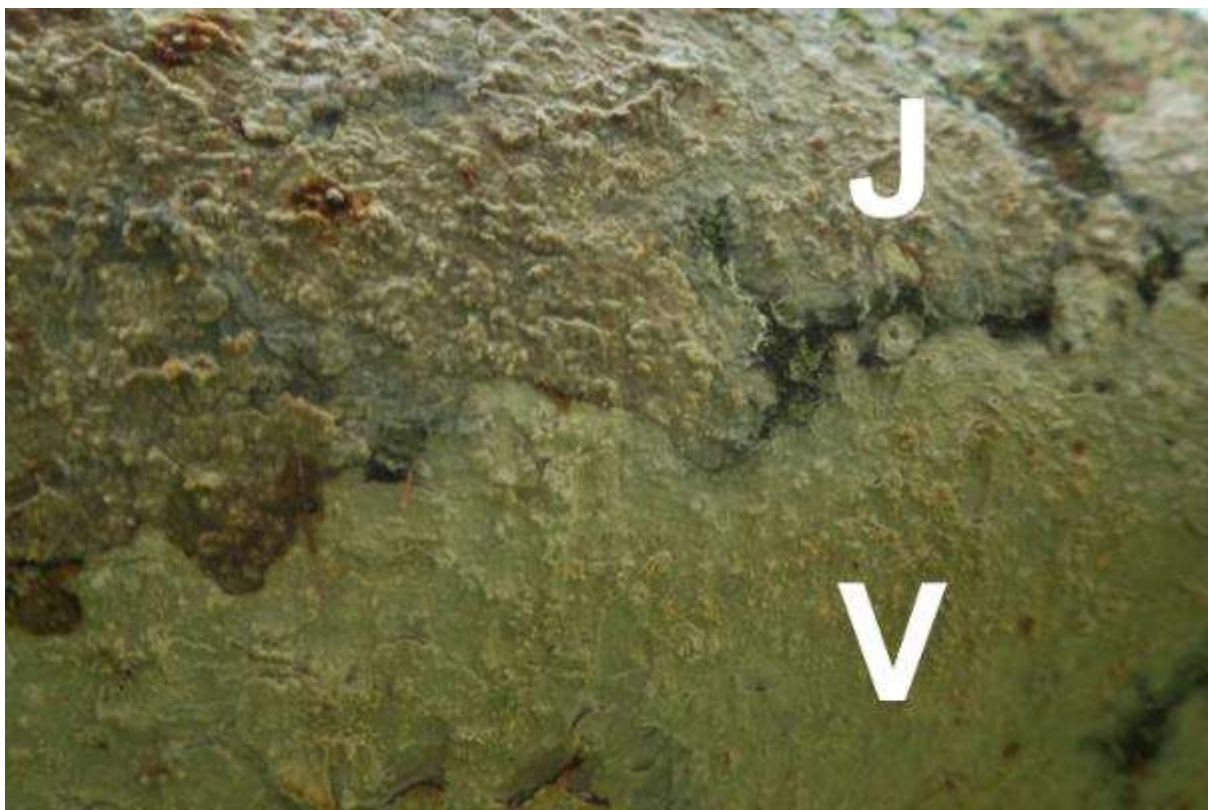
** Ekspozētas arī skuju koku ripas

Sporulācijas intensitāti ietekmē dažādi faktori, galvenokārt gaisa temperatūra (4.9. attēls). Piemēram, 11. novembrī gaisa temperatūrai sasniedzot +8°C, izdalīto sporu daudzums pārsniedz 80 milj. uz vienu m² stundā, bet 14.11. (+2°C), zem augļķermeņa konstatēti 7 milj. sporu uz m² stundas laikā. Līdzīgi arī Zviedrijā veiktos pētījumos atzīmēta korelācija starp *Heterobasidion* sporulāciju un gaisa temperatūru veģetācijas perioda laikā (Brandtberg *et al.*, 1996).



4.9. att. *P. gigantea* sporulācijas intensitāte (sporas m²/h) tieši zem augļķermeņa

Iegūtie rezultāti liecina, ka *P. gigantea* augļķermenis PG2 izdala aptuveni divas reizes vairāk sporu (4.7. tabula), lai gan augļķermeņa kopējais laukums ir ievērojami mazāks. Iespējams, tas saistīts ar to, ka šis augļķermenis ir jaunāks salīdzinājumā ar PG1, kas ir izveidojies ātrāk. Par to liecina augļķermeņa morfoloģiskās pazīmes. Arī blakus augļķermenim PG1 konstatēts jaunāks, lielās pergamentsēnes augļķermenis (4.10. attēls). Nākamā gada pavasarī paredzēts turpināt analizēt *P. gigantea* sporulācijas intensitāti – svarīgi ir noskaidrot sporulācijas sākumu pavasara mēnešos.



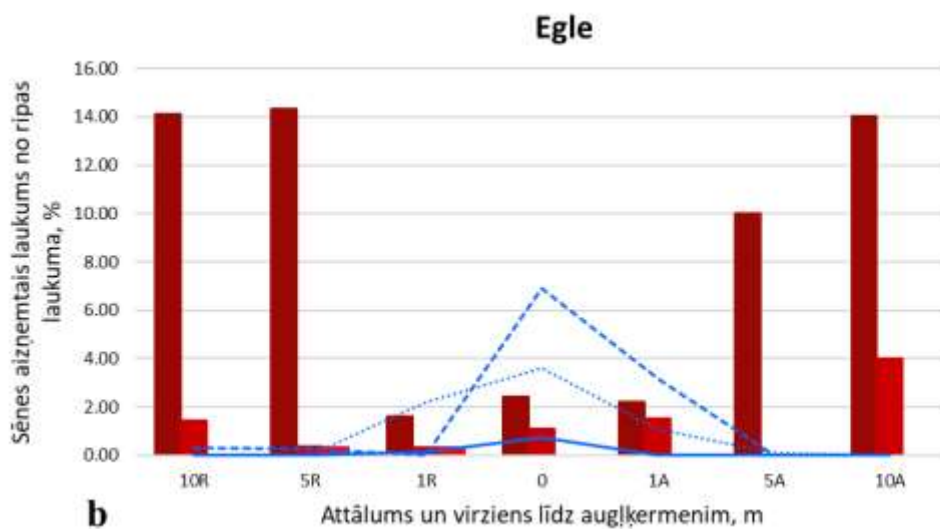
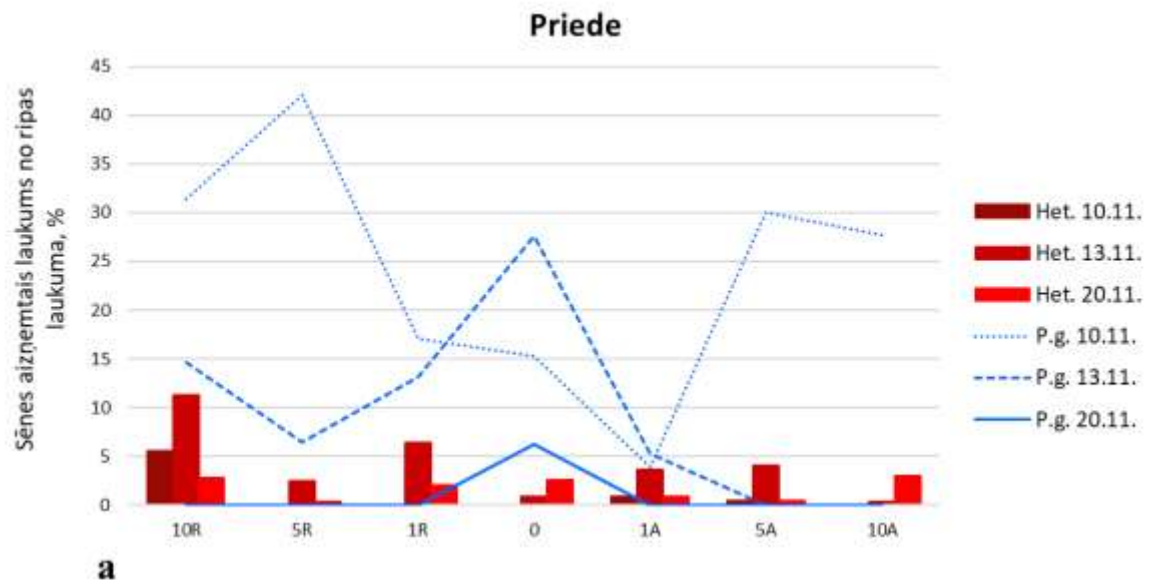
4.10. att. Lielās pergamentsēnes augļķermenis PG1 (V); blakus izveidojies jaunāks augļķermenis (J)

Salīdzinot priežu un egļu ripu inficētību ar *P. gigantea* un *Heterobasidion*, secināts, ka *P. gigantea* aizņemtais laukums no ripas kopējā laukums priedes koksni var sasniegt pat 40 %, kamēr egles koksni tas nepārsniedz 7 %. Priedes ripas atšķirībā no egles ripām bija sekmīgi kolonizētas ar *P. gigantea* arī 5 m un 10 m attālumā no sporu avota (4.11. attēls).



4.11. att. *P. gigantea* attīstība (oranžais krāsojums – norādīts ar bultu) priedes (P) un egles (E) ripās rietumu virzienā 5 m attālumā no augļķermeņa

Egles ripās *P. gigantea* pārsvarā konstatēta tikai 1 m attālumā no augļķermeņa (4.12. attēls). Līdzīgi arī iepriekš LVMI Silava veiktos pētījumos pierādīta labāka *P. gigantea* sporu attīstība priedes koksni (Kenigvalde *et al.*, 2016, Gaitnieks *et al.*, 2020). Jāatzīmē, ka arī *Heterobasidion* bija sekmīgāk attīstījies priedes ripās salīdzinājumā ar egles ripām. Iespējams, tas saistīts ar eksperimentā izmantoto koku (no kuriem iegūtas ripas) īpašībām, kas var būtiski ietekmēt sēņu micēlija attīstību (Sun *et al.*, 2009).



4.12. att. *P. gigantea* sporulācijas gradients laikā no 10. līdz 20. novembrim priedes (a) un egles (b) ripās austrumu (A) un rietumu(R) virzienos

4.3.2.2. *P. gigantea* sporulācijas novērtējums uz priedes ripām

Tikai ar *Heterobasidion* inficēto ripu skaits parauglaukumos svārstījās no 0 līdz 3, bet tikai ar *P. gigantea* inficēto ripu skaits no 1 līdz 16. Visos parauglaukumos atrastas ripas, kurās vienlaicīgi bija abas sēnes, kā arī ripas, kurās netika konstatēts ne *Heterobasidion*, ne *P. gigantea* (4.13. attēls; 4.8. tabula). Iegūtie rezultāti liecina, ka analizētajās ripās, kurās vairāk bija sastopama lielā pergamentsēne, sakņu piepes sporu infekcija tika konstatēta daudz retāk.



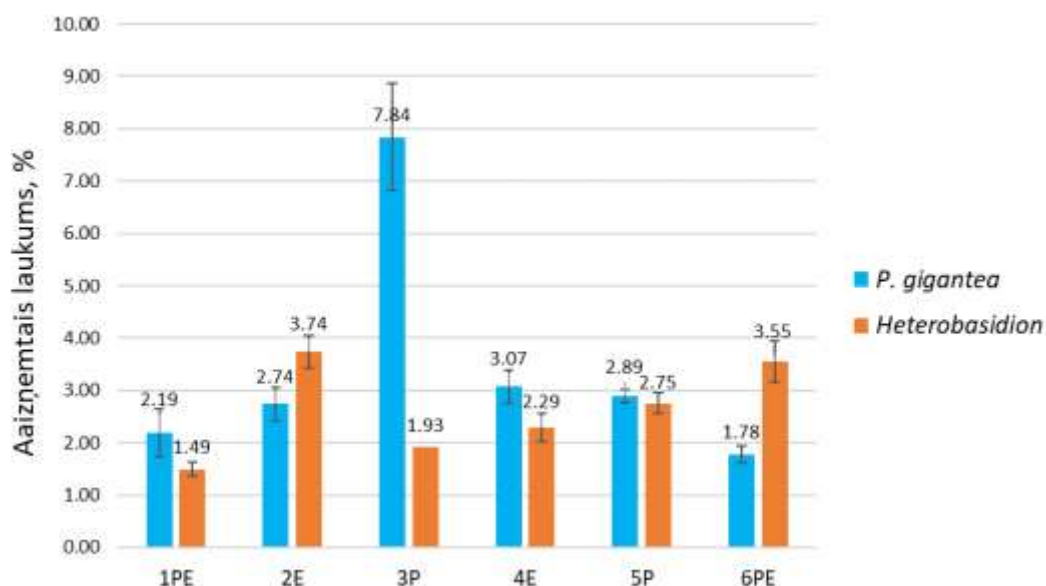
4.13. att. Lielās pergamentsēnes (P.g. - zaļš marķējums) un sakņu piepes (H. a.-sarkani punkti) dabiskās infekcijas salīdzinājums parauglaukumā 3 P (3) un 5 P (5)

4.8. tabula. Priedes ripu skaits un proporcija (%) dalījumā pa parauglaukumiem, kur konstatētas *P. gigantea* un *Heterobasidion* spp.

Nr.	Parauglaukums	Tikai Het.,		Tikai P.g.,		Het. un P.g.,		-*,	
		N / %	N / %	N / %	N / %	N / %	N / %		
1	1PE	3	15	3	15	1	5	13	65
2	2E	2	10	1	5	11	55	6	30
3	3P	0	0	16	80	1	5	3	15
4	4E	1	5	6	30	9	45	4	20
5	5P	3	15	7	35	7	35	3	15
6	6PE	3	15	2	10	12	60	2	10

* ripās netika konstatēta ne *P. gigantea*, ne *Heterobasidion*

Novērtējot celmus kolonizējošo sēņu sastopamību konkrētā audzē, svarīgi ir noteikt ne tikai inficēto celmu skaitu, bet arī sēnes micēlija aizņemto laukumu (Kenigvalde *et al.*, 2016 un citētā literatūra). Salīdzinot lielās pergamentsēnes vidējo aizņemto laukumu analizētajās ripās, konstatēts, ka būtiskas atšķirības uzrāda audze 3P (4.14. attēls).

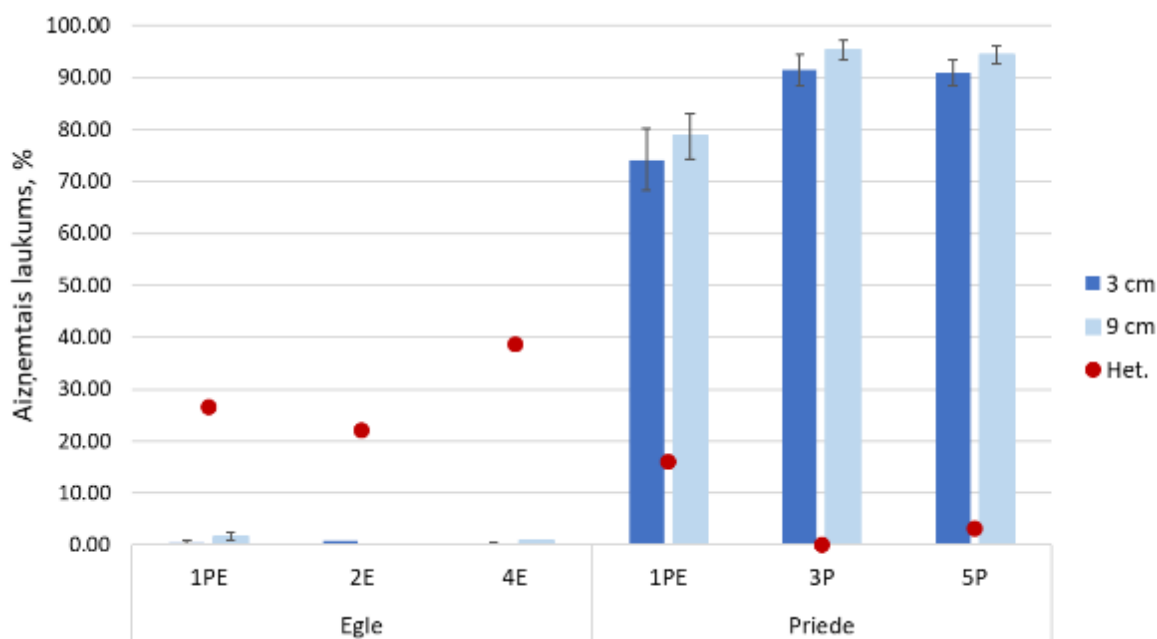


4.14. att. *P. gigantea* un *Heterobasidion* aizņemtais laukums (%) no ripas laukuma

Vidējais *P. gigantea* aizņemtais laukums priedes ripās šajā audzē pārsniedz 7%. Iespējams, ka salīdzinoši augstā dabiskās *P. gigantea* infekcija arī ir iemesls, kāpēc šajā audzē netika atrasta neviena priedes ripa, kurā būtu pārstāvēts tikai *Heterobasidion*. Līdzīgi, analizējot abu iepriekš minēto sēņu vienlaicīgu sastopamību egļu celmos, secināts, ka, *P. gigantea* pārsniedzot 10% no celma virsmas laukuma, būtiski samazinās *Heterobasidion* sastopamība (Kenigvalde *et al.*, 2016).

4.3.2.3. *P. gigantea* un *Heterobasidion* attīstības novērtējums skuju koku blūķīšos

P. gigantea konstatēta pavisam 44 (98%) priedes un 8 (18%) egles blūķīšos, savukārt *Heterobasidion* attiecīgi 17 (38%) un 44 (98%) blūķīšos trīs centimetru dziļumā. *P. gigantea* aizņemtais laukums 3 cm dziļumā variēja no 74% līdz 91% priedes blūķīšos un no 0,3% līdz 0,8% egles blūķīšos atkarībā no parauglaukuma, atšķirības starp koku sugām ir būtiskas ($p < 0,05$). Attiecīgi 9 cm dziļumā *P. gigantea* aizņemtais laukums priedes blūķīšos bija 79-95% bet egles blūķīšos 0,8-1,7%. *Heterobasidion* aizņemtais laukums 3 cm dziļumā bija 0-16% priedes blūķīšos un 22-39% egles blūķīšos (4.15. attēls).



4.15. att. *P. gigantea* (zilā krāsā) un *Heterobasidion* (sarkanā krāsā) aizņemtais laukums priedes un egles blukšīšos 3 cm un 9 cm dziļumā

Astoņpadsmit centimetru dziļumā parauglaukumā 1PE *P. gigantea* aizņemtais laukums priedes blukšīšos bija vidēji 76% no ripas laukuma, savukārt egles blukšīšos *P. gigantea* 18 cm dziļumā netika konstatēta. *Heterobasidion* infekcija priedes un egles blukšīšos analizētajā audzē 3 cm dziļumā bija attiecīgi 16% un 23%. Iegūtie dati, novērtējot *P. gigantea* un *Heterobasidion* micēlija attīstību dziļāk koksnē, apstiprina rezultātus, kas iegūti, eksponējot egles un priedes ripas dažādos attālumos no *P. gigantea* auglķermeņa – lielā pergamentsēne daudz sliktāk kolonizē egles koksnē, bet priedes koksnē *P. gigantea* ierobežo *Heterobasidion* attīstību. Arī iepriekš LVMI Silava veiktos pētījumos, novērtējot *P. gigantea* attīstību 7 dažādu koku sugu koksnē, secināts, ka *P. gigantea* augšanas ātrums *Pinus* sp. koksnē būtiski atšķiras no augšanas ātruma egles koksnē (Zaluma *et al.*, 2019).

4.3.3. Secinājumi

1. Aktīva *P. gigantea* sporulācija konstatēta arī novembra/decembra mēnešos. Gaisa temperatūrai pārsniedzot 0 °C no viena cm² *P. gigantea* auglķermeņa izdalīto sporu daudzums diennaktī vidēji sastāda 33 000 bazīdijsporu.
2. Izdalīto sporu daudzums samazinās, palielinoties attālumam no auglķermeņa, tomēr 10 m attālumā konstatēto sporu daudzums uz 1 m² stundas laikā var sasniegt 120 000 sporu.
3. Lielā pergamentsēne labāk kolonizē priedes koksnē, salīdzinot ar eglī. Sēnes aizņemtajam laukumam pārsniedzot 7 % no ripas kopējā laukuma, sakņu piepes sporu infekcija netika konstatēta. Attīstoties dziļāk koksnē, lielās pergamentsēnes micēlijs ierobežo sakņu piepes micēlija attīstību.
4. Lai novērtētu dabiskās lielās pergamentsēnes sastopamību audzē, blukšīšu vietā var izmantot skuju koku ripas.

4.4. Priežu provenienču/ ģimeņu rezistenteces pārbaude priedes audzēs

Mākslīgās inficēšanas pētījumos tiek analizēta ģenētisko faktoru ietekme uz egļu uzņēmību pret sakņu piepi (Chaudhary *et al.*, 2020). Skandināvijā veiktos kokaugu rezistences pētījumos parasti tiek izmantots klonāli pavairots stādmateriāls (Swedjemark, Stenlid, 1997, Swedjemark *et al.*, 1999). Secināts, ka inficēšanos ar sakņu piepi ietekmē konkrētā egļu klona īpašības. Analizējot *Heterobasidion annosum* un *Heterobasidion parviporum* augšanas ātruma variāciju priežu un egļu stādos, konstatēts, ka no sēkļu materiāla būtu nepieciešams izdalīt priežu un egļu klonus, kurus raksturo zemāka uzņēmība pret patogēnu (Zaluma *et al.*, 2015). Mūsu iegūtie dati priežu brīvapputes pēcnācēju pārbažu stādījumā liecina, ka priedes uzņēmība pret sakņu piepi ir atkarīga no iedzimtības (Rieksts-Riekstiņš *et al.*, 2020). 2021. gadā atlasītas trīs parastās priedes vidēja vecuma audzes - starptautiskās ģeogrāfiskās kultūras un viena jaunaudze - lai analizētu provenienču uzņēmību pret sakņu piepi.

4.4.1. Materiāli un metodes

2021. gadā kopā analizētas četras audzes (4.9. tabula).

4.9. tabula. 2021. gadā analizēto parastās priedes provenienču un ģimeņu stādījumu raksturojums

Apzīmējums	Atrašanās vieta	Vecums, gadi	Platība, ha	Kaltuši	Ar <i>Heterobasidion</i> sp. inficēti koki
Bārta	56.3788, 21.2094	46	3.5	35	3
Zvirgzde	56.6794, 24.4369	46	3	32	0
Kalsnava 1	56.6744, 25.9599	46	3	448	15
Kalsnava 2	56.6838, 25.9940	5	15	318 stādi	19 (stādi); 26 infekcijas centri (inficēti pieauguši koki/celmi)

Bārtas un Zvirgzdes parauglaukumos *Heterobasidion annosum* klātbūtne noteikta, novērtējot koku vainagu stāvokli, kā arī, analizējot auglķermeņu sastopamību un ņemot koksnes paraugus, kā aprakstīts 1.1. un 1.2. nodaļā.

MPS stādījumos Kalsnava 1 un Kalsnava 2 veikta paraugu ievākšana. Kalsnava 1 katrā parcelā tika nozāģēti stāvoši vai izgāzti nokaltuši koki. Kalsnava 2 nozāģēti kaltušie stādi izdalītajos infekcijas centros. No kokiem un stādiem ņemtas apmēram 3 cm biezas ripas iespējami tuvāk sakņu kaklam. Ripas nogādātas LVMI Silava, kur veikta paraugu turpmākā analīze un paraugi uzglabāti + 4⁰ C temperatūrā.

Objektā Kalsnava 2 papildus ievākti paraugi no iepriekšējās ģenerācijas celmiem – infekcijas centros, nozāģējot virsējo ripu no 1-2 iepriekšējās paaudzes celmiem. Ripas nomizotas un nomazgātas ar birsti zem tekoša krāna ūdens, pēc tam no ripām notecināja lieko ūdeni. Ripas ievietoja polietilēna maisos, atstājot maisu galus vaļā, lai nodrošinātu tajos gaisa cirkulāciju. Maisus ar ripām stāvus ievietoja kastēs un inkubēja 5 - 7 dienas istabas temperatūrā. Tālāk paraugu apstrāde un analīze kā 2.1. nodaļā.

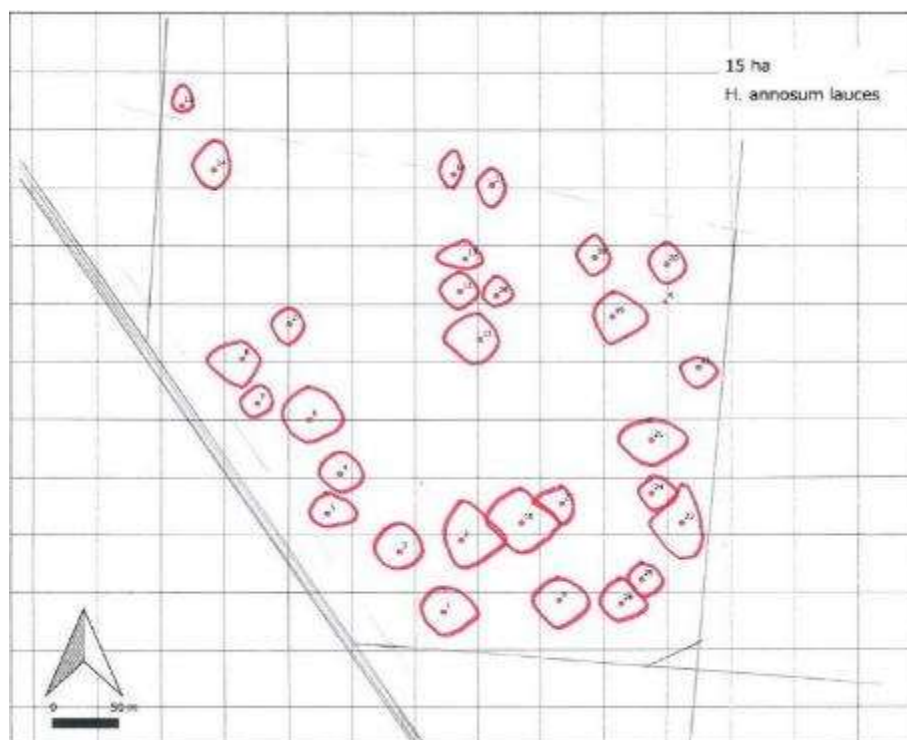
4.4.2.Rezultāti

Zvirgzdē koku inficēšanās nav konstatēta, turpretī, objektos Bārta un Kalsnava 1 un 2 konstatēti inficēti koki, no kuriem ievākti koksnes paraugi. Kalsnava 1 un Kalsnava 2 kaltsušo koku skaits sasniedz 766.

Iegūtie dati liecina, ka Kalsnava 1 audze inficējusies pēc iepriekšējās paaudzes koku nociršanas, vai kopšanas laikā, jo konstatēti nelieli genotipi izkliedus visā audzē, kas sastāda ne vairāk nekā 2 inficētus kokus. Tomēr nokaltušo koku skaits liecina, ka infekcijas īpatsvars varētu būt lielāks, jo: 1) ar analizē izmantotajām metodēm netiek atklāts, 2) pagājis pārāk ilgs laiks kopš koka nokalšanas un koksni kolonizējušas citas saprofitiskās sēnes, dzīvs *Heterobasidion* micēlijs vairs koksnē nav sastopams. Lai iegūtu vēl precīzākus datus nepieciešams ņemt paraugus no saknēm, nevis sakņu kakla - literatūrā norādīts, ka nereti priedes nokalst pat vienas sezonas laikā, infekcijai izplatoties tikai sakņu sistēmā (Woodward *et al.*1998). Kalsnava 1 stādījumā iegūtie dati tiks izmantoti, lai ilgtermiņā izvērtētu infekcijas attīstību audzē un noteiktu pret sakņu piepi uzņēmīgākās un rezistentās ģimenes.

2021. gadā uzmērīti visi stāvošie koki, stādījuma shēmā atzīmēti infekcijas centri un kaltsušie koki (1. pielikums), vislielākais (7-8 koki jeb 50% no parcelē iestādītajiem kokiem) nokaltušo koku skaits ir Smiltenes, Silenes un Cirgaļu proveniencēm. Jāatzīmē, ka šajās proveniencēs tika konstatēta arī *Heterobasidion* spp. infekcija (2. pielikums).

Kalsnava 2 stādījumā iepriekš ir ievākti paraugi no iepriekšējās ģenerācijas kokiem (4.16. attēls) un tika izdalīti 29 infekcijas centri, vidēji viena lauce aizņēma 1083 m² (lauču rādiuss variēja no 9 līdz 30 m), bet visas lauces kopā aizņēma 31 421 m² jeb 21% no apsekotās teritorijas. *Heterobasidion* spp. tika izolēts 26 laucēs jeb 19% no 15 ha.



4.16. att. *Heterobasidion annosum* infekcijas centru izvietojums

Visi no iepriekšējās paaudzes kokiem iegūtie *Heterobasidion annosum* izolāti ir saglabāti. 2021. gadā ievācot paraugus, tika konstatēts, ka 4 gadus vecā audzē konstatējama ne tikai infekcijas pārnese no iepriekšējās paaudzes kokiem uz stādiem, bet arī jauno koku kalšana un augļķermeņu attīstība. Pavisam 6 no 19 inficētajiem kokiem tika konstatēti augļķermeņi. To virsmas laukums variēja no 0,1 cm² līdz 4,5 cm². No ievāktajiem koksnes paraugiem tika izdalītas deviņas sakņu piepes tīrkultūras. Jāatzīmē, ka līdz šim analizētajā literatūrā norādīts,

ka *Heterobasidion* infekcijas pārnesei no koka uz koku nepieciešami vidēji 8 gadi (Василяускас, 1989), bet mūsu iegūtie rezultāti pierāda, ka process audzēs ar augstu inficēto celmu frekvenci notiek daudz straujāk. Iegūtie *Heterobasidion* spp. izolāti tiek analizēti, lai noteiktu to piederību konkrētiem genotipiem. Iegūtie dati ļaus noteikt infekcijas izplatības ātrumu ilgtermiņā un atlasīt rezistentākās *P. sylvestris* ģimenes.

4.4.3. Secinājumi

1. Sakņu piepe priežu jaunaudzēs koku kalšanu izraisa jau 3-4 gadus pēc stādīšanas.
2. Veģetācijas sezonā nepieciešams veikt celmu apstrādi, lai ierobežotu sakņu trapes sporu infekciju; stipri inficētās platībās jāapsver celmu izstrādes lietderība.

4.4.5. Koksnes endofītu loma skuju koku rezistencē pret sakņu trupi izraisošām sēnēm

Endofīti ir mikroorganismi, kas apdzīvo dzīvus augu audus, neizraisot saimniekauga slimību. Ir zināms, ka endofīti uzlabo augu augšanu un paaugstina augu izturību pret nelabvēlīgiem vides faktoriem (Costa, Loper, 1994; Surette *et al.*, 2003; Terhonen *et al.*, 2019). Novērots, ka augi ar endofītiem ir veselīgāki nekā augi bez endofītiem (Waller *et al.*, 2005), jo endofīti paaugstina augu rezistenci pret dažādām augu slimībām (Bandara *et al.*, 2007). Ar egli ir saistītas vairāk nekā 100 endofītu sugas (Huse, 1981; Sieber, 1989; Barklund, Kowalski, 2011), tomēr ir samērā maz pētījumu par to antagonistisko aktivitāti pret trupi izraisošām sēnēm (Terhonen *et al.*, 2014; 2016). Tāpēc svarīgi novērtēt to lomu sakņu trapes infekcijas ierobežošanā.

Askusēni *Neonectria fuckeliana* ilgstoši uzskatīja par nenozīmīgu brūču patogēnu (Roll-Hansen, Roll-Hansen, 1980), kas bieži tika izdalīts no netrupējušās veselo egļu koksnes bez kādām slimības pazīmēm kā koksnes endofīts (Roll-Hansen, Roll-Hansen, 1979; Huse, 1981; Vasiliauskas, Stenlid, 1998). Apmēram pirms 15 gadiem tika pierādīts, ka *N. fuckeliana* ir nopietns patogēns *P. radiata* audzēs Jaunzēlandē, kur tā izraisa stumbra vēzi (Crane *et al.*, 2009, Dick, Crane, 2009). Pēdējos gados arī vairākās Eiropas valstīs pierādīts, ka *N. fuckeliana* izraisa stumbra vēzi parastai un Sitkas eglei (Lilja *et al.*, 2012; Pettersson *et al.*, 2016; Pettersson *et al.*, 2018; Børve, Talgø, 2018). Tāpēc ir svarīgi novērtēt šīs sēnes ietekmi uz parastās egles stumbra kvalitāti Latvijā.

4.5.1. Materiāli un metodes

Pētījumā izmantoti 23 sēņu izolāti no LVMI Silava izolātu kolekcijas (4.10. tabula).

4.10. tabula. Pētījumā izmantoto sēņu izolātu apraksts

Sēņu suga	Izolāts	Numurs NCBI Genbank datubāzē	Izcelsme
<i>Aequalibiella effusa</i>	K21	KP698191	Šķēde
<i>Arthriniun</i> sp.	E48		Talsi
<i>Beauveria bassiana</i>	E31		Tukums
	E32		Talsi
<i>Cadophora fastigiata</i>	O5		Ogre
<i>Cadophora malorum</i>	SR38	MK911672	Jaunpils
<i>Cenococcum</i> sp.	SR98	MK911706	Dursupe
<i>Coniochaeta</i> sp.	E34		Talsi
<i>Cosmospora vilior</i>	C10		Koknese
<i>Epicoccum nigrum</i>	E214		Cēsis
<i>Eutypa</i> sp.	K7		Kalsnava
<i>Helotiales</i> sp.	K35		Kalsnava
<i>Lachnum</i> sp.	K48	KR072507	Kalsnava
<i>Neonectria fuckeliana</i>	O5		Ogre
	SR107		Nītaure
<i>Phialocephala fortinii</i>	S71	MK911636	Stende
<i>Phialocephala</i> sp.	K13	KR072498	Kalsnava
	SR16	MK911655	Stende
<i>Pyrenophora dematioidea</i>	E128		Tukums
<i>Symbiotaphrina</i> sp.	SR88		Stende
<i>Trichoderma polysporum</i>	SR41	MK911675	Ogre
<i>Umbelopsis isabellina</i>	SR11	MK911652	Dursupe
<i>Umbelopsis rammaniana</i>	SR5		Ogre
<i>Heterobasidion annosum</i> s.s.	HAZ		Zvirgzde
<i>Heterobasidion parviporum</i>	HPO		Ogre

Lai novērtētu izvēlēto sēņu izolātu antagonismu pret *Heterobasidion* spp., no pārbaudāmā sēņu izolāta izgriezta agara bloku un ievietoja Petri platē ar iesala-agara barotni tuvu plates malai. Pretējā pusē ievieto tādu pašu agara bloku, kas izgriezts no *Heterobasidion annosum* vai *H. parviporum* tīrkultūras. Pēc 14 un 20 dienām novērtē sēņu mijiedarbību: 1) pārbaudāmais sēņu izolāts uzauga virsū *Heterobasidion* izolātam, (uzaugušā micēlija platums); 2) izveidojas demarkācijas līnija, tās platums; 3) antagonisms nav novērots 4) *Heterobasidion* uzauga virsū pārbaudāmai kultūrai.

2011. gada rudenī Ogres virsmežniecībā (501-162-9) kopā ar Dr. Annu Hopkins no SCION (Jaunzēlande) tika ierīkots ilgtermiņa eksperiments, lai novērtētu *N. fuckeliana* dažādu izolātu ietekmi uz egles stumbra kvalitāti. Eksperimentam izvēlētas 60 egles bez mizas bojājumiem, kurām krūšu augstumā no četrām pusēm (austrumu, dienvidu, rietumu un ziemeļu) ar Preslera svārpstu veikts urbums un tajā ar mehānisko pipeti iepilināja *N. fuckeliana* izolātu suspensijas vai sterilu ūdeni kontrolei. Inficēšanai izmantoja trīs dažādus *N. fuckeliana* izolātus (viens urbums – viens izolāts). Pēc tam audzi apsekoja 2012. un 2013. gadā.

4.5.2. Rezultāti un to analīze

Iegūti rezultāti ir apkopoti 4.11. tabulā.

4.11. tabula. Egļu koksnes endofītu antagonisms pret *Heterobasidion* spp

Sēņu suga	Izolāts	Demarkācijas līnijas/pārauguma zonas platums, cm			
		<i>H.annosum</i>		<i>H.parviporum</i>	
		Pēc 14 dienām	Pēc 25 dienām	Pēc 14 dienām	Pēc 25 dienām
<i>Aequalibiella effusa</i>	K21	0,5	0,1	0,4	-
<i>Arthrimum</i> sp.	E48	0,7	0,3	0,7	0,1*
<i>Beauveria bassiana</i>	E31	2,0	0,4	2,0	0,2
	E32	2,6	0,4	1,4	0,1
<i>Cadophora fastigiata</i>	O5	1,9	0,9	1,7	1,1
<i>Cadophora malorum</i>	SR38	2,6	-	1,2	-
<i>Cenococcum</i> sp.	SR98	1,4	0,4	0,5	0,1
<i>Coniochaeta</i> sp.	E34	2,8	1,1	2,1	1,0
<i>Cosmospora vilior</i>	C10	2,5	0,2	1,2	0,2
<i>Epicoccum nigrum</i>	E214	2,1	1,0	1,8	0,7
<i>Eutypa</i> sp.	K7	0,5	0,1	0,1	0,2*
<i>Helotiales</i> sp.	K35	2,8	1,7	2,5	1,6
<i>Lachnum</i> sp.	K48	2,6	1,1	2,2	1,4
<i>Neonectria fuckeliana</i>	O5	3,2	0,4	1,9	0,1
	SR107	2,8	0,7	1,5	0,1
<i>Phialocephala fortinii</i>	S71	2,5	0,8	1,5	0,1
<i>Phialocephala</i> sp.	K13	2,1	0,1	1,2	0,1
	SR16	1,7	0,4	2,7	-
<i>Pyrenophora dematioidea</i>	E128	0,6	0,1	1,4	0,5
<i>Symbiotaphrina</i> sp.	SR88	2,8	0,5	2,5	0,3
<i>Trichoderma polysporum</i>	SR41	0,8*	1,4*	0,4*	1,3*
<i>Umbelopsis isabellina</i>	SR11	0,3	0,1	0,1	0,1
<i>Umbelopsis rammaniana</i>	SR5	0,3	0,1	0,2	0,1

* Pārbaudāmā sēne uzauga virsū *Heterobasidion* micēlijam

Visas pārbaudītās sēnes palēnināja abu *Heterobasidion* sugu micēlija augšanu (vidēji $0,13 \pm 0,05$ cm dienā vs. $0,24 \pm 0,07$ cm dienā *H. annosum* un $0,14 \pm 0,05$ cm dienā vs. $0,26 \pm 0,05$ cm dienā *H. parviporum*), un lielākā daļa no pārbaudītajiem sēņu izolātiem uzrādīja stipru vai vidēji stipru antagonismu pret *H. annosum* un *H. parviporum* (attiecīgi 96% un 87% sēņu izolātu) (4.17, 4.18., 4.19. attēli). Trīs sēņu sugas pēc 25 dienām arī uzauga virsū *H. parviporum* micēlijam (*Arthrimum* sp. E48, *Eutypa* sp. K7 un *Trichoderma polysporum*), turklāt *T. polysporum* uzauga virsū arī *H. annosum* micēlijam.

Dažādas *Trichoderma* sugas bieži tiek izdalītas no netrupējušas egles koksnes (gan no augošiem kokiem, gan no celmiem) (Roll-Hansen, Roll-Hansen, 1979; Arhipova *et al.*, 2011). Ir vairāki pētījumi par šo sēņu izmantošanu dažādu augu slimību ierobežošanā, ieskaitot celmu apstrādi pret sakņu piepes sporu infekciju (Alksne *et al.*, 2015; Kenigsvalde *et al.*, 2017; Kumar, Ashraf, 2017). Mūsu pētījumā tikai trīs sēņu sugas neuzrādīja antagonismu pret *H. parviporum* (*Aequalibiella effusa* (4.20. attēls)), *Cadophora malorum* un *Phialocephala* sp. SR16). *Cadophora malorum* neuzrādīja antagonismu arī pret *H. annosum*.



4.17. att. *Epicoccum nigrum* (EN) antagonisms pret *Heterobasidion parviporum* (HP)



4.18. att. *Pyrenophora dematioidea* (E128) antagonisms pret *Heterobasidion parviporum* (HP)



4.19. att. *Helotiales* sp. K35 antagonisms pret *Heterobasidion parviporum* (HP)



4.20. att. *Heterobasidion parviporum* (HP) micēlijs uzauga virsū *Aequalibiella effusa* (K21) micēlijam

Audzē, kur 2011. gadā ierīkots eksperiments par *N. fuckeliana* ietekmi uz *P. abies* stumbra kvalitāti, atjaunots marķējums. Vairākiem kokiem konstatētas stumbra vēža pazīmes (4.21. attēls).



4.21. att. Stumbra vēža pazīmes pēc inokulācijas ar *N. fuckeliana*

2022. gadā paredzēta eksperimentālo koku nozāgēšana, lai novērtētu *N. fockeliana* izraisīto koksnes iekrāsojumu un ietekmi uz koksnes kvalitāti.

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

- Alksne, L., Nikolajeva, V., Petriņa, Z., Eze, D., & Gaitnieks, T. (2015). Influence of *Trichoderma* isolates and *Phlebiopsis gigantea* on the growth of *Heterobasidion parviporum* and wood decay of Norway spruce in controlled conditions. *Environmental and Experimental Biology*, 13, 159–168.
- Annesi, T., Curcio, G., D'Amico, L. & Motta, E. (2005). Biological control of *Heterobasidion annosum* on *Pinus pinea* by *Phlebiopsis gigantea*. *Forest Pathology*, 35, 127- 134.
- Arhipova, N. (2012). *Heart rot of spruce and alder in forests of Latvia: Impact and possibilities for silvicultural control*. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Arhipova, N., Gaitnieks, T., Donis, J., Stenlid, J., & Vasaitis, R. (2011). Butt rot incidence, causal fungi, and related yield loss in *Picea abies* stands of Latvia. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(12), 2337–2345. <https://doi.org/10.1139/x11-141>
- Arhipova, N., Jansons, A., Zaluma, A., Gaitnieks, T., & Vasaitis, R. (2015). Bark stripping of *Pinus contorta* caused by moose and deer: Wounding patterns, discoloration of wood, and associated fungi. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(10), 1434–1438. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0119>
- Baietto, M., & Dan Wilson, A. (2010). Relative in vitro wood decay resistance of sapwood from landscape trees of southern temperate regions. *HortScience*, 45(3), 401–408. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.3.401>
- Barklund, P., & Kowalski, T. (2011). Endophytic fungi in branches of Norway spruce with particular reference to *Trybliopsis pinastri*. *Canadian Journal of Botany*, 74(5), 673-678.
- Bendz-Hellgren, M. B., & Stenlid, J. (1995). Long-term reduction in the diameter growth of butt rot affected Norway spruce, *Picea abies*. *Forest Ecology and Management*, 74(1), 239–243. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03530-N](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03530-N)
- Bendz-Hellgren, M. B., Brandtberg, P. O., Johansson, M., Swedjemark, G., & Stenlid, J. (1999). Growth rate of *Heterobasidion annosum* in *Picea abies* established on forest land and arable land. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(5), 402–407. <https://doi.org/10.1080/02827589950154104>
- Berglund, M. (2005). Infection and growth of *Heterobasidion* spp. in *Picea Abies*: Control by *Phlebiopsis gigantea* stump treatment. Swedish University of Agricultural Sciences. PhD thesis, 41 pp.
- Berglund, M., & Rönnberg, J. (2004). Effectiveness of treatment of Norway spruce stumps with *Phlebiopsis gigantea* at different rates of coverage for the control of *Heterobasidion*. *Forest Pathology*, 34(4), 233–243. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2004.00363.x>
- Berglund, M., Rönnberg, J., Holmer, L., & Stenlid, J. (2005). Comparison of five strains of *Phlebiopsis gigantea* and two *Trichoderma* formulations for treatment against natural *Heterobasidion* spore infections on Norway spruce stumps. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20, 12- 17.
- Boddy, L. (2000). Interspecific combative interactions between wood-decaying basidiomycetes. *FEMS Microbiology Ecology*, 31(3), 185–194. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(99\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(99)00093-8)
- Børve, J., & Talgø, V. (2018). Neonectria cankers on trees. Abstract book, SNS/NKJ network meeting, Ås, Norway, 06.02.2018, NIBIO BOOK 4 (4), 27-34.
- Brandtberg, P. O., Johansson, M., & Seeger, P. (1996). Effects of season and urea treatment on infection of stumps of *Picea abies* in stands on former arable land. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 11, 261–268.
- Breitenbach, J., & Kränzlin, F. (1986.) Fungi of Switzerland. Volume 2. Non gilled fungi. Heterobasidiomycetes, Aphyllophorales, Gastromycetes. Verlag Mycologia, CH-6000 Lucerne 9, Switzerland, 412.
- Brūna, L., Kļaviņa, D., Korhonen, K., Zaļuma, A., Burņeviča, N., & Gaitnieks, T. (2019). Effect

- of soil properties on the spread of *Heterobasidion* root rot. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, 73(6), 466–471. <https://doi.org/10.2478/prolas-2019-0072>
- Brūna, L., Kļaviņa, D., Zaļuma, A., Kenigšvalde, K., Burņeviča, N., Nikolajeva, V., Gaitnieks, T., & Piri, T. (2020). Efficacy of *Phlebiopsis gigantea* against *Heterobasidion* conidiospore and basidiospore infection in spruce wood. *IForest*, 13(5), 369–375. <https://doi.org/10.3832/ifor3279-013>
- Brūna, L., Lione, G., Kenigšvalde, K., Burņeviča, N., Zaļuma, A., Kļaviņa, D., Gaitnieks, T., & Gonthier, P. (2021). Inferences on the susceptibility of wood of different tree species to *Heterobasidion annosum* sensu lato primary infections and on the range of pathogen spores dispersal. *Forests*, 12 (7), 854. <https://doi.org/10.3390/f12070854>
- Burņeviča, N., Zaļuma, A., Kļaviņa, D., Brūna, L., Legzdina, L., & Gaitnieks, T. (2021). Initial and long-term fungal diversity and occurrence of *Heterobasidion* spp. in Norway spruce root fragments remaining in soil after stump extraction. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36(2–3), 117–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1890814>
- Buša I. 2020. Armillaria spp. sastopamība parastās egles (*Picea abies* (L.) H. Karst) koksnē. Maģistra darbs. LLU, Jelgava, 58 lpp.
- Capretti, P., Goggioli, V., & Mugnai, L. (1994). Intersterility groups of *Heterobasidion annosum* in Italy: Distribution, hosts and pathogenicity tests. In: Johansson M, Stenlid J, ed. *Proceedings of the Eighth International Conference on Root and Butt Rots*. Wik, Sweden and Haikko, Finland. Swedish Univ. of Agric. Sci., Uppsala, Sweden, 218–226.
- Chapela, I. H. (1989). Fungi in healthy stems and branches of American beech and aspen: a comparative study. *New Phytologist*, 113(1), 65–75. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb02396.x>
- Chaudhary, R., Lundén, K., Dalman, K., Dubey, M., Nemesio-Gorriz, M., Karlsson, B., Stenlid, J., & Elfstrand, M. (2020). Combining transcriptomics and genetic linkage based information to identify candidate genes associated with *Heterobasidion*-resistance in Norway spruce. *Scientific Reports*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69386-0>
- Cleary, M. R., Arhipova, N., Morrison, D. J., Thomsen, I. M., Sturrock, R. N., Vasaitis, R., Gaitnieks, T., & Stenlid, J. (2013). Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials. *Forest Ecology and Management*, 290, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.040>
- Costa, J. M., & Loper, J. E. (1994). Characterization of siderophore production by the biological-control agent *Enterobacter cloacae*. *Molecular Plant Microbe Interaction*, 7, 440–448.
- Crane, P. E., Hopkins, A. J. M., Dick, M., & Bulman, L. S. (2009). Behavior of *Neonectria fuckeliana* causing a pine canker disease in New Zealand. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(11), 2119–2128.
- Dick, M., & Crane, P. E. (2009). *Neonectria fuckeliana* is pathogenic to *Pinus radiata* in New Zealand. *Australasian Plant Disease Notes*, 4, 12–14.
- Dimitri, L., Zycha, H., & Kliefoth, R. (1971). Untersuchungen über die Bedeutung der Stubbeninfektion durch *Fomes annosus* für die Ausbreitung der Rotfäule der Fichte. *Forstwiss. Centralblatt*, 90(1), 104–117.
- Drenkhan, T., Hanso, S., & Hanso, M. (2008). Effect of the stump treatment with *Phlebiopsis gigantea* against *Heterobasidion* root rot in Estonia. *Baltic Forestry*, 14(1), 16–25.
- Franceschi, V. R., Krokene, P., Christiansen, E., & Krekling, T. (2005). Anatomical and chemical defences of conifer bark beetles and other pests. *New Phytologist*, 167, 353–376.
- Gaitnieks, T., Bruna, L., Zaļuma, A., Burnevica, N., Klavina, D., Legzdina, L., Jansons, J., & Piri, T. (2021). Development of *Heterobasidion* spp. fruit bodies on decayed *Picea abies*. *Forest Ecology and Management*, 482 (December 2020), 118835.

- <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118835>
- Gaitnieks, T., Arhipova, N., Donis, J., Stenlid, J., Vasaitis, R. (2008). Butt rot incidence and related losses in Latvian *Picea abies* (L.) Karst. stands. – In: Proceedings of 12th International Conference on Root and Butt rots, Berkley, California Medford, Oregon, 12-19 August 2007, 177–179.
- Gaitnieks, T., Klavina, D., Muiznieks, I., Pennanen, T., Velmala, S., Vasaitis, R., Menkis, A. (2016). Impact of *Heterobasidion* root-rot in fine root morphology and associated fungi in *Picea abies* stands on peat soils. *Mycorrhiza*, 26(5), 465-473.
- Gaitnieks, T., Zaļuma, A., Kenigšvalde, K., Brūna, L., Kļaviņa, D., Burņeviča, N., Stenlid, J., Jankovský, L., & Vasaitis, R. (2020). Natural infection and colonization of pre-commercially cut stumps of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* by *Heterobasidion* rot and its biocontrol fungus *Phlebiopsis gigantea*. *Biological Control*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104208>
- Gaitnieks, T., Zaļuma, A., Kenigšvalde, K., Klavina, D., Brauners, I., & Piri, T. (2019). Susceptibility of small-Diameter Norway Spruce Understory stumps to *Heterobasidion* spore infection. *Forests*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/f10060521>
- Garbelotto, M., & Gonthier, P. (2013). Biology, epidemiology, and control of *Heterobasidion* species worldwide. *Annu Rev Phytopathol*, 51, 39–59.
- Gibbs, J. N. & Pratt, J. E. (2001). Experiments on the susceptibility of conifers to *Heterobasidion annosum* in Great Britain. *Forest Pathology*, 31, 219–228.
- Gibbs, J. N., Greig, B. W. J. & Pratt, J. E. (2002). Fomes root rot in Thetford forest, East Anglia: past, present and future. *Forestry*, 75, 191–202.
- Giri, A., & Rana, P. (1970). Some Higher Fungi from Sagarmatha National Park (SNP) and its Adjoining Areas, Nepal. *Scientific World*, 5(5), 67–74. <https://doi.org/10.3126/sw.v5i5.2659>
- Gonthier, P. (2010). Controlling root and butt rot diseases in Alpine European forests. – In: Arya, A., Perelló, A. E. (eds.). Management of Fungal Plant Pathogens. CAB International, Wallingford, 345-361.
- Gonthier, P. (2019). Frequency of stump infections by *Heterobasidion annosum* s.l. and benefits from urea treatments vary with tree species and season in European Alpine forests. *Forest Ecology and Management*, 434, 76–86.
- Gonthier, P., Brun, F., Lione, G., & Nicolotti, G. (2012). Modelling the incidence of *Heterobasidion annosum* butt rots and related economic losses in alpine mixed naturally regenerated forests of northern Italy. *Forest Pathology*, 42, 57–68.
- Gonthier, P., Thor, M. (2013). Annosus root and butt rots. – In: Gonthier, P., Nicolotti, G. (Eds.), Infectious Forest Diseases. CAB International, Wallingford, New York, pp.128–158.
- Gonthier, P., Lione, G., Giordano, L., & Garbelotto, M. (2012). The American forest pathogen *Heterobasidion irregulare* colonizes unexpected habitats after its introduction in Italy. *Ecological Applications*, 22(8), 2135–2143. <https://doi.org/10.1890/12-0420.1>
- Gonthier, P., Garbelotto, M., Nicolotti, G. (2005). Seasonal patterns of spore deposition of *Heterobasidion* species in four forests of the western Alps. *Phytopathology*, 95(7), 759-767.
- Gonthier, P., Garbelotto, M., Varese, G.C., Nicolotti, G. (2001). Relative abundance and potential dispersal range of intersterility groups of *Heterobasidion annosum* in pure and mixed forests. *Canadian Journal of Botany*, 79, 1057–1065.
- Greig, B. J. W. (1976). Biological control of *Fomes annosus* by *Peniophora gigantea*. *European Journal of Forest Pathology*, 6, 65-71.

- Greig, B.J.W., Pratt, J.E. (1976). Some observations on the longevity of *Fomes annosus* in conifer stumps. *European Journal of Forest Pathology*, 6(4), 250-253. doi: 10.1111/j.1439-0329.1976.tb00533.x
- Greig, B. J. W. (1962). *Fomes annosus* (Fr.) Cke and other root - rotting fungi in conifers on ex - hardwood sites. *Forestry*, 35(2), 164-182.
- Greig, B.J.W., Gibbs, J.N., Pratt, J.E. (2001). Experiments on the susceptibility of conifers to *Heterobasidion annosum* in Great Britain. *Forest Pathology*, 31(4), 219-228. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.2001.00239.x>
- Hamberg, L., Korhonen, K., & Hantula, J. (2012). Interaction between *Chondrostereum purpureum* and *Phlebiopsis gigantea* in mixed suspensions and their biocontrol efficacy in spruce logs and birch stumps. *Biocontrol Science and Technology*, 22(10), 1239–1243. <https://doi.org/10.1080/09583157.2012.720673>
- Hantula, J., Vainio, E. (2003). Specific primers for the differentiation of *Heterobasidion annosum* (s.str.) and *H. parviporum* infected stumps in northern Europe. *Silva Fennica*, 37(2), 181-187.
- Hintikka, V. (1974). Notes on the ecology of *Armillariella mellea* in Finland. *Karstenia*, 14, 12–31.
- Holdenrieder, O., Greig, B.J.W. (1998). Biological methods of control. – In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hüttermann, A. (eds.) *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 235–258.
- Holmer, L., & Stenlid, J. (1993). The importance of inoculum size for the competitive ability of wood decomposing fungi. *FEMS Microbiology Ecology*, 12(3), 169–176. [https://doi.org/10.1016/0168-6496\(93\)90012-V](https://doi.org/10.1016/0168-6496(93)90012-V)
- Hunt, R. S., Wilcox, W. W., & Cobb, F. W. (1974). Resistance of stump tops to colonization by *Fomes annosus*. *Canadian Journal of Forest Research*, 4, 140 – 142.
- Huse, K. J. (1981). The distribution of fungi in sound-looking stems of *Picea abies* in Norway. *Forest Pathology*, 11(1-2), 1 – 6.
- Kallio, T. (1970). Aerial distribution of the root-rot fungus *Fomes annosus* (Fr.) Cooke in Finland. *Acta Forestalia Fennica* no. 107, article id 7541. <https://doi.org/10.14214/aff.7541>
- Kallio, T. (1974). Bacteria isolated from injuries to growing spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Forestalia Fennica* no. 137, article id 7571. <https://doi.org/10.14214/aff.7571>
- Kallio, T., & Hallaksela, A. M. (1979). Biological control of *Heterobasidion annosum* (Fr.). Bref. (*Fomes annosus*) in Finland. *European Journal of Forest Pathology*, 9, 298-308.
- Karlsson, B., & Swedjemark, G. (2006). Genotypic variation in natural infection frequency of *Heterobasidion* spp. in a *Picea abies* clone trial in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21(2), 108–114. <https://doi.org/10.1080/02827580500529969>
- Karlsson, B., Tsopelas, P., Zamponi, L., Capretti, P., & Soulioti, N. (2008). Susceptibility to *Heterobasidion parviporum* in *Picea abies* clones grown in different environments. *Forest Pathology*, 38(2), 73–145.
- Karlsson, M., Hietala, A. M., Kvaalen, H., Solheim, H., Olson, Å., Stenlid, J., & Fossdal, C. G. (2008). Quantification of host and pathogen DNA and RNA transcripts in the interaction of Norway spruce with *Heterobasidion parviporum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 70(4–6), 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2007.07.006>
- Kenigšvalde, K., Donis, J., Korhonen, K., & Gaitnieks, T. (2011). *Phlebiopsis gigantea* skujkoku celmu bioloģiskajā aizsardzībā pret *Heterobasidion annosum* s.l. izraisīto sakņu trūpi – literatūras apskats. *Mežzinātne*, 23(56), 25–40.
- Kenigšvalde, K., Brauners, I., Korhonen, K., Zaļuma, A., Mihailova, A., & Gaitnieks, T. (2016). Evaluation of the biological control agent Rotstop in controlling the infection of spruce and pine stumps by *Heterobasidion* in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest*

- Research*, 31(3). <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1085081>
- Kenigsvalde, K., Brauners, I., Zaluma, A., Jansons, J., & Gaitnieks, T. (2017). Biological protection of conifers against *Heterobasidion* infection-interaction between root-rot fungus and *Phlebiopsis gigantea*. *Research for Rural Development*, 1. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.010>
- Koch, R. A., Wilson, A. W., Séné, O., Henkel, T. W., & Aime, M. C. (2017). Resolved phylogeny and biogeography of the root pathogen *Armillaria* and its gasteroid relative, *Guyanagaster*. *BMC Evolutionary Biology*, 17(33).
- Korhonen, K. (1978). Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja*, 94(6), 1–25.
- Korhonen, K., Stenlid, J. (1998). Biology of *Heterobasidion annosum*. – In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hüttermann, A. (eds.) *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 43–70.
- Korhonen, K., Capretti, P., Karjalainen, R., Stenlid, J. (1998). Distribution of *Heterobasidion* intersterility groups in Europe. – In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hüttermann, A. (eds.) *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 93–104.
- Korhonen, K., Liponen, K., Bendz, M., Johansson, M., Ryen, I., Venn, K., Seiskari, P., Niemi, M. (1994). Control of *Heterobasidion annosum* by stump treatment with ‘Rotstop’, a new commercial formulation of *Phlebiopsis gigantea*. – In: Johansson, M., Stenlid, J. (eds.). Root and butt rots: proceedings of the IUFRO Working Party S2.06.01, Wik, Sweden and Haikko, Finland, August 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 675–685.
- Korhonen, K., Piri, T. (2003). How to regenerate Norway spruce on sites infested by *Heterobasidion*? - In: Thomsen, I.M. (ed.). Forest health problems in older forest stands. Proceedings of the Nordic/Baltic Forest Pathology Meeting, Denmark, September 2002. Danish Centre for Forest, Landscape and Planning Reports, 13, 21–29.
- Kraj, W., & Kowalski, T. (2014). Genetic variability of *hymenoscyphus pseudoalbidus* on ash leaf rachises in leaf litter of forest stands in Poland. *Journal of Phytopathology*, 162(4), 218–227. <https://doi.org/10.1111/jph.12173>
- La Porta, N., Capretti, P., Thomsen, I. M., Kasanen, R., Hietala, A. M., & Von Weissenberg, K. (2008). Forest pathogens with higher damage potential due to climate change in Europe. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 30, 177–95.
- Laine, L. (1976). The occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. in woody plants in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 90(3): 1-52.
- Łakomy. (2019). The Virulence of Violence. *More Than a Movie*, 231–239. <https://doi.org/10.4324/9780429503535-16>
- Łakomy P., Werner A., Broda Z., 2005. Pathogenicity of *Heterobasidion annosum* S group clones to Norway spruce seedlings. In: Root and butt rots of forest trees. Proceedings of IUFRO Working Party 7.02.01. 11th International Conference on Root and Butt Rots. Eds M. Mańka, P. Łakomy. 16-22 Aug. 2004, Poznań-Białowieża, Poland, 94-100.
- Łakomy P., Cieślak R., 2008. Early infection of *Fagus sylvatica* by *Heterobasidion annosum* sensu stricto. *For. Path.* 38, 314-319.
- Lilja, A., Rytönen, A., Napola, M. L., Napola, J., Talgø V., Poteri, M. & Hantula, J. (2012). *Neonectria* sp., a new pathogen causing cankers on Norway spruce? *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 4, 285.
- Lygis V., Vasiliauskas, R., & Stenlid, J. (2004). Planting *Betula pendula* on pine sites infested by *Heterobasidion annosum*: Disease Transfer, Silvicultural Evaluation, and Community of Wood-Inhabiting Fungi. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1), 120–130. <https://doi.org/10.1139/x03-202>
- Lygis V. (2005). *Root Rot in North-Temperate Forest Stands: Biology, Management and Communities of Associated Fungi*. Swedish University of Agricultural Sciences.

- Marciszewska, K., Szczepkowski, A., Otręba, A., Okta, L., Kondras, M., Zaniewski, P., Ciurzycki, W., & Wojtan, R. (2018). The dynamics of sprouts generation and colonization by macrofungi of black cherry *Prunus serotina* Ehrh. eliminated mechanically in the Kampinos National Park. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 60(1), 34–51. <https://doi.org/10.2478/ffp-2018-0004>
- Meredith, D. S. (1959). The infection of pine stumps by *Fomes annosus* and other fungi. *Annals of Botany, New Series* 23, 455-476.
- Meredith, D.S. (1960). Further observations on fungi inhabiting pine stumps. *Annals of Botany*, 24(1): 63–78.
- Möykkynen, T., Von Weissenberg, K., & Pappinen, A. (1997). Estimation of dispersal gradients of S- and P-type basidiospores of *Heterobasidion annosum*. *European Journal of Forest Pathology*, 27, 291-300.
- Möykkynen T., Kontiokari J. Spore Deposition of *Heterobasidion annosum* Coll. in *Picea abies* Stands of North Karelia, Eastern Finland. *For. Pathol.* 2001;31:107–114. doi: 10.1046/j.1439-0329.2001.00229.x.
- Morrison, D.J. (1989). Factors affecting infection of precommercial thinning stumps by *Heterobasidion annosum* in coastal British Columbia. – In: Orosina, W.J., Scharpf, R.F. (eds.) Proceedings of the symposium on research and management of annosus root disease (*Heterobasidion annosum*) in western North America. Monterey, CA., April 18–21, 1989. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-116. Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 95-100.
- Morrison, D. J., & Johnson, A. L. S. (1999). Incidence of *Heterobasidion annosum* in precommercial thinning stumps in coastal British Columbia. *European Journal of Forest Pathology*, 29, 1–16
- Morrison, D. J., & Redfern, D. B. (1994). Long term development of *Heterobasidion annosum* in basidiospores-infected Sitka spruce stumps. *Plant Pathology*, 43, 897–906.
- Müller, M. M., Heinonen, J., & Korhonen, K. (2007). Occurrence of *Heterobasidion* basidiocarps on cull pieces of Norway spruce left on cutting areas and in mature spruce stands. *Forest Pathology*, 37(6), 374–386. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2007.00516.x>
- Negi, S., Prasher, I. B., & Kumar, R. (2017). Nutritional characteristics and physiological studies on the growth and development of *Phlebiopsis gigantea*. *Current Botany*, 8, 92–96. <https://doi.org/10.19071/cb.2017.v8.3180>
- Negrutskii, S. F. (1986). Root fungus. [Грибы корней. Ñ. Ô. Êîðèâàâÿ ãóáèà]. 2nd edn. Agropromizdat, Moscow. 196 pp. (in Russian).
- Nicolotti, G., Gonthier, P., & Varese, G. C. (1999). Effectiveness of some biocontrol and chemical treatments against *Heterobasidion annosum* on Norway spruce stumps. *European Journal of Forest Pathology*, 29(5), 339–346. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.1999.00159.x>
- Oliva, J., Bernat, M., & Stenlid, J. (2013). Heartwood stump colonisation by *Heterobasidion parviporum* and *H. annosum* s.s. in Norway spruce (*Picea abies*) stands. *Forest Ecology and Management*, 295, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.005>
- Oliva, J., Messal, M., Wendt, L., & Elfstrand, M. (2017). Quantitative interactions between the biocontrol fungus *Phlebiopsis gigantea*, the forest pathogen *Heterobasidion annosum* and the fungal community inhabiting Norway spruce stumps. *Forest Ecology and Management*, 402(June), 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.046>
- Oliva, J., Thor, M., & Stenlid, J. (2010). Long-term effects of mechanized stump treatment against *Heterobasidion annosum* root rot in *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(6), 1020–1033. <https://doi.org/10.1139/X10-051>
- Orosina W. 1989. Biology, Ecology, and Epidemiology of *Heterobasidion annosum* Proceedings of the symposium on research and management of annosus root disease

- (*Heterobasidion annosum*) in western North America; April 18-21,
- Ottosson, E. (2013). Succession of Wood-inhabiting Fungal Communities: diversity and species interactions during the decomposition of Norway spruce. PhD thesis. SLU.
- Pettersson, M., Frampton, J., Rönnerberg, J., & Talgø, V. (2016). *Neonectria canker* found on spruce and fir in Swedish Christmas tree plantations. *Plant Health Progress*, 17(2), 202-205.
- Pettersson, M., Rönnerberg, J., Vollbrecht, G., & Gemmel, P. (2003). Effect of Thinning and *Phlebiopsis gigantea* Stump Treatment on the Growth of *Heterobasidion parviporum* Inoculated in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18(4), 362–367. <https://doi.org/10.1080/02827580310007845>
- Pettersson, M., Talgø, V., Frampton, J., Karlsson, B., & Rönnerberg, J. (2018). Pathogenicity of *Neonectria fuckeliana* on Norway spruce clones in Sweden and potential management strategies. *Forests*, 9(3), 105, <https://doi.org/10.3390/f9030105>.
- Piri, T., Korhonen, K. (2001). Infection of advance regeneration of Norway spruce by *Heterobasidion parviporum*. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 937-942.
- Piri, T. (1996). The spreading of the S type of *Heterobasidion annosum* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. *European Journal of Forest Pathology*, 26(4), 193–204. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1996.tb00839.x>
- Piri, T. (2003). Silvicultural control of *Heterobasidion* root rot in Norway spruce forests in southern Finland Regeneration and vitality fertilization of infected stands. In *Forest Research*.
- Piri, T., & Hamberg, L. (2015). Persistence and infectivity of *Heterobasidion parviporum* in Norway spruce root residuals following stump harvesting. *Forest Ecology and Management*, 353, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.012>
- Piri, T., & Korhonen, K. (2007). Spatial distribution and persistence of *Heterobasidion parviporum* genets on a Norway spruce site. *Forest Pathology*, 37(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2007.00482.x>
- Piri, T., Korhonen, K., & Sairanen, A. (1990). Occurrence of *Heterobasidion annosum* in pure and mixed spruce stands in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5(1–4), 113–125.
- Piri, T. and Valkonen, S. (2013). Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 43, 872-877. [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2013-0052](https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0052)
- Pratt, J.E., Niemi, M., Sierota Z.H. (2000). Comparison of three products based on *Phlebiopsis gigantea* for the control of *Heterobasidion annosum* in Europe. *Biocontrol Science and Technology*, 10(4), 467–477.
- Redfern, D.B. (1982). Infection of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta* stumps by basidiospores of *Heterobasidion annosum*. *European Journal of Forest Pathology*, 12, 11–25.
- Redfern, D. B., & MacAskill, G. A. (2003). Susceptibility of Sitka spruce and grand fir trees to decay by *Heterobasidion annosum*. *Forest Pathology*, 33, 39–52.
- Redfern, D. B., Pratt, J. E., Gregory, S. C., & MacAskill, G. A. (2001). Natural infection of Sitka spruce thinning stumps in Britain by spores of *Heterobasidion annosum* and long-term survival of the fungus. *Forestry*, 74, 53–72
- Redfern, D.B., Gregory, S.C., Macaskill, G.A. (1997). Inoculum concentration and the colonization of *Picea sitchensis* stumps by *Heterobasidion annosum*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12(1), 41-49.
- Redfern, D.B., Pratt, J.E., Whiteman, A. (1994). Stump treatment against *Heterobasidion annosum*: a re- appraisal. In: Johansson, M., Stenlid, J. (eds.). Root and butt rots: proceedings of the IUFRO Working Party S2.06.01, Wik, Sweden and Haikko, Finland, August 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 656–661.

- Redfern, D.B., Pratt, J.E., Hendry, S.J., Low, J.D. (2010). Development of a policy and strategy for controlling infection by *Heterobasidion annosum* in British forests: a review of supporting research. *Forestry*, 83(2), 207–218
- Redfern, D.B. (1984). Factors affecting spread of *Heterobasidion annosum* in plantations. – In: Kile, G.A. (ed.) Proceedings of the sixth international conference on root and butt rots of forest trees, CSIRO, Melbourne, Australia, 104-114.
- Rieksts-Riekstiņš, R., Zeltiņš, P., Baliuckas, V., Bruna, L., Zaluma, A., & Kapostiņš, R. (2020). *Pinus sylvestris* breeding for resistance against natural infection of the fungus *Heterobasidion annosum*. *Forests*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.3390/f11010023>
- Rishbeth, J. (1959). Dispersal of *Fomes annosus* FR. and *Peniophora gigantea* (Fr.) Masee. *Transactions of the British mycological society*, 42(2), 243-260.
- Rishbeth, J. (1970). The possibility of stump inoculations for conifers other than pines. In A. Hoges, C. S., Rishbeth, J., Yde-Andersen (Ed.), *Proceedings of the third international conference on Fomes annosus* (pp. 110–120). Southern Forest Experiment Station, Forest Service, USDA.
- Rishbeth, J. (1963). Stump protection against *Fomes annosus* III. Inoculation with *Peniophora gigantea*. *Annals of Applied Botany*, 52(1), 63-77.
- Rishbeth J. (1972). Resistance to fungal pathogens of tree roots. *In: Proceedings of the Royal society of London Series V, Biological sciences*, 181: 333-351
- Robert, V., Vu, D., Amor, A. B. H., van de Wiele, N., Brouwer, C., Jabas, B., Szoke, S., Dridi, A., Triki, M., ben Daoud, S., Chouchen, O., Vaas, L., de Cock, A., Stalpers, J. A., Stalpers, D., Verkley, G. J. M., Groenewald, M., dos Santos, F. B., Stegehuis, G., Li, W., Wu, L., Zhang, R., Ma, J., Zhou, M., Gorjón, S. P., Eurwilaichitr, L., Ingsriswang, S., Hansen, K., Schoch, C., Robbertse, B., Irinyi, L., Meyer, W., Cardinali, G., Hawksworth, D. L., Taylor, J. W., & Crous P. W. (2013). MycoBank gearing up for new horizons. *IMA Fungus*, 4(2), 371–379.
- Roll-Hansen, F. & Roll-Hansen, H. (1980). Microorganisms which invade *Picea abies* in seasonal stem wounds. *Forest Pathology*, 10(7), 396-410.
- Roll-Hansen, F., & Roll-Hansen, H. (1979). Microflora of sound-looking wood in *Picea abies* stems. *Forest Pathology*, 9(5), 308–316.
- Roy, G., Lafl Amme, G., Bussièrès, G., & Dessureault, M. (2003). Field tests on biological control of *Heterobasidion annosum* by *Phaeothea dimorphospora* in comparison with *Phlebiopsis gigantea*. *Forest Pathology*, 33, 127-140.
- Rönnerberg, J., Sidorov, E., & Petrylaite, E. (2006). Efficacy of different concentrations of Rotstop® and Rotstop®S and imperfect coverage of Rotstop®S against *Heterobasidion* spp. spore infections on Norway spruce stumps. *Forest Pathology*, 3(6), 422-433.
- Rönnerberg, J., Vollbrecht, G. (1999). Early infection by *Heterobasidion annosum* in *Larix x eurolepis* seedlings planted on infested sites. *European Journal of Forest Pathology*, 29(1), 81–86.
- Rönnerberg, J., Berglund, M., Johansson, U. and Cleary, M. (2013). Incidence of *Heterobasidion* spp. following different thinning regimes in Norway spruce in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 289, 409-415.
- Shaw, C. G., III & Kile, G. A. (1991). Armillaria Root Disease. *United States Department of Agriculture-Forest Service Handbook No. 691*. Washington, DC: United States Department of Agriculture-Forest Service.
- Sieber, T. N. (1989). Endophytic fungi in twigs of healthy and diseased Norway spruce and white fir. *Mycological Research*, 92(3), 322-326.
- Stenlid, J. (1987). Controlling and predicting the spread of *Heterobasidion annosum* from infected stumps and trees of *Picea abies* Controlling and Predicting the Spread of *Heterobasidion annosum* from Infected Stumps and Trees of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2(1–4), 197–198.

- Stenlid, J. (1985). Population structure of *Heterobasidion annosum* as determined by somatic incompatibility, sexual incompatibility, and isoenzyme patterns. *Canadian Journal of Botany*, 63, 2268–2273. <https://doi.org/10.1080/02827588709382457>
- Stenlid, J. (1994). Regional differentiation in *Heterobasidion annosum*. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Root and Butt Rots*, 9–16 August 1993, Sweden and Finland. Edited by M. Johansson and J. Stenlid. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 243–248.
- Stenlid, J., & Redfern, D. B. (1998). Spread within the tree and stand. In S. Woodward, J. Stenlid, R. Karjalainen, & A. Hütermann (Eds.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control* (pp. 125 – 141). Wallingford, UK: CAB International.
- Sun, H., Korhonen, K., Hantula, J., & Kasanen, R. (2009). Variation in properties of *Phlebiopsis gigantea* related to biocontrol against infection by *Heterobasidion* spp. in Norway spruce stumps. *Forest Pathology*, 39(2), 133–144. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2008.00574.x>
- Sun, H., Korhonen, K., Hantula, J., Asiegbu, F.O., & Kasanen, R. (2009). Use of a breeding approach for improving biocontrol efficiency of *Phlebiopsis gigantea* strains against *Heterobasidion* infection of Norway spruce stumps. *Federation of European Microbiological Society, FEMS Microbiology Ecology*, 69(2), 266–273.
- Surette, M. N., Sturz, A. V., Lada, R. & Nowak, J. (2003). Bacterial endophytes in processing carrots (*Daucus carota* L. var. sativus): Their localization, population density, biodiversity and their effects on plant growth. *Plant and Soil*, 253(2), 381–390.
- Swedjemark G., & Karlsson B. (2004). Genotypic variation in susceptibility following artificial *Heterobasidion annosum* inoculation of *Picea abies* clones in a 17 old field test. *Scandinavian Journal of Forest research*, 19(2): 103–111.
- Swedjemark G., & Karlsson B. (2006). Mycelial growth and exclusion of *Heterobasidion parviporum* inoculated in branches of 15-year-old *Picea abies* clones. *Forest Pathology*, 36, 209–214.
- Swedjemark G., Stenlid J., & Karlsson B. (1998). Genetic variation among clones of *Picea abies* in resistance to growth of *Heterobasidion annosum*. *Silvae Genetica*, 46(6): 369–374.
- Swedjemark, G., & Stenlid, J. (1995). Susceptibility of conifer and broadleaf seedlings to Swedish S- and P-strains of *Heterobasidion annosum* under green house conditions. *Plant Pathology*, 44(1), 73–79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02717.x>
- Swedjemark, G., Johannesson, H., & Stenlid, J. (1999). Intraspecific variation in *Heterobasidion annosum* for growth in sapwood of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *European Journal of Forest Pathology*, 29(4), 249–258. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.1999.00149.x>
- Swedjemark, G., Stenlid, J. (1997). Between-tree and between-isolate variation for growth of S-group *Heterobasidion annosum* in sapwood of *Picea abies* cuttings. *Canadian Journal of Forest Research*, 715, 711–715.
- Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A. & Asiegbu, F. O. (2019). Forest tree microbiomes and associated fungal endophytes: Functional role and impact on forest health. *Forests*, 10, 42, 1–33.
- Terhonen, E., Keriö, S., Sun, H. And Asiegbu, F.O. 2014. Endophytic fungi of Norway spruce roots in boreal pristine mire, drained peatland and mineral soil and their inhibitory effect on *Heterobasidion parviporum* in vitro. *Fungal Ecology* 9, 17–26.
- Terhonen, E., Sipari, N. And Asiegbu, F.O. 2016. Inhibition of phytopathogens by fungal root endophytes of Norway spruce. *Biological Control* 99, 53–63.
- Tubby, K. V., Scott, D., & Webber, J. F. (2008). Relationship between stump treatment coverage using the biological control product PG Suspension, and control of *Heterobasidion annosum* on Corsican pine, *Pinus nigra* ssp. *laricio*. *Forest Pathology*, 38(1), 37–46. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2007.00519.x>

- Twery, M.J., Mason, G.N., Wargo, P.M. Gottschalk, K.W. (1990). Abundance and distribution of rhizomorphs of *Armillaria* spp. In defoliated mixed oak stands in western Maryland. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 674–678.
- Vasaitis, R., Burnevica, N., Uotila, A., Dahlberg, A., & Kasanen, R. (2016). Cut picea abies stumps constitute low quality substrate for sustaining biodiversity in fungal communities. *Baltic Forestry*, 22(2), 239–245.
- Vasaitis, R., Stenlid, J., Thomsen, I.M., Barklund, P., Dahlberg, A. (2008). Stump removal to control root rot in forest stands. A literature study. *Silva Fennica*, 42(3), 457–483.
- Vasiliauskas, R., Larsson, E., Larsson, K.H., Stenlid, J. (2005). Persistence and long-term impact of Rotstop biological control agent on mycodiversity in *Picea abies* stumps. *Biological Control*, 32(2), 295–304.
- Vasiliauskas, R., Lygis, V., Larsson, K.H., Stenlid, J. (2005). Airborne fungal colonisation of coarse woody debris in North Temperate *Picea abies* forest: impact of season and local spatial scale. *Mycological Research*, 109(4), 487–496.
- Vasiliauskas, R., Juška, E., Vasiliauskas, A., Stenlid, J. (2002). Community of Aphyllphorales and root rot in stumps of *Picea abies* on clear-felled forest sites in Lithuania. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17, 398–407.
- Vasiliauskas, R., Lygis, V., Thor, M., & Stenlid, J. (2004). Impact of biological (Rotstop) and chemical (urea) treatments on fungal community structure in freshly cut *Picea abies* stumps. *Biological Control*, 31(3), 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.05.006>
- Vollbrecht, G., Hohansson, U., Eriksson, H., & Stenlid, J. (1995). Butt rot development, yield and growth pattern in a tree species experiment in southwestern Sweden. *Forest Ecology and Management* 76, 87–93.
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Hückelhoven, R., Neumann, C., von Wettstein, D., Franken, P. & Kogel, K. H. (2005). The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(38), 13386–91.
- Wang, L.Y., Pålsson, H., Ek, E., Ronnberg, J. (2012). The effect of *Phlebiopsis gigantea* and urea stump treatment against spore infection of *Heterobasidion* spp. on hybrid larch (*Larix × eurolepis*) in southern Sweden. *Forest Pathology*, 42(5), 420–428. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2012.00777.x>
- Wang, L., Zhang, J., Drobyshev, I., Cleary, M., & Rönnerberg, J. (2014). Incidence and impact of root infection by *Heterobasidion* spp., and the justification for preventative silvicultural measures on Scots pine trees: A case study in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 315, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.023>
- Welk, E., de Rigo, D., Caudullo, G. (2016). *Sorbus aria* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (Eds.), *European atlas of forest tree species* (pp. e01–e816). Luxembourg: Publ. Off. EU.
- Woodward, S. (Steven), & Greig, B. J. W. (1998). *Heterobasidion annosum* : biology, ecology, impact, and control. In *Heterobasidion Annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. <https://www.research-collection.ethz.ch:443/handle/20.500.11850/86256>
- Yafetto, L., (2018) The structure of mycelial cords and rhizomorphs of fungi: A mini-review. *Mycosphere*, 9(5), 984–998, Doi 10.5943/mycosphere/9/5/3
- Zaluma, A., Bruna, L., Klavina, D., Burnevica, N., Kenigvalde, K., Lazdins, A., & Gaitnieks, T. (2019). Growth of *Phlebiopsis gigantea* in wood of seven conifer species. *Forest Pathology*, 49(6). <https://doi.org/10.1111/efp.12555>
- Zaluma, A., Gaitnieks, T., Arhipova, N., & Vasaitis, R. (2015). Growth rates of *Heterobasidion*

- annosum* s.s. and *H. parviporum* in functional sapwood of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Forest Pathology*, 45(5), 437–439. <https://doi.org/10.1111/efp.12220>
- Zaluma, A., Sherwood, P., Bruna, L., Skola, U., Gaitnieks, T., & Rönnerberg, J. (2021). Control of *Heterobasidion* in norway spruce stands: The impact of stump cover on efficacy of urea and *Phlebiopsis gigantea* and implications for forest management. *Forests*, 12(6), 1–12. <https://doi.org/10.3390/f12060679>
- Zaluma, A., Muižnieks, I., Gaitnieks, T., Burņeviča, N., Jansons, Ā., Jansons, J., Stenlid, J., & Vasaitis, R. (2019). Infection and spread of root rot caused by *Heterobasidion* spp. in *Pinus contorta* plantations in Northern Europe: three case studies. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(8), 969–977. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0507>
- Zarzyński, P. (2009). Trophic range of *Heterobasidion annosum* (FR.) Bref. and *Phellinus pini* (Brot.) bondartsev & Singer examined in laboratory conditions. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 51(2), 145–153. <https://doi.org/10.5281/zenodo.30888>
- Василяускас, А. (1989). Корневая губка и устойчивость экосистем хвойных лесов. Вильнюс, 175.

PIELIKUMI

1.pielikums. Kalsnava 1 stādījuma shēma; ar dzeltenu atzīmētas parces ar kalnu kokiem, ar sarkanu atzīmētas parces, kurās konstatēta *Heterobasidion* spp. infekcija un ar zilu atzīmētas parces, kur nav konstatēti augoši koki.

V								VI							
43	44	45	48	46	47	42	41	50	28	85	44	73	61	77	36
66	67	68	69	70	71	72	73	55	25	89	41	69	58	79	33
57	59	61	64	65	62	60	58	52	32	93	45	72	62	76	38
82	85	88	91	83	87	89	93	54	27	82	47	68	65	80	42
32	25	31	26	30	27	29	28	53	31	87	42	71	60	81	35
87	79	77	75	80	78	76	74	51	30	91	46	67	57	74	39
33	36	39	40	38	74	37	35	56	26	88	48	70	64	78	37
49	51	53	55	50	52	54	56	49	29	83	43	66	59	75	34
III								IV							
64	61	59	57	58	60	62	65	93	72	65	29	81	39	41	54
93	89	87	83	91	88	85	82	89	70	62	28	79	40	45	50
48	41	47	42	46	43	45	44	87	68	60	30	77	38	47	56
70	71	72	73	66	67	68	69	83	66	58	27	75	36	43	52
78	79	80	81	74	75	76	77	91	73	57	31	80	37	48	49
31	29	27	25	32	30	28	26	88	71	59	26	78	35	46	55
56	55	54	53	52	51	50	49	85	69	61	32	76	33	44	51
40	38	36	34	39	37	35	33	82	67	64	25	74	34	42	53
I								II							
82	83	85	87	88	89	91	93	32	40	48	56	65	73	81	93
74	75	76	77	78	79	80	81	31	39	47	55	64	72	80	91
66	67	68	69	70	71	72	73	30	38	46	54	62	71	79	89
57	58	59	60	61	62	64	65	29	37	45	53	61	70	78	88
49	50	51	52	53	54	55	56	28	36	44	52	60	69	77	87
41	42	43	44	45	46	47	48	27	35	43	51	59	68	76	85
33	34	35	36	37	38	39	40	26	34	42	50	58	67	75	83
25	26	27	28	29	30	31	32	25	33	41	49	57	66	74	82

**2.pielikums. *Heterobasidion* spp. inficēto un kaltušo koku skaits katrā
proveniencē Kalsnava 1 stādījumā**

Ģimenes Nr.	<i>H. annosum</i> inficēti koki	Nokaltušie koki
125		0
126		0
127		0
128		0
129	2	5
130	1	2
131	1	2
132		0
133		0
134		6
135		2
136		5
137		1
138	2	3
139		5
140		3
141		5
142		4
143		3
144		2
145		2
146		1
147		4
148	1	4
149		4
150		1
151		6
152	1	5
153	2	5
154		3
155		2
156		6
157		3
158	1	5
159		3
160		6
161		5
162		5

Ģimenes Nr.	<i>H. annosum</i> inficēti koki	Nokaltušie koki
164		2
165		6
166	1	7
167	1	4
168	1	5
169	1	5
170		1
171		3
172		7
173	2	8
174	1	7
175	2	7
176		5
177	1	5
178		5
179		5
180		2
181		4
182		4
183	1	9
184		–
185		1
186		–
187		3
188		2
189		5
190		–
191		4
192		–
193		2

2.Pielikums. Provenieču atšifrējumi

Izcelsmes vieta	Nr.	Provenience			
Krievija	125	Ангарск-2	Provenience LV	166	Kalsnava
	126	Мелекесс		167	Tērvete
	127	Ангарск-1		168	Andrupene
Ukraina	128	Киев		169	Misa 1
Baltkrievija	129	Борисов		170	Jaunjelgava
Polija	130	Ручтал		171	Krāslava
	131	Pokoj		172	Priedaine
	132	Plaska		173	Silene
	133	Rospuda		174	Smiltene
	134	Rytel		175	Cirgaļi
	135	Supras'l		176	Strenči
	136	Taborz		177	Renda
	137	Tarda		178	Vārme
Vācija	138	Neusterliz	179	Padure	
	139	Dippoldiswalde	180	Zvirgzde	
	140	Hagenow	181	Misa 2	
	141	Konigstein	182	Krievupe	
	142	Rathenow	188	Tukums	
	143	Bad Berka	Plantācijas LV	183	Smiltene
	144	Mirow		185	Oškalni
	145	Oranienburg		187	Tukums
	146	Eibenstock		189	Kuldīga
	147	Neubrandenburg		191	Inčukalns
	148	Lobau		193	Kalsnava
	149	Nedlitz			
	150	Niesky			
	151	Rostock			
	152	Schleitz			
	153	Perleberg			
	154	Neuhaus			
	155	Gransee			
156	Kyritz				
157	Tharandt				
158	Colbitz				
159	Gustrow				
160	Oelsnitz				
161	Potsdam				
162	Peitz				
164	Jena				
165	Kolpin				