

Angreppsdynamik och utbredning av törskate på beståndsnivå

Jonas Öhlund, Mikael Andersson, Freja De Prins & Åke Olson



Mätning av törskateangripna tallar i Blåbergsliden, Västerbotten.

Foto: Jonas Öhlund, Skogforsk

Innehåll

Förord	4
Sammanfattning	5
GPS-positionering av angripna tallar.....	5
Undersökning av grenangrepp.....	5
Cirkelprovyteinventeringen	5
Inledning	6
Syfte och mål	8
Material och metoder	8
Beståndsbeskrivning	8
GPS-positionering av angripna tallar.....	10
Koordinatsättning av friska träd med drönare	10
Undersökning av grenangrepp.....	10
Cirkelprovyteinventering.....	11
DNA-analys av törskateform	15
Resultat och diskussion	15
GPS-positionering av angripna tallar.....	15
Undersökning av grenangrepp.....	16
Grenvitalitet på angripna grenarna	17
Cirkelprovyteinventering.....	20
Närmiljöns påverkan på antalet angrepp	22
Analys för varje separat angrepp på träd	25
Slutsatser.....	27
Referenser	28
Kontaktuppgifter	29



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 9 februari 2025 av
Line Djupström, Bitr. programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef,
granskat och godkänt publikationen för publicering 11 februari 2025.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2025 ISSN 1404-305X

Förord

I denna rapport redovisas resultaten från ingående inventeringar i två hårt törskateangripna tallungskogar i Norr- och Västerbotten. I försöket GPS-positionerades alla angripna tallar och samtliga infektionspunkter på träden märktes upp och registrerades.

Det huvudsakliga fokuset i försöket var att studera den rumsliga fördelningen av angripna tallar i beståndet och mer specifikt undersöka om en aggregering av angripna träd och angrepp förekommer. I närmiljön runt varje angripet träd registrerades olika variabler, till exempel antal l tall-, gran- och lövstammar, förekomst av skogskovall och vegetationstyp i syfte att söka orsakssamband till variation i angreppsfrekvenser på träden. Genom att samtliga angrepp registrerades i försöket kunde även törskatesvampens tidiga angreppsdynamik i beståndet beskrivas. Exempelvis så kunde andelen grenangrepp som lett fram till ett allvarligare stamangrepp beräknas, vart på grenarna infektionerna oftast startar samt vid vilka åldrar tallarna i störst omfattning angripits av törskatesvampen. Resultaten från studien har stor betydelse för att öka förståelsen för den tidiga angreppsdynamiken av törskate i unga tallbestånd, vilket i förlängningen har direkta implikationer på hur den praktiska skötseln på bästa sätt bör utföras för att minska de negativa effekterna av angreppen. Resultaten har även betydelse som ett underlag för beräkningar av de ekonomiska konsekvenserna av törskate i unga skogsbestånd.

Tack till Sveaskog och Holmen skog för upplåtelse av försöksmark till studien. Tack också till Håkan Örneholm för praktisk hjälp med försöken i Jomotusjärvi. Ett särskilt tack riktas också till Skogsstyrelsen som finansierat studien samt till SLU Skogsskadecentrum och SCA för finansiering av DNA-sekvenseringen av törskateform.

Sävar, februari 2025

Jonas Öhlund, Mikael Andersson, Freja De Prins & Åke Olson

Sammanfattning

GPS-positionering av angripna tallar

För att kartlägga törskatens spatiala utbredning inom beståndet mättes koordinaterna för de törskateangripna tallarna in med GPS. De icke törskateangripna tallarna koordinatsattes utifrån ortofoton skapade ur drönbilder. På detta sätt kunde kartor som tar hänsyn till antalet tallar per ytenhet tas fram. Kartorna ger en uppfattning om törskatens fördelning i beståndet.

Kartläggningen visade att de törskateangripna tallarna fördelas tämligen jämnt i beståndet, eventuella mönster i törskatens fördelning kan snarast förklaras av tallarnas oregelbundna fördelning över ytan. Hur man i röjning bäst utnyttjar detta är oklart.

Undersökning av grenangrepp

Ett av de mest intressanta resultaten i undersökningen av grenangrepp återfanns inom gruppen döda angripna grenar. I denna grupp av grenar ledde 85–87 procent av angreppen aldrig fram till någon staminfektion. Vidare fann vi att nästintill alla grenangrepp som lett fram till en staminfektion hade sin utgångspunkt på internod 1 närmast stammen, det vill säga internoden mellan stammen och nod 1. Dessa resultat indikerar att den naturliga kvistrensningen spelar en viktig roll för tallens möjlighet att "göra sig av" med svampinfektionen och att infektionspunkter långt ut på grenarna är relativt ofarliga för tallarna i dessa unga tallbestånd. Viktigt att komma ihåg är att den naturliga kvistrensningen är beroende av flertalet faktorer såsom beståndsålder, stamtäthet, markens bördighet samt på vilken höjd grenen sitter på tallen. Denna studies resultat kan därmed inte direkt extrapoleras till andra bestånd och beståndsåldrar där den naturliga kvistrensningen kan förväntas gå långsammare.

Ett annat intressant resultat var det stora antal grenangrepp som registrerades mellan 9–11 års trädålder i Jomotusjärvi. Därefter följde en period med lägre infektionsnivåer som efterhand upphörde helt. I det yngre beståndet Blåbergsliden var däremot infektionsnivån mellan trädåldrarna mer jämnt fördelad och här återfanns även en högre andel sporulerande grenangrepp. Dessa data indikerar ett i nuläget mer aktivt infektionsförlopp i Blåbergsliden jämfört med Jomotusjärvi.

Cirkelprovyteinventering

Inventeringen av närmiljön runt varje angripen tall påvisade ett samband mellan antalet angrepp/tall och antalet stammar i cirkelprovytan (cpy) för bägge bestånden sammantaget. Resultaten indikerar att antalet angrepp ökar ju mer "öppet" de infekterade tallarna står i beståndet. Gruppering av infekterade tallar med "få" (under 10 stammar/cpy) och "många" (10 eller fler stammar/cpy) påvisade signifikant fler antal angrepp/tall för gruppen infekterade tallar med "få" stammar i sin närhet jämfört med gruppen infekterade tallar med "många" stammar i sin närhet. Det kan bara spekuleras i orsakerna till detta mönster, men faktorer som förbättrad sporspridning då tallarna står mer "öppet" samt en historisk högre förekomst av kovall på mer ljusexponerad mark kan vara möjliga faktorer som spelat in. Mer omfattande försök i fler bestånd behövs emellertid för att säkerställa dessa resultat.

Summary

GPS positioning of infected pines

To map the spatial distribution of the Scots pine blister rust (*Cronartium pini*) within the stand, the coordinates of the infected pines were measured using GPS. The coordinates of uninfected pines were set based on orthophotos created from drone images. In this way, maps could be created that consider the number of pines per unit area.

The maps give an idea of the distribution of the pine blister rust in the stand. Trees infected with pine blister rust are distributed evenly in the stand, and any patterns in the distribution of the infected trees can most likely be explained by the irregular distribution of the pines over the area.

It is unclear how this can best be exploited in pre-commercial thinning.

Analysis of branch infections

One of the most interesting results in the analysis of branch infections was found for the dead infected branches. In this group of branches, 85-87 percent of the infections never led to any stem infection. We found that almost all branch infections that led to a stem infection had their starting point at internode 1, that is, the internode closest to the stem. These results indicate that the natural death of the branches plays an important role in the pine's ability to fight the infection, and that infection points far out on the branches were relatively harmless to the pines in these young stands. It is important to remember that the natural death of branches is dependent on several factors, such as stand age, tree density, soil fertility, and the height at which the branch is located on the pine. Therefore, the results of this study cannot be directly extrapolated to other stands and stand ages where the natural branch death can be slower.

Another interesting result was the high numbers of branch infections recorded when the trees were aged 9-11 years in Jomotusjärvi and the low number of infections for other ages. In the younger stand in Blåbergsliden, the infection level was more evenly distributed among the tree ages, and a higher proportion of sporulating branch infections was also found here. These data indicate a currently more active infection course in Blåbergsliden compared to Jomotusjärvi.

The circular sample plot

The inventory of the immediate environment around each infected pine tree showed a relationship between the number of infections/pine tree and the number of other trees in the circle sample plot (csp) for both stands. The results indicate that the number of infections increases with decreasing number of other trees in the circular sample plot. Grouping infected pine trees into "few" (less than 10 trunks/csp) and "many" (10 or more trunks/csp) showed significantly more infections/pine tree for the group of infected pine trees with "few" trees in their vicinity compared to the group of infected pine trees with "many" trees in their vicinity. The reasons for this pattern can only be speculated, but factors such as improved spore dispersal when the pine trees are in a more open space and a historically higher incidence of small cow-wheat (*Melampyrum sylvaticum*) on more light-exposed ground may be possible factors that have played a role. However, more extensive trials in more stands are needed to confirm these results.

Inledning

Törskate (*Cronartium pini*) är en rostsvamp som förekommer i hela Sverige, stora delar av Europa och delar av norra och östra Asien (Samils & Stenlid 2022). Den förekommer i två former: en som sprids direkt från tall till tall med klonal förökning och en som förökar sig sexuellt och är värdväxlande (Hantula m.fl. 2002). Den värdväxlande formen behöver en mellanvärd för att fullborda sin livscykel, där en lång rad arter har identifierats som alternativvärdar. Kovallsläktet (*Melampyrum spp.*) anses som den mest betydelsefulla för svensk skogsmark (Kaitera & Hantula 1998, Kaitera 1999, Kaitera m.fl. 2005).

Båda formerna av törskate infekterar tallarna främst via klyvöppningarna på årsbarr, som antingen sitter på en gren eller direkt på stammen. Svampen växer sedan in i grenarna eller stammens innerbark. Om svampen växer sig runt hela grenen eller stammen kan den strypa transporten av vatten och näring (Samils & Stenlid 2022). Om detta sker, dör den delen av grenen eller stammen som är ovanför angreppet. Hela trädet kan också dö om exempelvis infektionen sitter långt ned på stammen.

Törskateangrepp är lättast att känna igen på de orangea sporblåsorna som visar sig under juni–juli, samt den svullnad och kådbildning som uppstår vid angreppet då trädet försvarar sig. Kampen mellan trädet och svampen kan pågå i flera decennier och det är oklart i vilken utsträckning trädet eller svampen vinner denna kamp. Troligtvis har faktorer som angreppets position på trädet, trädets inneboende motståndskraft samt trädets ålder vid infektionstillfället betydelse för utgången av denna kamp.

Törskate har tidigare mest gjort sig känd för att angripa äldre tallar och där orsaka de karakteristiska döda talltopparna, så kallade "tjärgaddar" eller "torrtoppar". De döda topparna bildas efter en långt gången infektion (ofta 10–50 år) där svampen sakta vuxit sig runt hela stammen så att ledningsbanorna på trädets topp stryps av och delen ovanför angreppet dör.

Törskate är emellertid en av få skadegörare som kan angripa tallar av alla åldrar och idag vet vi att angreppen ofta börjar redan i ungskogsstadiet. Tidiga angrepp i ungskog är dessvärre ofta svåra att upptäcka på grund av att symtomen av angreppen inte hunnit bli så tydliga och oftast är avgränsade till någon enstaka gren. Det var först på 2000-talet som omfattande angrepp av törskate i unga tallbestånd började uppmärksammas på allvar framför allt i östra Norrbotten. Törskateangripna unga och medelålders bestånd har sedan dess också uppmärksamats i Västerbotten och ändå ner till Jämtland. Vid en inventering utförd av NRS (Nationell Riktad Skogsskadeinventering) 2013, återfanns angrepp av törskate i 67 procent av tallungskogen i Norrbotten, motsvarande 71 500 ha (Wulff & Hansson 2013).

För att öka kunskapen kring törskatens tidiga angreppsdynamik och rumsliga fördelning i unga tallbestånd startade Skogforsk, på uppdrag av Skogsstyrelsen, en riktad studie inom två hårt angripna röjningsbestånd i Norr- och Västerbotten. De inventerade bestånden ingår som en del i de sedan tidigare etablerade försöken inom projekt "Demoförsök törskate" där sjukdomsutvecklingen efter olika skötselåtgärder ska följas under en 10-årsperiod (Öhlund m.fl. 2023).

I delar av de oröjda referensblocken i ovan nämnda försök GPS-sättes varje angripna tall och via drönarfotografering koordinatsattes de friska tallarna samt övriga träd i beståndet. För de angripna tallarna markerades varje enskilt angrepp upp och den närliggande miljön runt den angripna tallen beskrevs i en separat framtagna survey. För grenangreppen hos vitala till lindrigt nedsatta tallar tidsbestämdes även infektionsåret,

vilket möjliggjorde beräkningar av trädens ålder då infektionen uppstod. Genom dessa detaljerade inventeringar kunde nedanstående frågeställningar belysas:

- Hur ser den rumsliga fördelningen av angripna tallar ut? Förekommer aggregering av angripna tallar och angrepp i beståndet?
- Finns samvariation mellan höga angreppsfrekvenser och olika bestandsvariabler i närmiljön runt de angripna tallarna?
- Hur stor andel av grenangreppen hinner självdö genom den naturliga kvistrensningen innan svampen hunnit nå in till stammen?
- Är infektionsförloppet linjärt eller uppkommer flest greninfektioner vid vissa trädåldrar i bestånden?
- Vilka former av törskate finns i bestånden? Om bägge formerna förekommer skiljer sig i så fall angreppsdynamiken mellan de två formerna?

Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet var att undersöka om en aggregering av törskateangripna tallar förekommer i unga tallbestånd. Om en aggregering förekommer kan det få en stor påverkan på skogsskötseln och sättet bestånden bör röjas. Ett annat syfte var att belysa angreppsdynamiken och bland annat undersöka hur många grenangrepp som lett fram till allvarligare angrepp på träden (stamangrepp). Detta utfördes genom detaljinventering och uppmärkning av samtliga angrepp samt för grenangreppen också en beräkning av antalet år som förlöpt sedan infektionstillfället genom att räkna grenvarv från toppen av trädet ner till angreppet på grenen (angripen internod). Dessa inventeringar gav oss också möjlighet att räkna fram infektionsålder på träden för varje enskilt grenangrepp. Genom att för varje angripet träd inventera "närmiljön" runt trädet kunde betydelsen av stamtäthet, kovallförekomst, vegetationstyp etc. också undersökas. I förlängningen var målet med projektet att ta fram förbättrade beslutsunderlag för skötseln av unga törskateangripna tallbestånd genom att öka förståelsen för törskatens angreppsdynamik och rumsliga utbredning i bestånden.

Material och metoder

Bestandsbeskrivning

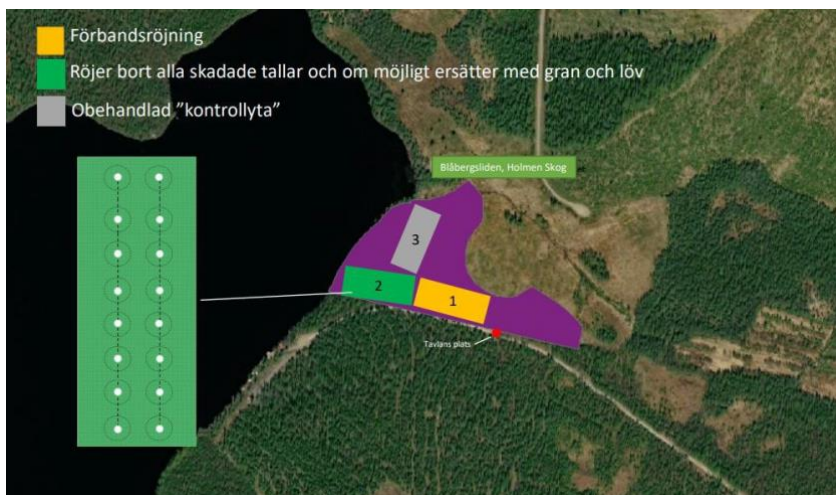
I projektet utnyttjades två av de åtta ungskogsbestånden av tall som ingår i projektet Demoförsök törskate (Öhlund m.fl. 2023), ett på Holmen skogs markinnehav i Västerbotten och ett på Sveaskogs markinnehav i Norrbotten (Figur 1). Dessa två bestånd valdes ut dels för deras höga angreppsfrekvenser, dels för deras jämna åldersstruktur (låg andel självföryngrad tall). De höga angreppsfrekvenserna var en förutsättning för att kunna utföra en meningsfull analys av den rumsliga fördelningen av angripna tallar i bestånden, vilket också var den huvudsakliga frågeställningen i projektet. Den jämna åldersstrukturen av tall gav ett säkrare antagande om att de inventerade tallarna också

härörde från de träd som planterats vid föryngringen och inte var självföryngrade vilket var viktigt för att säkrare kunna beräkna åldern på träden vid infektionstillfället. Beståndet Blåbergsliden i Västerbotten planterades 2009 (15 år) medan beståndet Jomotusjärvi i Tornedalen planterades 2000 (24 år). I Tabell 1 framgår samansättningen av huvudstammar av tall, gran och löv i bestånden samt beståndens storlek och läge.

Tabell 1. Övergripande beståndsuppgifter för de två försökslokalerna.

Försökslokal	Koordinater (lat;long)	Planterings-år	Storlek (ha)	Stamtäthet / ha			Län	Markägare
				Tall	Gran	Löv		
Blåbergsliden	64,64770; 20,26130	2009	4,5	1625	83	1289	AC	Holmen
Jomotusjärvi	64,94702; 19,49950	2000	8,0	1008	9	800	BD	Sveaskog

A. Blåbergsliden, Holmen Skog



B. Jomotusjärvi, Sveaskog



Figur 1. Översiktliga kartor över de två bestånden A. Blåbergsliden och B. Jomotusjärvi som ingick i studien.

GPS-positionering av angripna tallar

För positionering av angripna tallar användes RTK-gps, Topcon GRS-1. Positioneringen utfördes så att GPS-antennen placerades så nära den angripna tallens stam som möjligt för att positionen skulle bli entydig i förhållande till omgivande tallar. En koordinat i planet med noggrannheten ~15 mm togs för varje tall och koordinerades med övriga undersökningars beteckningar. Noggrannheten i höjd var ~20 mm.

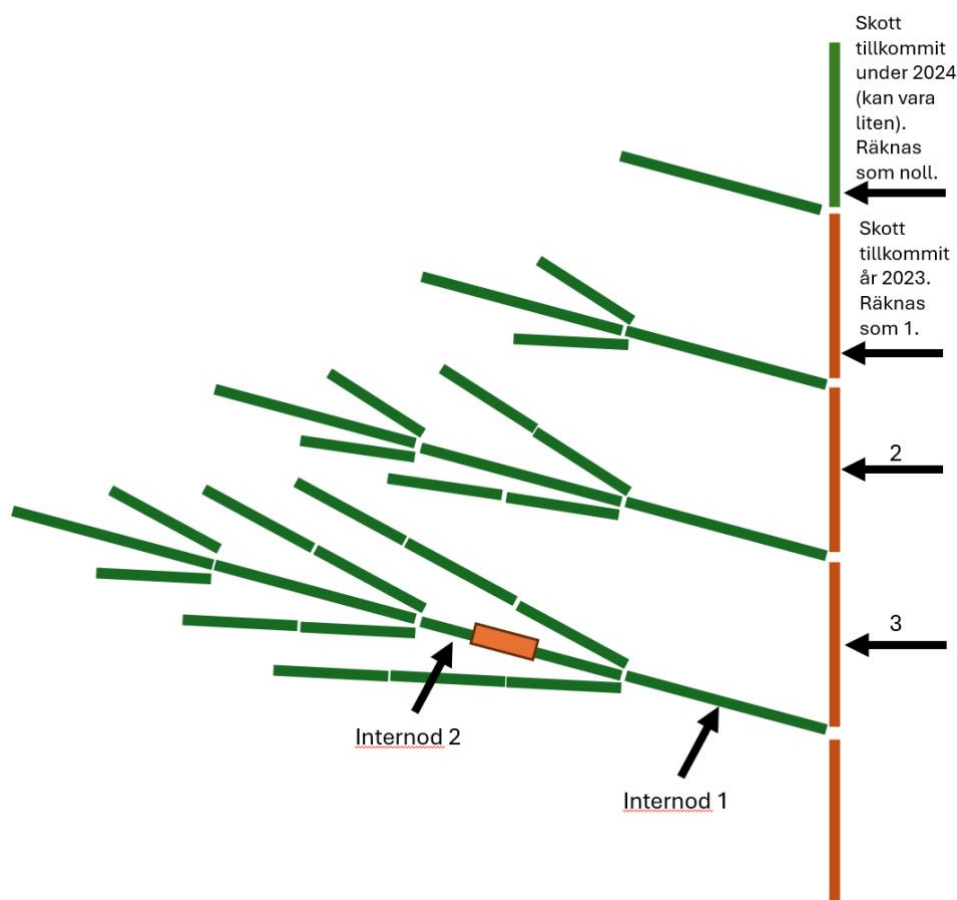
Koordinatsättning av friska träd med drönare

För att kunna koordinatsätta samtliga tallar i försöket så karterades försöket med hjälp av drönare. Ur drönarens bildbank skapades sedan ett ortofoto över försöket. Eftersom samtliga törskateangripna tallar var GPS-positionerade så var samtliga tallar utan GPS-punkt i ortofotot friska i GIS:et. På så sätt erhålls två positionerade grupper med tallar, friska och törskateangripna. Med dessa indata kan sedan ytdensitetskarter över törskatens fördelning i försöket tas fram, det vill säga kartor som tar hänsyn till hur många tallar som finns över specifik yta. Dessa data kan även kombineras med data från de utförda fältinventeringarna för att studera andra parametrars inverkan på törskatens lokala utbredning.

Undersökning av grenangrepp

I syfte att kunna bestämma åldern på träden vid infektionstillfället genom att räkna grenvarv från toppen av trädet ner till angreppet togs en separat undersökning fram i vilket enbart träd med ett eller flera grenangrepp ingick. Vidare sorterades döda och svårt nedsatta träd där det var omöjligt att räkna grenvarv bort. I urvalet återstod då 220 grenangrepp i Blåbergsliden och 59 grenangrepp i Jomotusjärvi.

För varje enskilt grenangrepp noterades grenens vitalitet i fem klasser: 1) helt levande 2) delvis död 3) döende 4) död - svampen ej nått stammen och 5) död - svampen nått stammen. På detta vis kunde vi sedan beräkna andelen av de döda angripna grenarna där svampen lyckats växa sig in till stammen. Vidare räknades grenvarv från toppen på tallen (årets toppskott exkluderat) samt vilken internod som grenangreppet satt på. Med dessa indata plus vetskapen om beståndsålder (planteringsår) i Blåbergsliden och Jomotusjärvi kunde vi sedan beräkna tallens ålder vid varje infektionstillfälle (Figur 2).



Figur 2. Illustration över hur beräkningen av tallens ålder vid infektionstillfället utfördes för grenangreppen i Blåbergsliden och Jomotusjärvi (Illustratör: Freja De Prins).

Cirkelprovyteinventering

I bägge bestånden utnyttjades delar av de oröjda referensblocken i inventeringarna och GPS-sättningen (de grå blocken i Figur 1). För att lättare kunna inventera systematiskt markerades 10 meter breda sektioner upp längst med kortsidan på referensblocken med hjälp av linor. Inom dessa sektioner markerades sedan samtliga angripna tallar samt varje enskilt angrepp med kodade etiketter (Figur 3). Totalt ingick 85 angripna tallar i Blåbergsliden och 69 i Jomotusjärvi. För att försäkra oss om att alla tallar nogga inventerats så märktes friska tallar med grön färg. Eftersom både antalet angripna tallar och antalet angrepp per tall var betydligt fler än beräknat tog uppmärksningen och de efterföljande inventeringarna mycket tid i anspråk och totalt kunde enbart fyra sektioner på varje bestånd markeras upp vilket gav en total inventerad yta på 40 x 50 m per bestånd (Figur 3, Figur 4, Figur 5 och Figur 6).

Först mättes höjd, diameter och vitalitet på de angripna tallarna varefter variabler för cirkelprovytorna började samlas in. Cirkelprovytans centrum utgjordes av den angripna tallen och längden på mätsnöret korrigerades beroende på tallens diameter så att längden alltid utgjorde 1,78 m utgående från tallstammens mittpunkt. Cirkelprovytevariabler som samlades in var stamantal av tall, gran och löv (separerade i levande och döda), jordart, fuktighetsklass, vegetationstyp samt kovallfrekvens. För stamantalen räknades samtliga stammar över 3 dm längd i inventeringen. Efter att dessa cirkelprovytevariabler samlats

in inventerades varje enskilt angrepp var för sig där typ av angrepp (gren- eller stamangrepp), sporulering eller ej samt angreppshöjd noterades.



Figur 3. Exempel på hur uppmärkningen av en angripen tall och dess individuella angrepp kan se ut. Här en tall med totalt sju grenangrepp (gula etiketter). Blåbergsliden, Västerbotten.



Figur 4. Exempel på hur taggningen av en angripen tall och dess individuella angrepp kan se ut. Notera de äldre angreppen på nu döda grenar i nedre delen av grenverket. Jomotusjärvi, Norrbotten.



Figur 5. Exempel på taggningen av individuella angrepp. Notera de sporulerande angreppen på levande grenar i nedre delen av grenverket. Blåbergsliden, Västerbotten.



Figur 6. Dubbla sporulerande grenangrepp på tall i Blåbergsliden innan uppmärkning. Notera den rikliga kådbildningen vid det nedre angreppet – en del i tallens försvar.

DNA-analys av törskateform

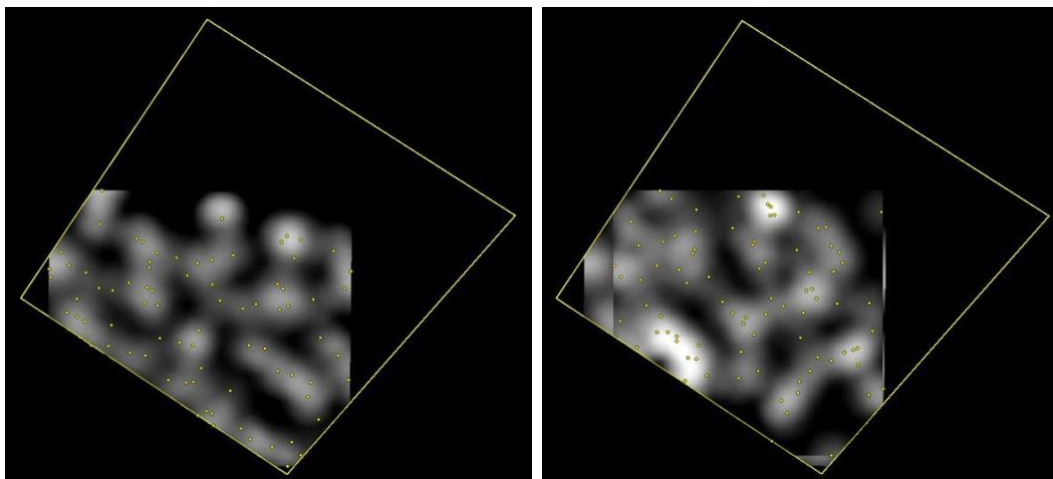
För att ta reda på om ett sår har orsakats av den värdväxlande eller den icke-värdväxlande formen av törskatesvampen samlades prover på svampens aeciosporer. Sporerne DNA-extraherades och användes för digital PCR. Tekniken bygger på törskatesvampens olika parningsgener. Törskatens aeciosporer är dikaryota (tvåkärniga). I den icke-värdväxlande formen bör båda cellkärnor innehålla samma parningsgener. För den värdväxlande formen ska båda cellkärnor i stället innehålla olika, men kompatibla parningsgener. Digital PCR används för att mäta mängden av parningsgenerna i DNA-proverna för att på så sätt bestämma vilken törskateform det rör sig om (Zhang m.fl. Inte publicerad).

Resultat och diskussion

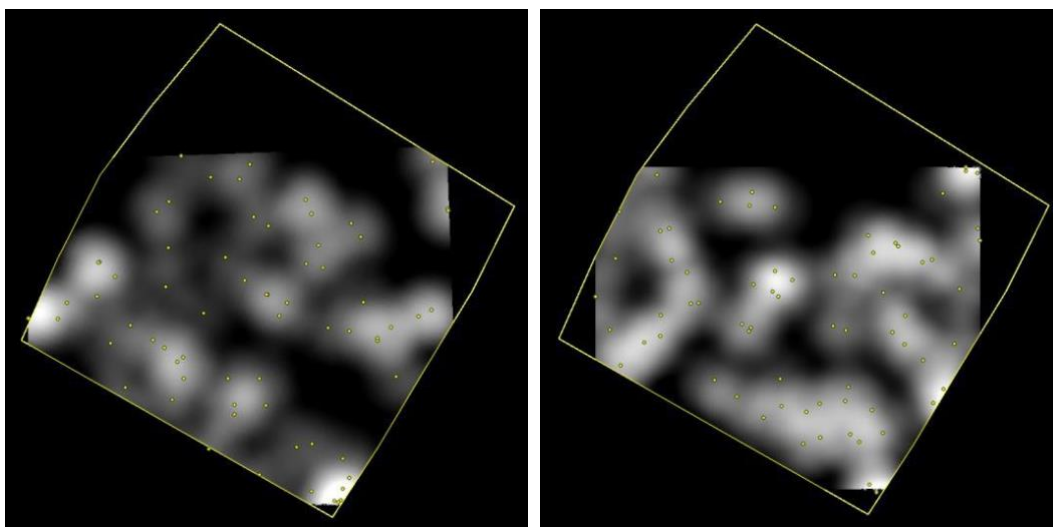
GPS-positionering av angripna tallar

I den vänstra bilden i figur 7 och 8 visas den mätta fördelningen av törskate som en karta över beräknad ytdensitet med hänsyn tagen till alla tallars fördelning över ytan. I Figur 7, Blåbergsliden, var 85 tallar angripna av törskate av totalt 490. I Jomotusjärvi (Figur 8) var motsvarande siffror 69 respektive 268. Som jämförelse har törskateangripna slumpats ut med samma antal tallar som i verkligheten i både Blåbergsliden och Jomotusjärvi. Fördelningen av törskate över alla tallar på ytorna visar på en jämn och närmast slumpmässig fördelning (Figur 7 och 8 till höger).

Ytdensitetsberäkningen i figurerna är känslig, så att skillnaden i ytdensitet mellan vitt och svart är liten. Slutsatsen blir därför att det inte finns något tydligt mönster i törskatefördelningen som skulle kunna användas som stöd för hur exempelvis en röjning bör utföras i ett angripet bestånd.



Figur 7. Till höger visas den uppmätta törskateförekomsten i Blåbergsliden. Till vänster visas samma förekomst utslumpad. Bilderna ovan visar i det närmaste samma grad av slupmässighet.



Figur 8. Till höger visas den uppmätta Törskateförekomsten i Jomotusjärvi. Till vänster visas samma förekomst utslumpad. Bilderna ovan visar i det närmaste samma grad av slupmässighet.

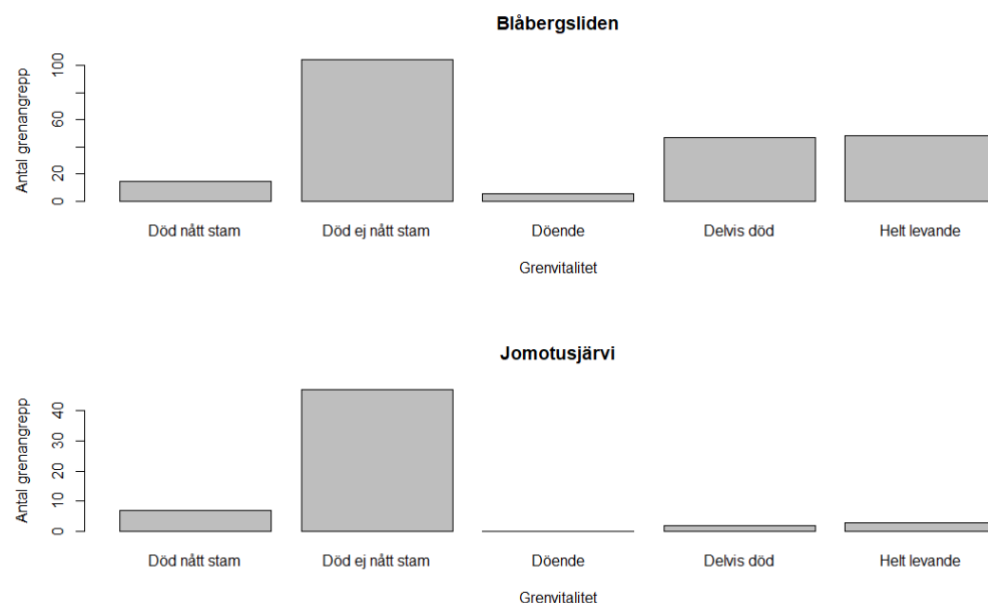
Undersökning av grenangrepp

I både Blåbergsliden och Jomotusjärvi dominerade grenangreppen över stamangreppen. Tydligast var detta i Blåbergsliden där 82 procent av angreppen utgjordes av grenangrepp medan motsvarande siffror för Jomotusjärvi var 61 procent.

Grenvitalitet på angripna grenarna

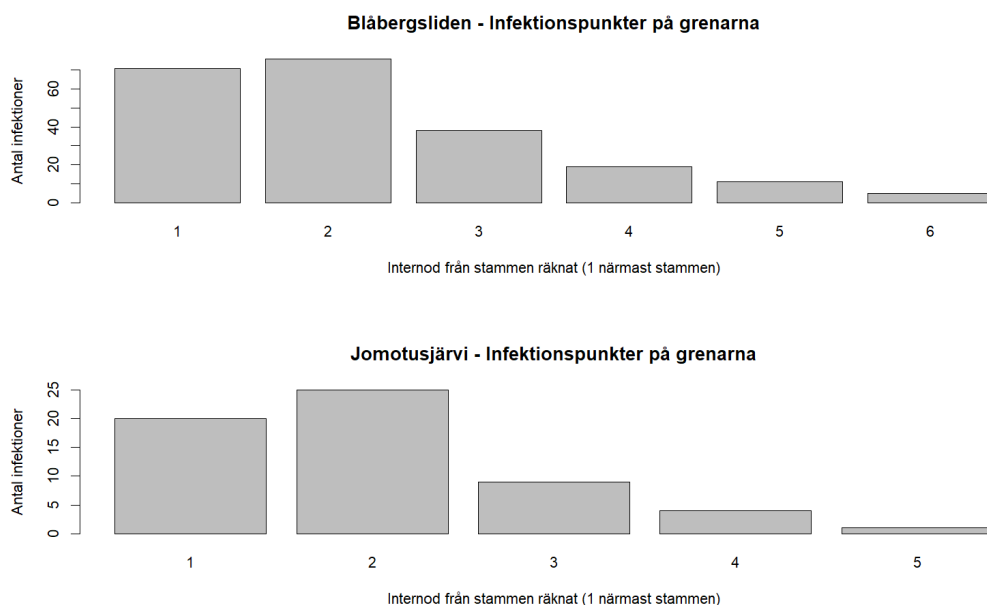
Ett intressant resultat som tydligt observerades både i Blåbergsliden och Jomotusjärvi var den höga andelen döda angripna grenar där svampen inte nått fram till stammen innan grenen hunnit dö. För samtliga döda grenar utgjorde denna andel 85 procent i Blåbergsliden och 87 procent i Jomotusjärvi (Figur 9). Dessa data visar att merparten av dessa greninfektioner aldrig ledde fram till en för trädet allvarlig staminfektion. tidigare också observerats i kontrollerade förädlingsförsök (Persson 2022). Den naturliga (eller av angreppet inducerade) kvistrensningen verkar således spela en viktig roll för tallens möjlighet att "göra sig av" med svampinfektionen. Viktigt att komma ihåg är att den naturliga kvistrensningen är beroende av flertalet faktorer såsom beståndsålder, stamtäthet, markens bördighet, grenens position på trädet etc. och att både Blåbergsliden och Jomotusjärvi är relativt unga bestånd där hastigheten för den naturliga kvistrensningen kan misstänkas gå fortare än i äldre bestånd. Därmed kan man inte direkt extrapolera dessa resultat till andra bestånd och beståndsåldrar. I urvalet av tallar i studien ingick inte heller döda angripna tallar med grenangrepp, eller angripna tallar med enbart stamangrepp (då det inte gick att räkna grenvarv och bestämma angreppsåldern på dessa tallar) vilket kan ha påverkat resultatet.

Vidare fann vi att andelen helt levande eller delvis döda grenar med angrepp var mycket låg i Jomotusjärvi vilket tyder på ett för närvarande avstannande infektionsförlopp i detta bestånd (Figur 9). Detta antagande styrks även av att enbart 10 procent av samtliga angrepp (både gren- och stamangrepp) sporulerade i Jomotusjärvi. I Blåbergsliden däremot var andelen levande och delvis döda grenar betydligt högre, vilket i stället tyder på ett för närvarande mer aktivt infektionsförlopp. I Blåbergsliden var också andelen sporulerande angrepp högre och utgjorde 31 procent av samtliga angrepp i beståndet.

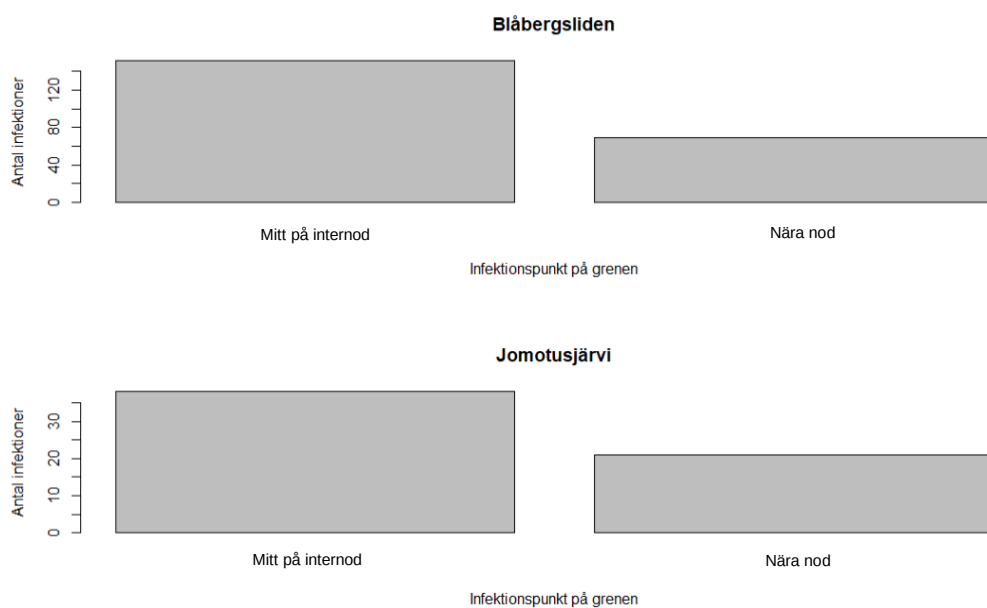


Figur 9. Fördelning av grenangrepp inom de olika grenvitalitetsklasserna. För bägge försökslokalerna, notera de höga andelarna grenangrepp bland döda grenar där svampen inte nått stammen och övergått till en staminfektion. I Jomotusjärvi var andelen levande grenar med grenangrepp också mycket låg, vilket indikerar ett avstannande infektionsförlopp.

En närmare analys av infektionspunkternas positionering på grenarna visade på en överrepresentation av infektioner på internod 1 och 2 (närmast och näst närmast stammen) i både Blåbergsliden och Jomotusjärvi (Figur 10). Vidare fann vi att flest infektioner startat mitt på internoderna i bägge studerade bestånden (Figur 11).

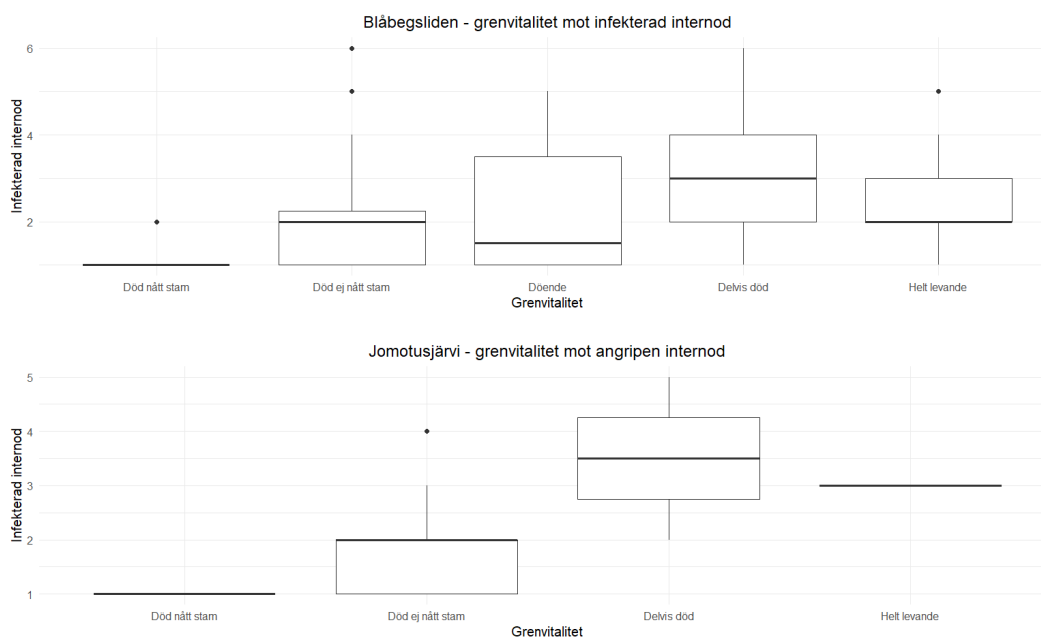


Figur 10. Infektionspunkter på olika internoder där internod 1 är närmast stammen. I bägge försökslokalerna dominerar infektioner på internod 1 och 2.



Figur 11. Fördelning av infektionspunkter mellan mitt på internod och nära nod. I bägge försökslokalerna var infektioner mitt på internod vanligast.

Genom att plotta grenvitalitetsklasserna mot angripen internod på grenarna kunde ett intressant samband noteras (Figur 12). För klassen döda grenar som där törskaten lyckats växa sig in till stammen "död nått stam" återfanns enbart angrepp på internod 1, internoden närmast stammen i Jomotusjärvi och enbart på internod 1 och 2 i Blåbergsliden. Dessa resultat indikerar att utsikterna för svampen att lyckas växa sig in till stammen minskar drastiskt om infektionen sitter längre ut på grenen än internod 1. Om dessa resultat stämmer och kan verifieras i ytterligare försök har det en stor betydelse för hur vi bör bedöma olika former av grenainfektioner av törskate i tallungskogar. Sådana data bör också kunna vara värdefulla i eventuella modelleringar av törskateinfektioners effekter i unga tallbestånd.



Figur 12. Grenvitalitetsklasser som funktion av infekterad internod. Som framgår av figuren var det i princip endast infektioner på internod 1 (närmast stammen) som lett fram till en staminfektion.

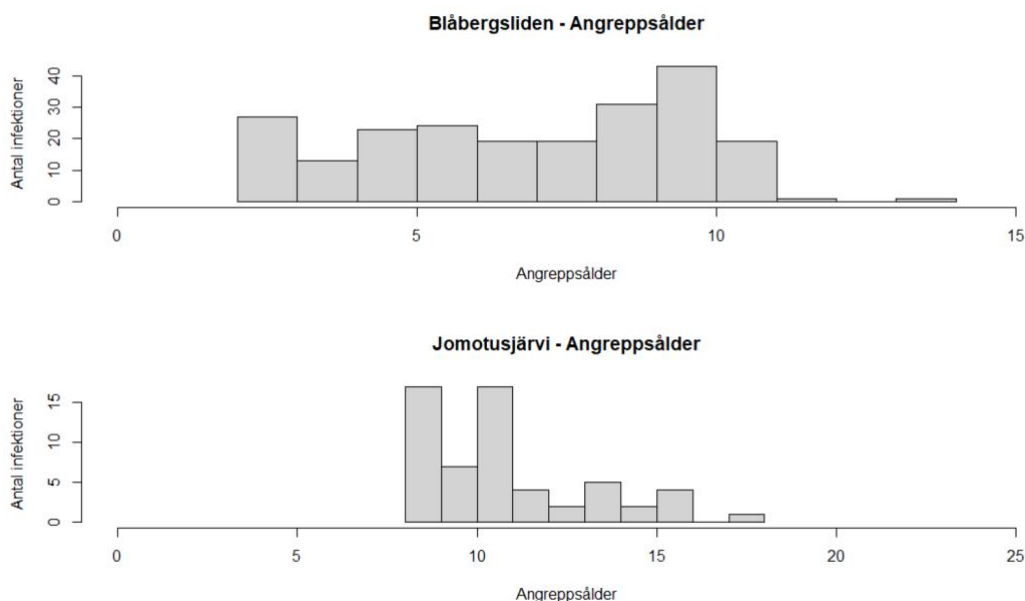
Trädåldern för varje grenangrepp beräknades genom att först räkna grenvarv från toppen av tallen (årets toppskott exkluderat) ner till den angripna grenen och därefter räkna antalet internoder fram till angreppet på grenen.

Ett exempel: den angripna grenen satt 10 grenvarv från toppen av tallen och angreppet satt på andra internoden från stammen räknat (internod 2). Detta ger angreppsår: $2024 - 10 - (2 - 1) = 2015$. Om sedan plantan planterades 2009 ger det trädets ålder då det infekterades (angreppsåldern) $2015 - (2009 - 1) = 7$ år (där 1 är plantans ålder vid plantering).

Dessa beräkningar utgår från att enbart årsskott på tallar angrips av törskate och att samtliga tallar som ingick i studien också var planterade och inga var självföryngrade. Detta kan självfallet inte garanteras, men eftersom både Blåbergsliden och Jomotusjärvi var mycket likåldriga kan vi anta att merparten av de inventerade tallarna i undersökningen också var planterade och inte självföryngrade. I Blåbergsliden började greninfektioner på träden uppkomma redan vid 3 års ålder för att sedan fortsätta i ganska jämn omfattning uppåt i trädåldrarna fram till 11 års trädålder varefter antalet infektioner minskade brant (Figur 13). Eftersom det enbart gått 15 år sedan plantering i

Blåbergsliden (trädålder 16 år) och det tar några år innan symtomen från en infektion går att detektera var denna minskning uppåt i trädåldrarna ganska förväntad. I Jomotusjärvi dröjde det ända fram till 9 års trädålder innan några greninfektioner kunde detekteras (Figur 13). Detta kan eventuellt förklaras av att de nedersta grenvarven på träden i detta 25-åriga bestånd börjat falla av och att de tidigaste angreppen därför är omöjliga att detektera och därför saknas i analysen. I Jomotusjärvi återfanns i stället högre frekvenser av greninfektioner mellan 9 och 11 års trädåldrar för att sedan minska kraftigt. Greninfektioner uppkom därefter i mindre omfattning upp till 18 års trädålder för att sedan upphöra helt. Dessa resultat indikerar således ett "fönster" med höga infektionsnivåer mellan 9–11 års trädålder följt av en period med lägre infektionsnivåer som därefter upphört helt.

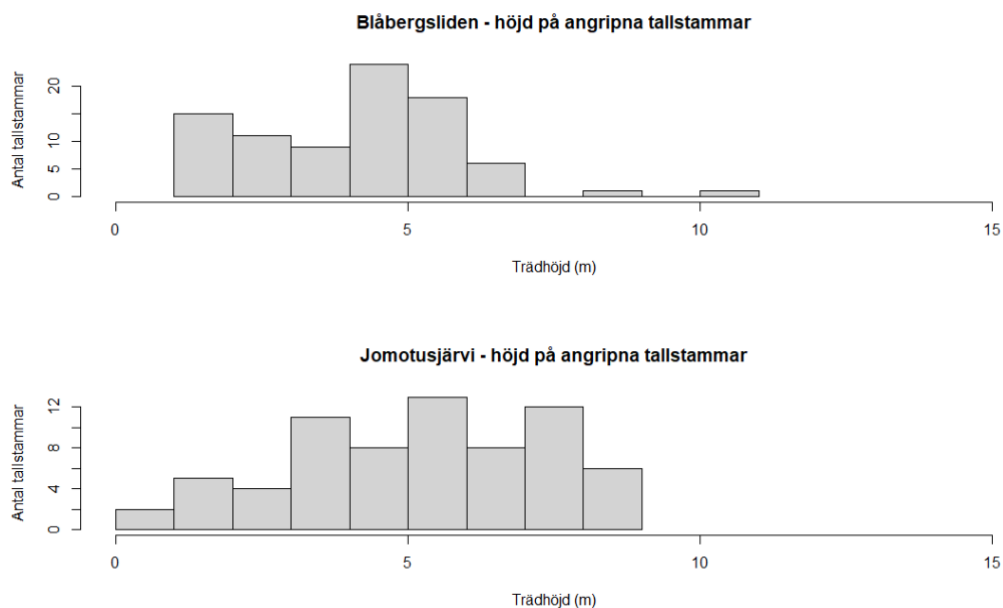
Resultaten från denna studie kan inte förklara de observerade skillnaderna i angreppsålder mellan Blåbergsliden och Jomotusjärvi. Det kan dock spekuleras i att skillnader i beståndsålder eller så kan ståndortens beskaffenheter kan spela in och eventuellt kommer angreppsfrekvenserna att minska uppåt i trädåldrarna även i Blåbergsliden efter 25 år? En viktig fastställd skillnad mellan bestånden är dock att bägge formerna av törskate finns i Blåbergsliden medan enbart den värdväxlande formen finns i Jomotusjärvi.



Figur 13. Angreppsålder för tallar med grenangrepp i Blåbergsliden och Jomotusjärvi. Trädåldern vid infektionen beräknades genom att först räkna grenvarv från toppen av tallen och sedan följa antalet internoder ut på grenen fram till infekterad internod och sedan utgå från planteringsåret.

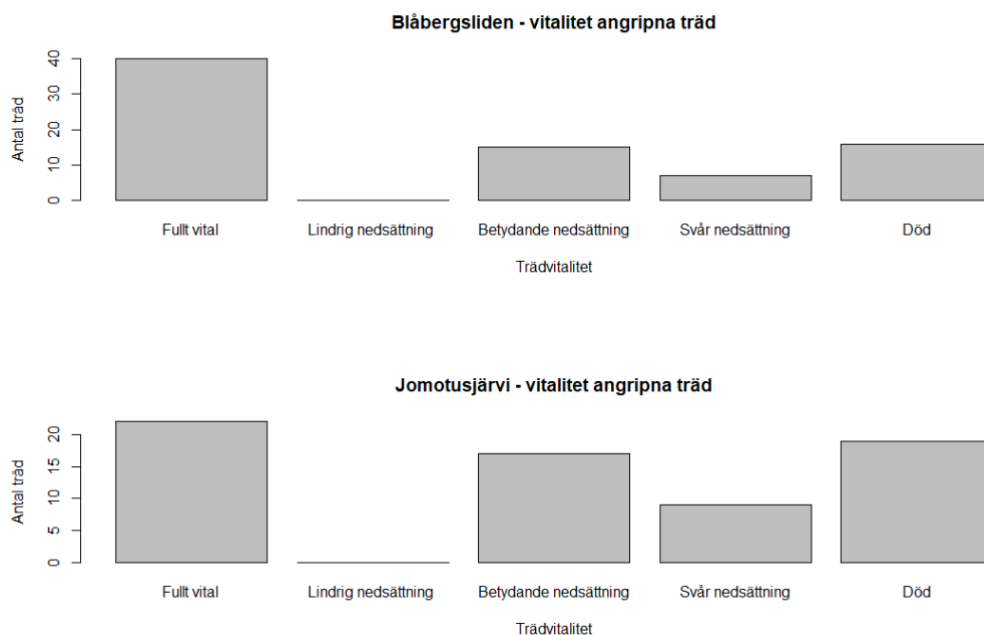
Cirkelprovyteinventering

För varje angripen tall i Blåbergsliden och Jomotusjärvi mättes närmiljön runt tallen in genom cirkelprovyteinventering. Med den angripna tallen som cirkelprovytecentrum inventerades, jordart, jordtextur, fuktighetsklass, vegetationstyp och kovallförekomst samt stamtäthet av tall, gran och löv (se material och metoder). Analyser genomfördes sedan för att undersöka hur dessa variabler påverkade förekomster av angrepp (antalet infektionspunkter) på tallarna.



Figur 14. Histogram över höjden på de angripna tallarna i Blåbergsliden och Jomotusjärvi.

Höjden på de inventerade angripna tallarna i Blåbergsliden och Jomotusjärvi varierade från någon meter upp till dryga 10 m med något högre tallar i det äldre beståndet i Jomotusjärvi (Figur 14). Vitaliteten för de angripna träden var generellt sett sämre i det äldre beståndet i Jomotusjärvi jämfört med det yngre beståndet i Blåbergsliden (Figur 15).

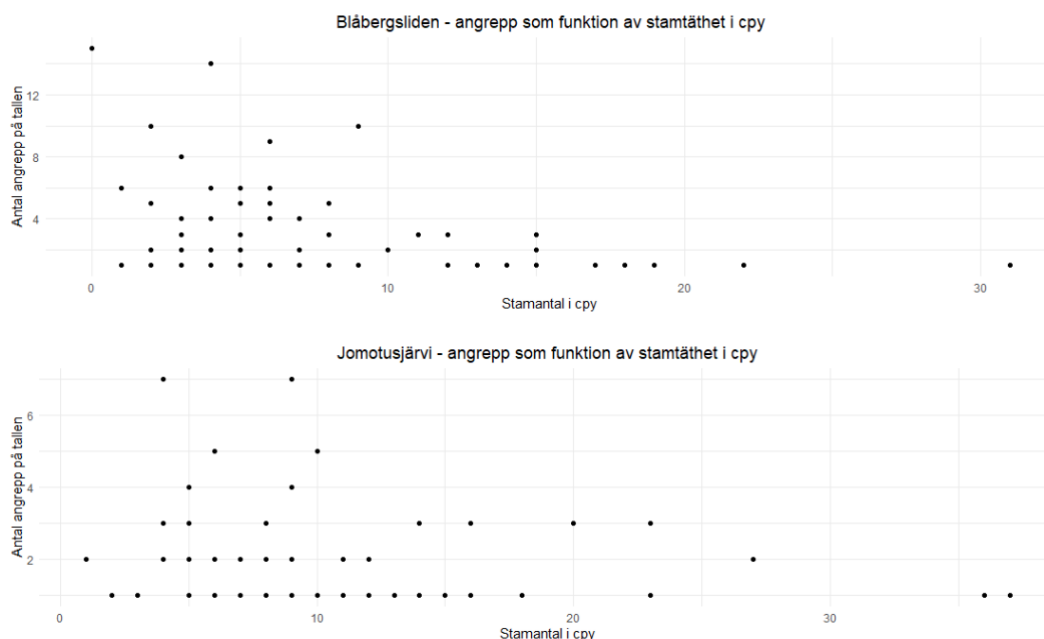


Figur 15. Vitalitet på de angripna tallarna i Blåbergsliden och Jomotusjärvi.

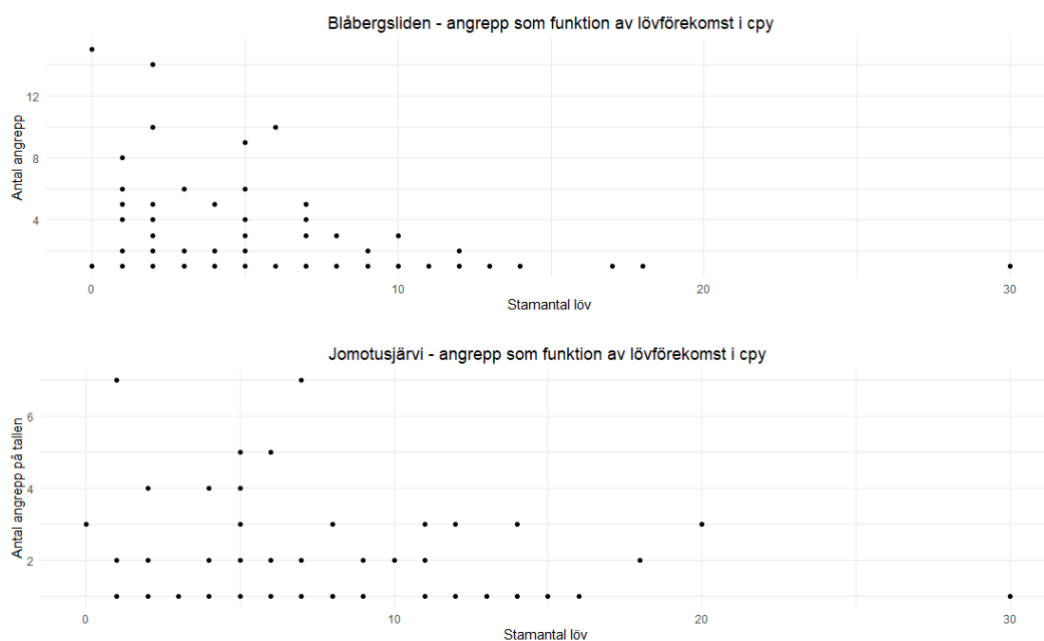
Närmiljöns påverkan på antalet angrepp

För att undersöka närmiljöns betydelse för antalet angrepp hos tallarna utfördes ett antal analyser. Först testades antalet angrepp/träd mot det totala antalet stammar i cirkelprovytan (tall + gran + löv) (Figur 16). Som framgår av figurerna återfanns tallar med många infektionspunkter främst i cirkelprovytor med ett lågt stammantal. För att testa om signifikanta skillnader fanns mellan "få" och "många" antal stammar i cirkelprovytorna grupperades de in i två grupper med: 1) mindre än 10 stammar, 2) med tio eller fler stammar. I dessa två grupper jämfördes sedan antalet angrepp/träd genom ett Wilcoxon rank sum test. Resultaten från testet påvisade signifikanta skillnader mellan grupperna för Blåbergsliden och Jomotusjärvi sammanslaget ($p = 0,0068$). Däremot återfanns enbart signifikanta skillnader i Jomotusjärvi när de båda bestånden analyserades separat (Jomotusjärvi, $p = 0,0361$ och Blåbergsliden, $p = 0,0815$). I Blåbergsliden var medelvärde för antalet angrepp i cirkelprovytor med "få" stammar 2,85 mot 1,42 för cirkelprovytor med "många" stammar. Motsvarande siffror för Jomotusjärvi var 2,15 mot 1,52. I nästa analys plottades antal angrepp/träd mot enbart förekomsten av lövstammar (som var vanligast förekommande både i Blåbergsliden och Jomotusjärvi). Mönstret var liknande som för det totala antalet stammar (Figur 17).

Dessa data indikerar att en närmiljö runt tallarna med relativt sett få stammar kan leda till fler angrepp/tall. Det kan bara spekuleras i orsakerna till detta mönster men faktorer som förbättrad sporspridning då tallarna står mer "öppet" samt en historisk högre förekomst av kovall på mer ljusexponerad mark kan vara möjliga faktorer som spelat in. Mer omfattande studier behövs för att verifiera dessa resultat.

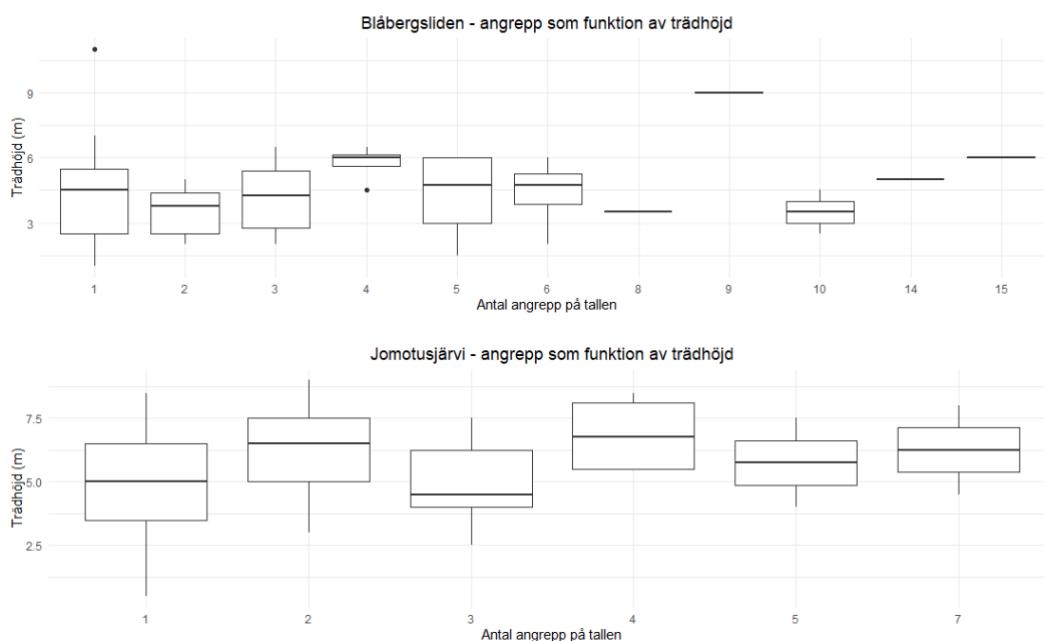


Figur 16. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av totala stamtätheten i cirkelprovytan i Blåbergsliden och Jomotusjärvi.

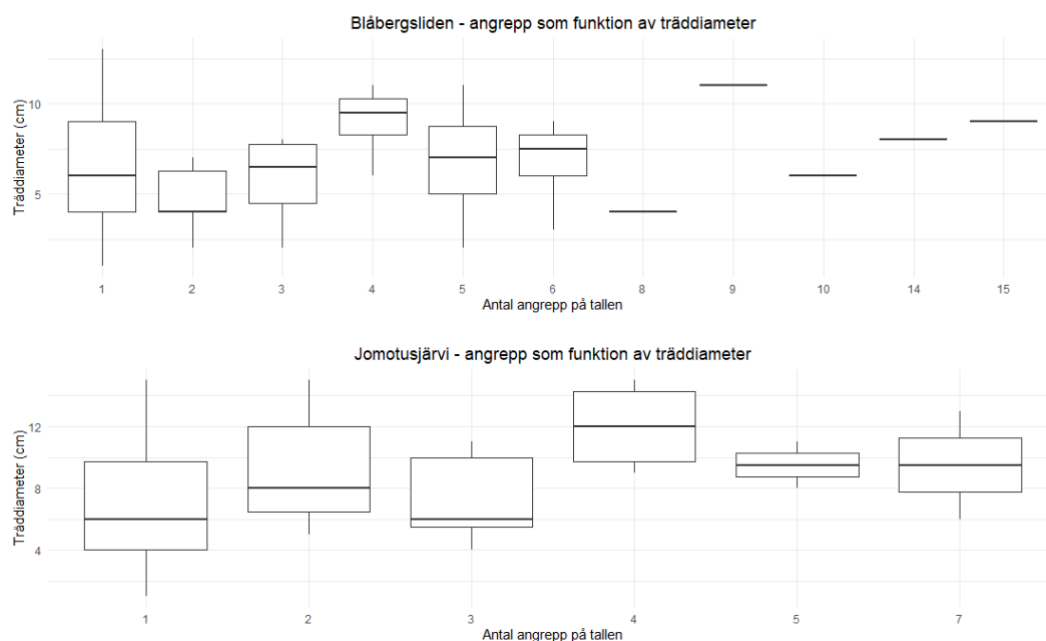


Figur 17. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av stamtätheten av löv i cirkelprovytan i Blåbergsliden och Jomotusjärvi.

Ett större träd (med mer barr) bör rimligen samla på sig fler angrepp än ett mindre träd eftersom fler årsbarr utsatts för infektionsrisk på ett större (äldre) träd. För att testa denna hypotes plottades antalet angrepp/tall mot tallen höjd och diameter Figur 18 och Figur 19. Som framgår av figurerna kunde inget tydligt samband mellan antalet angrepp och trädhöjd eller tr addediameter avläsas. Dessa data indikerar att risken för infektion inte är direkt kopplat till antalet årsbarr på tallarna (trädets storlek) och därför inte linjär över trädåldrarna.

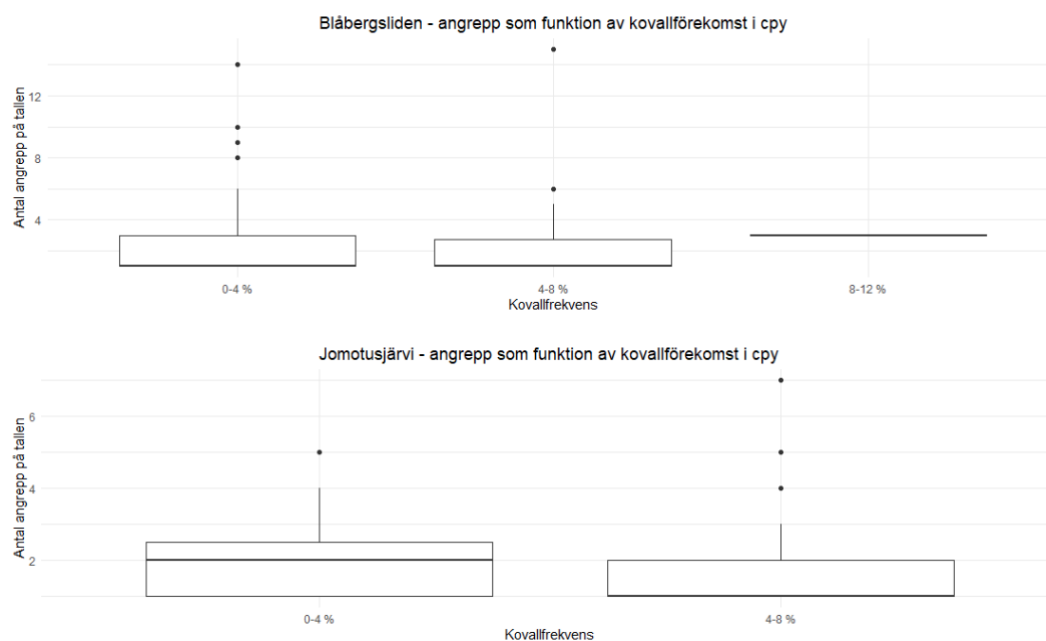


Figur 18. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av trädhöjd i Blåbergsliden och Jomotusjärvi. Notera att antalet angrepp/tall var betydligt högre i Blåbergsliden än i Jomotusjärvi.



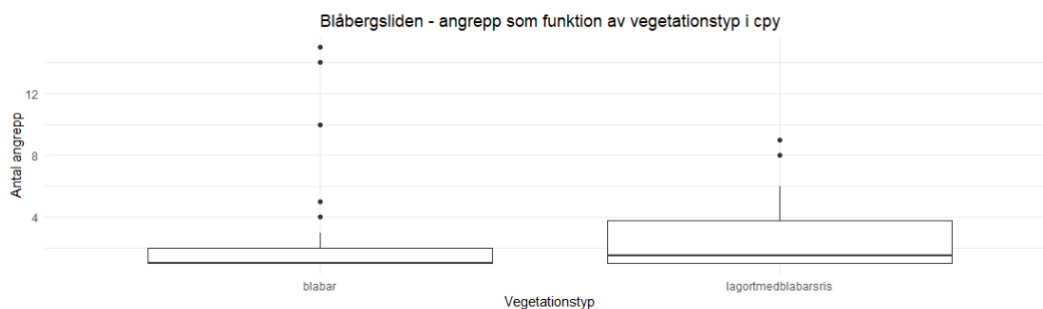
Figur 19. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av tråddiameter i Blåbergsliden och Jomotusjärvi. Notera att antalet angrepp/tall var betydligt högre i Blåbergsliden än i Jomotusjärvi.

Nästa samband som testades var angreppsfrekvens mot kovallförekomst (Figur 20). Här kunde inga signifikanta skillnader registreras. Sägars bör att förekomsten av kovall var sparsam men allmän i både Blåbergsliden och Jomotusjärvi och att eventuella skillnader i förekomst kan ha krävt en högre upplösning på inventeringen för att kunna upptäckas. Det kan också vara så att den historiska förekomsten av kovall varit högre tidigare i beståndsåldrarna och minskat efterhand som beståndet slöt sig och kovallen beskuggades.



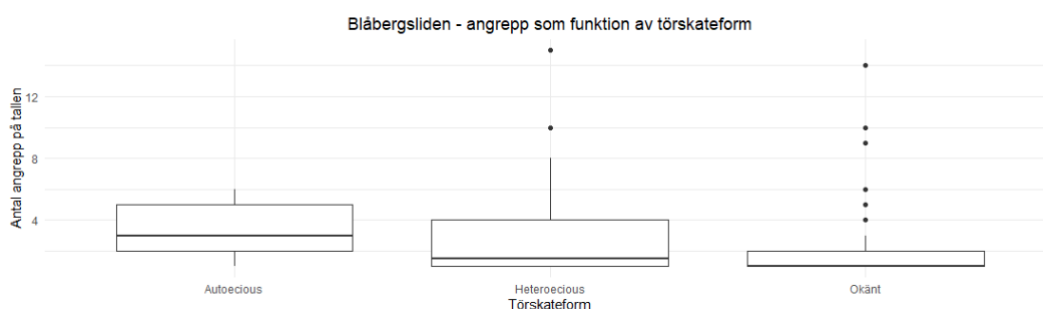
Figur 20. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av kovallförekomst i cirkelprovytan i Blåbergsliden och Jomotusjärvi.

Eftersom enbart vegetationsklassen blåbärsristyp återfanns i Jomotusjärvi kunde enbart jämförelser mellan olika vegetationsklasser utföras i Blåbergsliden. I Blåbergsliden kunde inga signifikanta skillnader avläsas mellan behandlingarna (Figur 21). Eftersom den inventerade ytan i denna studie var så pass lokalt avgränsad är den emellertid mindre lämpad för att studera vegetationstypens betydelse för antalet törskateinfektioner.



Figur 21. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av vegetationsklass i cirkelprovytan i Blåbergsliden.

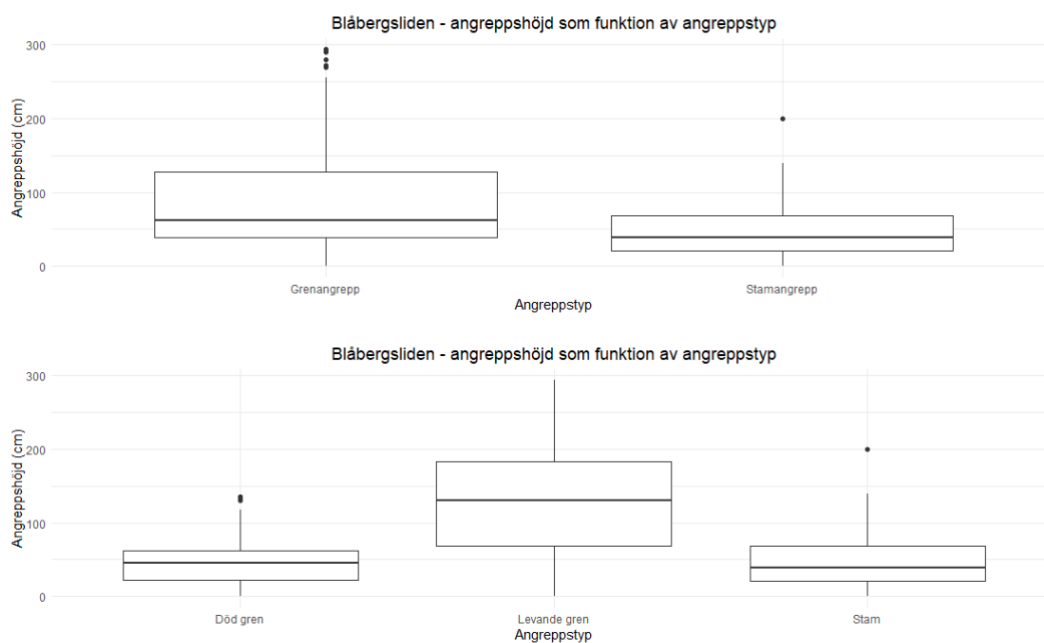
I Blåbergsliden finns både klonal- och värdväxlande törskate så där kunde antalet angrepp per träd jämföras (Figur 22). Antalet angrepp för den klonala formen var emellertid bara 12, varvid underlaget för analysen var mycket begränsad.



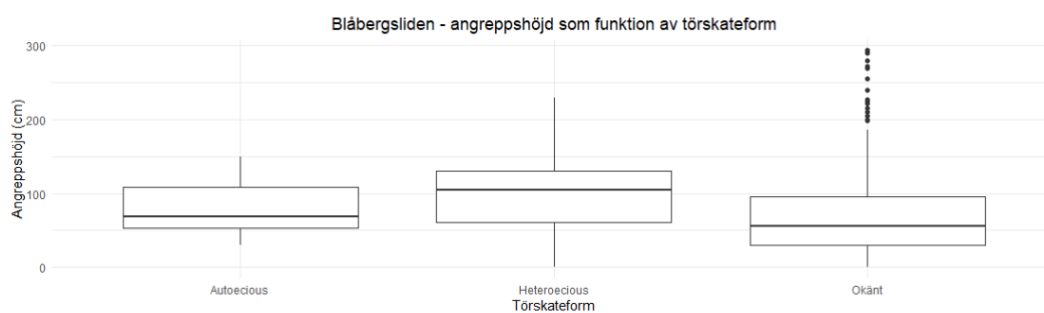
Figur 22. Antalet angrepp (infektionspunkter på tallarna) som funktion av törskateform på det angripna trädet i Blåbergsliden.

Analys för varje separat angrepp på träd

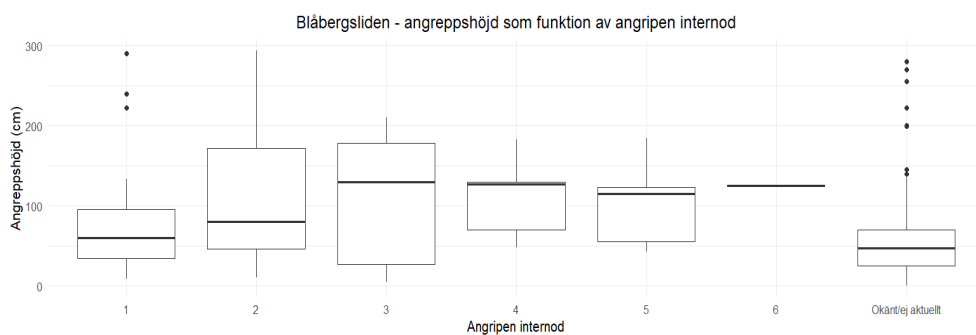
Nedan redovisas genomförda analyser där varje registrerat gren- och stamangrepp behandlas separat. Flera angrepp på ett och samma träd kan därmed få stor betydelse för resultaten. I nedanstående analyser plottas angreppshöjd mot variabler som angreppstyp (Figur 23, Figur 26), törskateform på Blåbergsliden (Figur 24) och för grenangreppen angripen internod (Figur 25, Figur 27).



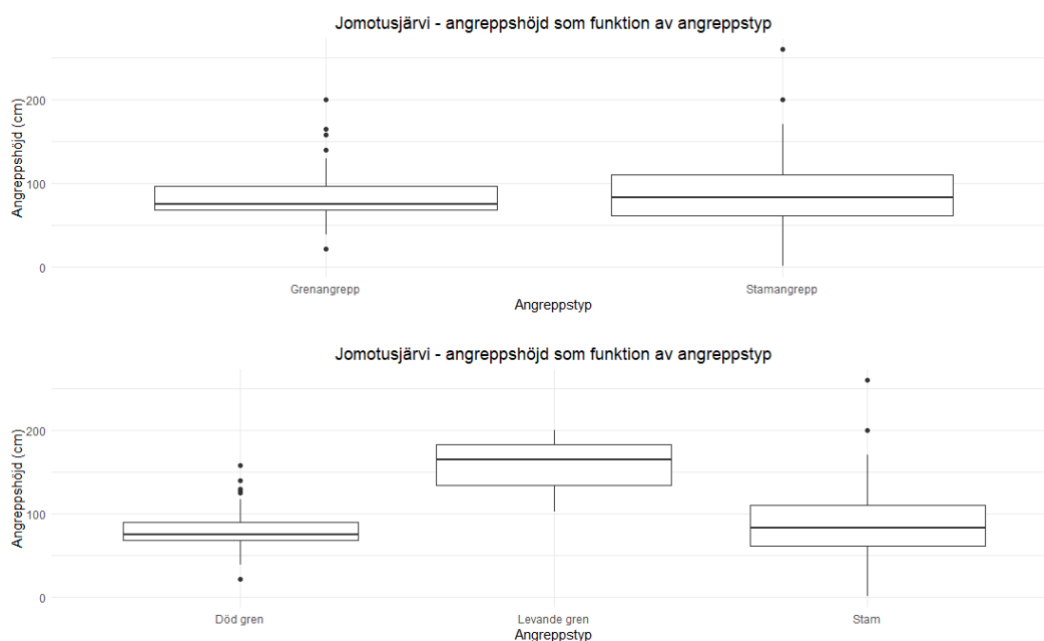
Figur 23. Angreppshöjd som funktion av angreppstyp i Blåbergsliden. Notera att angreppen normalt sitter på under 1 m höjd på träden (undantaget grenangrepp på levande grenar).



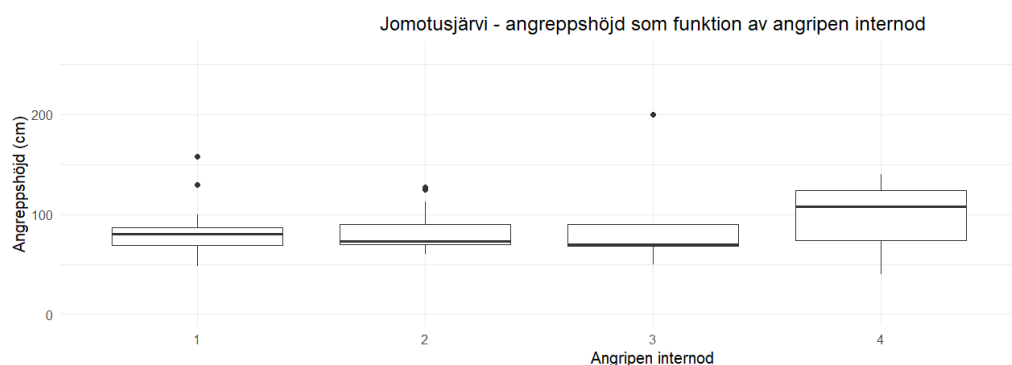
Figur 24. Angreppshöjd som funktion av törskateform i Blåbergsliden.



Figur 25. Angreppshöjd som funktion av angripen internod i Blåbergsliden.



Figur 26. Angreppshöjd som funktion av angreppstyp i Jomotusjärvi. Notera att angreppen normalt sitter på under 1 m höjd på träden (undantaget grenangrepp på levande grenar).



Figur 27. Angreppshöjd som funktion av angripen internod i Jomotusjärvi.

Slutsatser

I denna rapport redovisas resultaten från ingående inventeringar i två hårt törskateangripna tallungskogar i Norr- och Västerbotten. De huvudsakliga slutsatserna från studien kan sammanfattas i följande punkter:

- Entydig positionering av törskateangripna tallar fungerar bra med handhållen GPS. Positionering av icke angripna tallar utifrån ortofoto blir inte lika entydigt.
- Törskateangripna tallar är tämligen jämnt och slumpmässigt spridda över aktuella försök.

- I undersökningen av grenangrepp, för gruppen döda angripna grenar, leder 85–87 procent av alla angrepp aldrig till någon staminfektion eftersom grenen hunnit dö innan angreppet når in till stammen.
- Sannolikheten för att ett grenangrepp ska nå in till stammen är större om angreppet sitter på internod 1 och mycket lägre om angreppet sitter på internod 2 eller längre ut på grenen.
- Den naturliga kvistrensningen verkar vara ett effektivt sätt för tallen att “göra sig av” med svampinfektionen.
- I Jomotusjärvi infekterades flest träd mellan 9–11 års ålder medan åldern för när träden infekterades var mer jämnt fördelade i Blåbergsliden.
- Få levande angripna grenar och låg andel sporulerande angrepp i Jomotusjärvi tyder på ett för närvarande “avstannat” infektionsförlopp i detta bestånd.
- Hög andel levande angripna grenar och hög andel sporulerande angrepp i Blåbergsliden tyder på ett för närvarande mer “aktivt” infektionsförlopp i detta bestånd.
- En närmiljö runt tallarna med relativt sett många stammar kan bidra till signifikant färre angrepp/tall jämfört med om tallarna står mer “öppet”.

Referenser

Hantula, J., Kasanen, R., Kaitera, J. & Moricca, S. 2002. Analyses of genetic variation suggest that pine rusts *Cronartium flaccidum* and *Peridermium pini* belong to the same species. *Mycological Research* 106: 203–209.

Kaitera, J. & Hantula, J. 1998. *Melampyrum sylvaticum*, a new alternate host for pine stem rust *Cronartium flaccidum*. *Mycologia* 90: 1028–1030.

Kaitera, J. 1999. *Cronartium flaccidum* fruitbody production on *Melampyrum* spp. and some important alternate hosts to pine. *European Journal of Forest Pathology* 29: 391–398.

Kaitera, J., Nuorteva H. & Hantula, J. 2005. Distribution and frequency of *Cronartium flaccidum* on *Melampyrum* spp. in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 229–234.

Persson, T. 2022. Redovisning av törskateskadors utveckling under 10 år. Skogforsk rapport.

Samils, B. & Stenlid, J. 2022. A review of biology, epidemiology and management of *Cronartium pini* with emphasis on Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research* 37: 153–171.

Wulff, S & Hansson, P. 2013. Nationell Riktad Skadeinventering (NRS) 2012. Arbetsrapport 386.

Zhang m.fl. opublicerad.

Öhlund, J., Svennerstam, H. & Fredriksson, E. (2023). Demoförsök Törskate - resultat 2020-2022. Skogforsk, Arbetsrapport 1179-2023. Länk: ap-1179-2023-demoforsok-torskate.pdf (skogforsk.se).

Kontaktuppgifter

Jonas Öhlund

Skogforsk

Box 3, SE-918 21 Sävar

jonas.ohlund@skogforsk.se

Mikael Andersson

Skogforsk

Box 3, SE-918 21 Sävar

mikael.andersson@skogforsk.se

Åke Olson

SLU, Skoglig mykologi och växtpatologi

Box 7026, SE-750 07 UPPSALA

ake.olson@slu.se

Freja De Prins

SLU, Skoglig mykologi och växtpatologi

Box 7026, SE-750 07 UPPSALA

freja.de.prins@slu.se