

# Produktionsnedsättning i törskateangripen gallringsskog

En ekonomisk analys i Heureka

Emelie Fredriksson, Nils Fahlvik, Jonas Öhlund, Henrik Svennerstam



Bilden visar ett sporulerande stamsår av törskate. Foto: Henrik Svennerstam

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>6</b>
<b>Metod</b> .....	<b>8</b>
Beståndsurval och beståndsbeskrivning .....	8
Försöksdesign och inventeringsmetodik .....	9
Ekonomisk modellering .....	14
<b>Resultat</b> .....	<b>17</b>
Skadefrekvenser .....	17
Vitalitet och stamantal .....	18
Ekonomisk modellering .....	19
<b>Diskussion</b> .....	<b>23</b>
<b>Slutsatser och sammanfattning</b> .....	<b>25</b>
<b>Tack</b> .....	<b>25</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>26</b>
<b>Bilaga 1</b> .....	<b>28</b>
Protokoll .....	28
Övriga figurer och tabeller .....	31



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

---

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 23 mars 2023 av Erik Ling, Programchef Skogsskötsel. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 4 april 2023.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se  
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

# Förord

I syfte att belysa de ekonomiska konsekvenser som en enskild skogsägare kan drabbas av vid omfattande törskateangrepp startade Skogforsk 2022 en riktad studie i sju gallringsbestånd i Norr- och Västerbotten. Genom att utnyttja delar av redan etablerade försökslokaler i det pågående projektet ”Demoförsök Törskate” kunde lämpliga gallringsbestånd snabbt lokaliseras och inkluderas i studien.

Under hösten 2022 inventerades törskateangrepp på samtliga huvud- och bistammar i försökslokalerna. För att få en heltäckande bild av skadeläget inkluderades även liggande och stående törskatedödade stammar i inventeringen.

Dessa inventeringsdata användes sedan för att modellera de ekonomiska konsekvenserna av törskateangrepp fram till slutavverkning i simuleringsverktyget Heureka. I simuleringarna testades olika scenarier för avgång och hantering av törskateinfekterade tallar samt för olika klassningar av de infekterade stammarnas ekonomiska värde. Projektet finansierades av Skogsstyrelsen.

Sävar, mars 2023

Emelie Fredriksson

# Summary

Scots pine blister rust (*Cronartium pini*) has long been a known pathogen on pine, but since the beginning of the 2000s, interest in the rust fungus has increased due to extensive damage in young forest stands in northern Sweden. *C. pini* occurs in two forms: a heteroecious variant (*Cronartium flaccidum*) and a clonal variant (*Peridermium pini*) that spreads directly from pine to pine (Hantula et al. 2002, Kaitera & Hantula 1998, Kaitera 1999, Kaitera et al. 2005). Many surveys have been conducted to determine the geographical extent of the damage, but mainly in younger stands. The results from these surveys vary for different regions, but in Norrbotten, which is hardest hit, damage rates are close to 10%. Today, forest owners normally try to limit the spread of *C. pini* by removing as many infected trunks as possible during thinning and, when possible, by prioritising spruce and deciduous trees over pine. However, the effect of these silvicultural measures on infection rate, continued spread of the fungus, and economic losses is still unclear.

Skogforsk conducted a targeted case study in seven thinnings in the counties of Norrbotten and Västerbotten, to examine the economic consequences, to the forest owner, of extensive *C. pini* infections in thinning forest stands. Infections from *C. pini*, both on living as well as standing and lying dead trunks, were surveyed in detail to obtain a complete and high-resolution view of current infection rates. These data were then used to model the economic consequences of the pine rust damage, from the time of inventory to final harvesting, using the Heureka simulation tool. In the simulations, different scenarios were tested for the mortality rate and treatment of infected pines, as well as for different classifications of the economic value of the infected trunks.

In the study, 84 circular sample plots were surveyed. A total of 338 infected pine trees were identified, of which 187 were alive. The most common damage pattern was a main stem with a single, extensive stem wound, situated low on the stem and affecting parts of the crown. In all the surveyed stands, only 13 cases of damage to branches were found, compared to 442 stem wounds. The mean damage rate for live main stems was 40%, with a standard deviation of 19%. The simulation showed a tendency towards lower total growth, with an increased proportion of *C. pini* infected basal area in the input data to Heureka, and growth reduction varied from 4 to 12% during the simulated period from the time of inventory to final felling. The reduction in the net present value of the stands (using the time of first inventory as reference year) varied greatly between the different modelled scenarios, with a maximum reduction of 20%.

Despite very high damage levels in the stands, the economic effects were less than we expected. Premature final felling of stands with similar levels of *C. pini* infection is probably not economically justifiable based on the results of this study. However, a number of assumptions were necessary during the inventory and modelling, so it is still too early to draw general conclusions about what action landowners of severely affected stands should take. The history of individual stands, their composition, and number of stems must be taken into account in order to determine the most appropriate measures.



# Sammanfattning

Törskate har sedan länge varit en känd patogen för tall. Sedan början av 2000-talet har dock intresset för rostsvampen ökat, vilket beror på omfattande angrepp i tallungskogar, speciellt i Norrbotten. En lång rad inventeringar för att fastställa angreppens omfattning har genomförts av skogsbolag, Skogsstyrelsen och Skogforsk främst i yngre röjningsbestånd. Resultaten från dessa undersökningar varierar för olika regioner, men i Norrbotten som är hårdast drabbat ligger angreppsfrekvenserna på närmare tio procent. Idag försöker skogsägarna normalt begränsa spridningen av törskate i bestånden genom att vid gallring/röjning ta bort så många sjuka stammar som möjligt och, där det är möjligt, prioritera gran och löv före tall. Effekten av dessa skötselåtgärder på angreppsfrekvenser, fortsatt smittspridning och ekonomiska förluster är emellertid fortfarande oklar.

I syfte att öka förståelsen för de ekonomiska konsekvenser en skogsägare kan drabbas av vid ett omfattande törskateangrepp i gallringsskog startade Skogforsk på uppdrag av Skogsstyrelsen en riktad fallstudie i sju gallringsbestånd i Norrbotten och Västerbotten. Genom att i studien utnyttja redan etablerade försökslokaler kunde hårt angripna bestånd snabbt lokaliseras. Törskateangrepp på levande likväl som döda stående och liggande stammar i försökslokalerna detaljinventerades för att få en fullständig och högupplöst bild av det aktuella skadeläget. Dessa data användes sedan för att modellera de ekonomiska konsekvenserna av törskateangreppen till och med slutavverkning med hjälp av simuleringssverktöget Heureka. I simuleringarna testades olika scenarier för hur många och hur snabbt törskateinfekterade träd dör samt olika klassningar av de infekterade stammarnas ekonomiska värde.

I studien inventerades 84 cirkelprovytor där totalt 338 törskateinfekterade tallar identifierades, varav 187 av dessa var levande. Den vanligaste skadebilden var en huvudstam med ett enda omfattande stamsår, lågt ned på stammen och med påverkan på delar av kronan. Totalt hittades endast 13 grensår jämfört mot 442 stamsår i samtliga inventerade bestånd. Genomsnittliga angreppsfrekvensen för levande huvudstammar var 30 procent, med 17 procent i standardavvikelse. De ekonomiska modelleringarna påvisade en tendens till lägre total tillväxt vid ökad andel törskateinfekterad grundyta i utgångsläget och tillväxtförlusterna varierade från 4 till 12 procent. Beståndens nuvärdesminskning varierade mycket mellan de olika modellerade scenarierna med maximal minskning på 20 procent.

Trots mycket höga angreppsnivåer i bestånden var de ekonomiska effekterna mindre än vad vi förväntat oss. Förtida avverkning av liknande hårt törskateangripna bestånd är troligen inte ekonomiskt försvarbart utifrån resultaten av denna studie. Dock har en rad antaganden behövts göras vid inventering och modellering så det är fortfarande för tidigt att dra generella slutsatser för hur hårt drabbade markägare ska resonera, då enskilda bestånds historik, beståndssammansättning och stamantal måste tas med i beräkningen för vilka åtgärder som är lämpligast i det aktuella beståndet.

# Inledning

Törskate (*Cronartium pini*) är en rotsvamp som angriper tall (*Pinus sylvestris*). Den förekommer i två former: en värdväxlande variant (*Cronartium flaccidum*) och en klonal variant (*Peridermium pini*) som sprids från tall till tall (Hantula m.fl. 2002, Kaitera & Hantula 1998, Kaitera 1999, Kaitera m.fl. 2005). Den värdväxlande varianten av törskate kan värdväxla med ett antal växtarter, men med stor sannolikhet är kovallsläktet (*Melampyrum*) det mest betydelsefulla för spridningen i skogsmark i Sverige. Bägge varianterna infekterar trädet genom att sporer växer in i årsbarr via klyvöppningarna. Vanligast är att infektionen startar på en gren, men infektioner på barr som växer direkt på stammen förekommer också. En greninfektion är generellt inte ett stort problem för trädet så länge infektionen inte når stammen och övergår i en staminfektion. En begränsad staminfektion kanske inte påverkar trädet så mycket, medan en allvarligare staminfektion kan ha stor negativ inverkan på trädets tillväxt och i värsta fall, om svampen växer runt hela stammen, strypa trädet till döds. Kampen mellan träd och svamp kan vara mycket långvarig och sträcka sig över decennier. Utgången av denna kamp är dock oklar och sannolikt beroende av faktorer såsom var angreppet är lokaliserat på trädet samt trädets ålder vid infektionstillfället. En lågt liggande staminfektion är generellt mer allvarlig då en strypning av ledningsbanan där ofta leder till att hela trädet dör än ett stamsår högre upp på stammen.

Törskate har länge varit en känd patogen för tall. Redan 1906 beskrevs svampen orsaka omfattande skador på tallbestånd i södra och mellersta Finland (Liro 1906). Sedan början av 2000-talet har emellertid aktualiteten för törskate ökat, vilket beror på att omfattande angrepp observerats redan i unga och medelålders skogar, framför allt i östra Norrbotten. Törskatedrabbade ung- och gallringsskogar har sedan dess även observerats i Västerbotten och ändå ner till Jämtland. Vid den senaste inventeringen utförd av NRS (Nationell Riktad Skogsskadeinventering), återfanns angrepp av törskate i 67 procent av alla inventerade tallungsskogar (ungsskogar på 1–4 m medelhöjd) i Norrbotten, vilket motsvarar 71 500 ha (Wulff & Hansson 2013). Angreppsfrekvensen var som allra högst på bördigare marker och på ca 10 000 ha var angreppsfrekvensen i bestånden över tio procent.

Genomförda bolagsinventeringar under 2019 och 2020 påvisar också omfattande törskateangrepp i tallungsskogar (Sveaskog ungskogsinventering 2019, Kårén m.fl. 2020 och Holmen Skog 2020). I dessa ungskogsinventeringar var uppemot var tionde tall angripen och efter älgskadorna utgjorde törskate den allvarligaste skadegöraren i studierna. Större ungskogsinventeringar som under 2021 och 2022 utförts i Skogforsks regi stöder bolagsinventeringarnas resultat och påvisar en angreppsfrekvens på ca nio procent av tallarna i törskateangripna tallbestånd i Norrbotten (opublicerade data från Skogforsk). Dessa studier påvisar även en överrepresentation av höga angreppsfrekvenser på rika vegetationstyper, finkorniga jordar, frisk till fuktig mark samt hög förekomst av skogskovall i fältskiktet (opublicerade data från Skogforsk). Sporprover från gren- och stamsår pekar också på att det är den värdväxlande varianten av törskate som står för merparten av angreppen i ungskogarna i Norr- och Västerbotten (Samils & Stenlid 2022).

Skador av törskate kan också vara mycket svåra att identifiera, särskilt under de tider på året då svampen inte sporulerar eller vid grensår som sitter högt uppe i kronorna. Om inventeringarna inte utförts under rätt tidsperiod och med stor noggrannhet finns därför en risk att många skador missas trots att de funnits där under lång tid.

Idag försöker skogsägarna normalt begränsa spridningen av törskate i bestånden genom att vid gallring och röjning ta bort så många sjuka stammar som möjligt och där så är

möjligt prioritera gran och löv före tall. Effekten av dessa skötselåtgärder på angreppsfrekvenser och fortsatt smittspridning är emellertid fortfarande oklar och de få kontrollerade studier som genomförts har inte kunnat påvisa några signifikanta positiva effekter av åtgärderna (Kaitera 2002). Den främsta anledningen till de uteblivna effekterna tros vara att man missar ett stort antal latent infektioner i träden vid gallringen. Vidare kan gallringen också leda till en ökad luftcirkulation och ett bättre ljusklimat för de örter i fältskiktet som fungerar som mellanvärdar i värdväxlingen (*Melampyrum*), vilket i sin tur kan gynna svampens sporspridning. I Nordamerika anses saneringsgallring och stamkvistning i bestånd av vittall (*Pinus albicaulis*) kunna reducera infektioner av törskatens nära släkting *Cronartium ribcola* (Hunt 1991, Zeglen m.fl. 2010). Men även om antalet infektioner i dessa studier kunde minska i närtid efter gallringen finns emellertid frågetecken kring de långsiktiga effekterna av åtgärderna, exempelvis hur gallringen i sig påverkar förutsättningarna för den framtida sporspridningen i bestånden (Zeglen m.fl. 2010).

En annan mer radikal skötselåtgärd som på senare år tillämpats i hårt angripna gallringsbestånd är förtida avverkning och nyplantering. Detta är också en skötselåtgärd som rekommenderas av Skogsstyrelsen (Skogseko 3–2017). Det ekonomiska utfallet av denna skötselåtgärd för skogsägaren är dock till stora delar oklart och måste sättas i relation till de förluster man skulle ha haft om man låtit skogen stå kvar. Dessa förluster är i sin tur beroende av beståndets grundläggande förutsättningar, exempelvis beståndsammansättning, beståndsålder, stamtäthet samt hur den fortsatta skadeutvecklingen skulle ha blivit. I Kanada och USA har modelleringsstudier utförts på data från bestånd av contortatall (*Pinus contorta*) och loblollytall (*Pinus teaeda*) angripna av *Cronartium harknessii* och *Cronartium quercuu* f.sp. *fusiforme*, två släktingar till vår inhemska törskate (Sattler m.fl. 2019, Geron & Hafley 1988). Den kanadensiska studien som baserades på data från 7 775 träd visade att andelen nya infektioner minskade med åldern och att överlevnaden bland angripna stammar ökade ju senare och ju högre upp på stammen som träden infekterades. Hur applicerbart resultatet är för vår inhemska törskate och tall är dock oklart.

I syfte att försöka belysa ovan nämnda frågeställningar och öka förståelsen för de ekonomiska konsekvenserna av törskateangrepp i gallringsskogar startade Skogforsk 2022 på uppdrag av Skogsstyrelsen en riktad fallstudie i sju gallringsbestånd i Norrbotten och Västerbotten. Genom att utnyttja delar av redan etablerade försökslokaler i det av Skogforsk drivna projektet ”Demoförsök Törskate” kunde hårt angripna bestånd snabbt lokaliseras och inkluderas i studien. Under hösten 2022 detaljinventerades törskateskador både på stående och liggande stammar i försökslokalerna för att få en fullständig och högupplöst bild av det aktuella skadeläget. Dessa data användes sedan för att modellera de ekonomiska konsekvenserna av törskateangreppen till och med slutavverkning med hjälp av simuleringssverkyget Heureka. I simuleringarna testades olika scenarier för hur snabbt och hur många av de törskateinfekterade träden som dör, det vill säga avgång, hantering av törskateinfekterade tallar samt olika klassningar av de infekterade stammarnas ekonomiska värde.

Det är viktigt att poängtera att denna studie inte gör anspråk på att spegla någon generell bild av de ekonomiska konsekvenser som törskateangrepp kan innebära i gallringsskogar, då särskilt hårt angripna gallringsbestånd valdes ut i studien. Studien ska mer ses som ett exempel på hur effekter av törskateangrepp kan slå ekonomiskt för en enskild skogsägare.

# Metod

## Beståndsurval och beståndsbeskrivning

Detaljerad inventering av törskate på både levande och döda träd genomfördes på sju försökslokaler i Norrbotten och Västerbotten tillhörande Sveaskog och Holmen Skog. Bestånden var i gallringsmogen ålder (28–62 år) med varierande storlek och dokumenterad beståndshistorik (Tabell 1). Dessa försökslokaler har valts ut (ej slumpats) och hade sedan tidigare känd hög skadeproblematik på grund av törskate och ska därför inte ses som allmänt representativa på landskapsnivå.



**Figur 1.** Karta över inventerade försökslokaler i Norr- och Västerbotten (Sverige).



**Tabell 1.** Övergripande beståndsvariabler för försökslokalerna. Stamtätheterna rapporteras som medelvärde  $\pm$  standardavvikelse.

Försökslokal	Koordinater (x;y)	Ålder (år)*	Storlek (ha)*	Stamtäthet tall / ha			Län	Markägare
				Tall	Gran	Löv		
Bjärkliden	64,70793; 19,92468	31	8,2	1308 $\pm$ 358	67 $\pm$ 78	208 $\pm$ 173	AC	Holmen
Finnäs	64,91645; 19,36120	38	6,5	700 $\pm$ 316	75 $\pm$ 75	283 $\pm$ 346	AC	Holmen
Fräkenmyrvägen	66,57559, 23,05025	43	12,2	1000 $\pm$ 313	267 $\pm$ 161	92 $\pm$ 124	BD	Sveaskog
Kuusujärvi	66,48594; 23,46505	49	14,2	692 $\pm$ 227	125 $\pm$ 97	192 $\pm$ 173	BD	Sveaskog
Ollimaavägen	66,73429; 23,31293	62	53,4	400 $\pm$ 135	150 $\pm$ 243	700 $\pm$ 556	BD	Sveaskog
Storliden	64,94702; 19,49950	47	8,0	967 $\pm$ 337	150 $\pm$ 162	158 $\pm$ 168	AC	Holmen
Sämskälén	64,81003; 19,70974	38	9,6	1367 $\pm$ 423	183 $\pm$ 175	42 $\pm$ 51	AC	Holmen

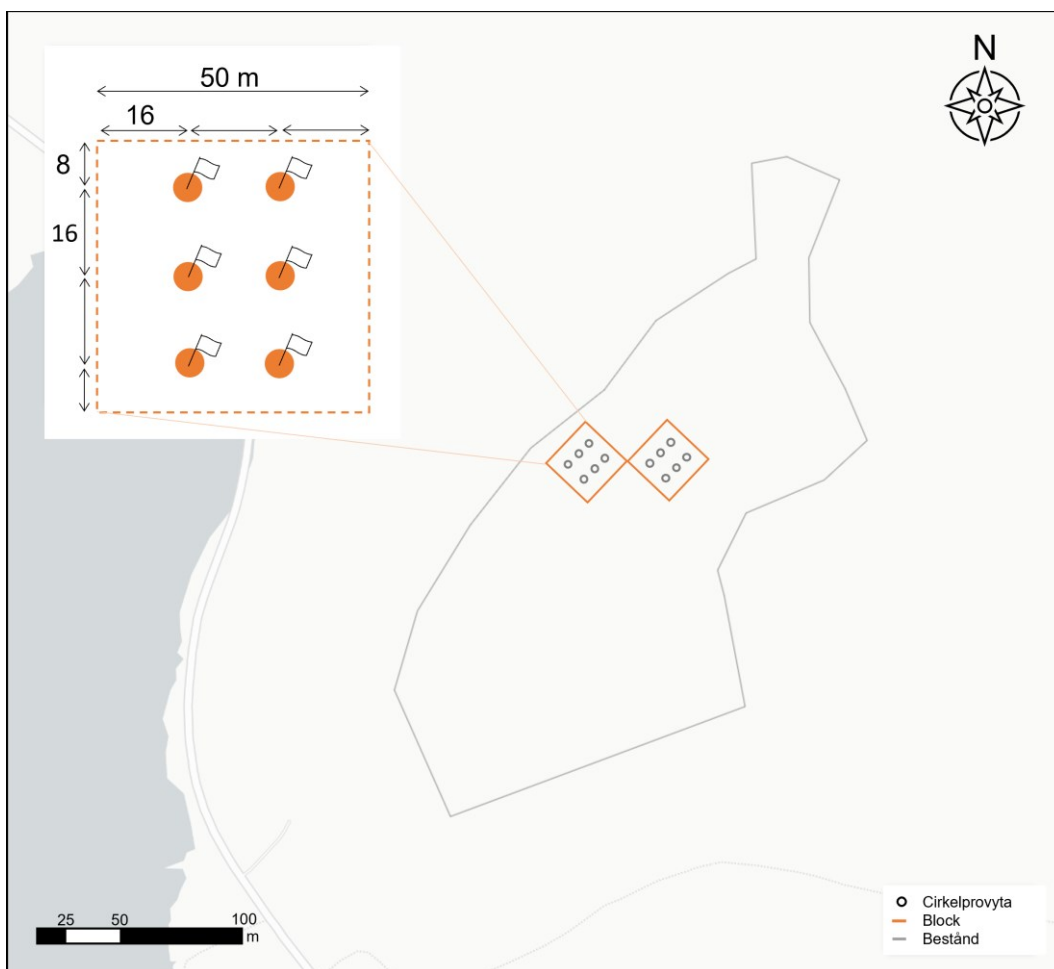
\* Information från markägaren, ej inventerat av oss.

## Försöksdesign och inventeringsmetodik

Inventeringsmetoden har utvecklats efter flertalet relaterade försök på Skogforsk och är här anpassad just till gallringsskog, se rapport ”DEMO-röjning” för mer detaljer kring törskateinventeringsmetodik i yngre skog.

### Försöksdesign

Totalt inventerades sju försökslokaler varav fem var redan kända lokaler med skadeproblematik från ett tidigare etablerat försök på Skogforsk: *Demoförsök Törskate*. Två nya försökslokaler (Finnäs och Storliden) identifierades i detta projekt med hjälp av lokala markägare. Demoförsökens försökslokaler är indelade i åtta block, varav två obehandlade referensblock. För Finnäs och Storliden stakades två block ut så att försöksdesignen blev densamma som i övriga försökslokaler. Varje enskilt block är 50x50 m stort och med tryckimpregnerade trästolpar med blocknummer i hörnen och blåmarkerade träd längs blockkanterna. Varje block innehåller sex cirkelprovytor med en radie på 5,64 m (motsvarande 100 m<sup>2</sup>). Cirkelprovytorna är utplacerade på två rader med tre i varje rad där avståndet till kanten var ca 8 m, följt av ca 16 m till nästkommande cirkelprovyta och så vidare (Figur 2). Varje cirkelprovyta är markerad med en 1,5 m lång centrumkäpp där cirkelprovtans nummer är noterad med penna.



**Figur 2.** Schematisk beskrivning av försöksdesignen. Exemplet visar försökslokalen Kuusujärvi.

Variabler inventerades på cirkelprovytenivå samt på enskilda angripna träd inom cirkelprovytan. Både levande och döda träd med törskate inventerades i detalj men enbart de levande träden är inkluderade i modelleringen. Alla data samlades in med ett digitalt formulär i programmet Survey123. Se Bilaga 1 för en fullständig version av protokollet.

### **Inventering på cirkelprovytenivå**

För att beskriva förutsättningarna i beståndet och kunna koppla dessa till skadorna inventerades vegetation, markförhållanden, antalet huvud- och bistammar samt höjd och diameter på ett referensträd per trädslag på cirkelprovytenivå. Referensträdet utgjordes av ett utvalt representativt träd för varje trädslag i det beståndsbildande skiktet. Se Tabell 2 med fullständig lista på variabler inklusive beskrivning.

**Tabell 2.** Detaljerad beskrivning av inventerade variabler på cirkelprovytenivå. Utöver beskrivna kategorier gick det även att välja ”Går ej att bedöma” för varje variabel, exempelvis var kovallförekomsten svår att bedöma i denna studie vid inventeringstillfället.

Variabel	Beskrivning
Fältskikt	Fältskikt definierades i enlighet med typerna i Hägglund och Lundmark (1994).
Kovallförekomst	Kovallförekomst definierades inom fyra olika kategorier enligt följande: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Återfinns ej (Ingen förekomst av kovall återfinns i provytan)</li> <li>▪ Enstaka individer (Du behöver leta ett bra tag över hela provytan för att hitta kovall. Enbart enstaka individer finns inom provytan)</li> <li>▪ Frekvent (Du hittar relativt snabbt kovall utan att behöva söka över hela provytan. Kovallförekomsten är frekvent över provytan)</li> <li>▪ Mycket frekvent (Kovall återfinns över stora delar av provytan och på enskilda kvadratmetrar kan flera individer återfinnas. Kovallförekomsten är mycket frekvent över provytan)</li> </ul>
Mark	Variabler relaterade till mark definierades i enlighet med fältinstruktionen för Riksinventeringen av skog (SLU 2008).
<i>Jordartens textur</i>	Förenklad variant av textur nyttjades i denna inventering där vi hade fyra olika nivåer baserade på uppskattad kornstorlek: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grusig (kornstorlek &lt; 20 mm)</li> <li>▪ Sandig (kornstorlek &lt; 2 mm)</li> <li>▪ Sandig-moig (kornstorlek &lt; 0,6 mm)</li> <li>▪ Moig-mjällig-lerig</li> </ul>
<i>Jorddjup</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grunt jorddjup (genomsnittsdjup &lt; 20 cm, riklig berghällsförekomst)</li> <li>▪ Tämligen grunt jorddjup (genomsnittsdjup 20–70 cm, enstaka synliga berghällar)</li> <li>▪ Mäktigt jorddjup (genomsnittsdjup &gt; 70 cm, berghäll saknas)</li> <li>▪ Varierande jorddjup (tvåra kast i jorddjupet på grund av breda brottytor i berggrunden)</li> </ul>
<i>Jordart</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Morän</li> <li>▪ Sediment</li> <li>▪ Torv</li> </ul>
<i>Markfuktighet</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Torr</li> <li>▪ Frisk</li> <li>▪ Fuktig</li> <li>▪ Blöt</li> </ul>

Antal huvud- och bistammar per trädslag	<p>Huvudstam definierades som de stammar som faller inom +/- 30 % av referensträdets höjd för det trädslag som anses bli beståndsbildande. Om tall anses beståndsbildande räknas gran som huvudstam ifall den uppnår 1/3-del av tallens höjd. Huvudstammar ska ha ett avstånd på minst 60 cm till annan huvudstam. Om flera huvudstammar finns inom detta avstånd väljs den högsta stammen.</p> <p>Bistam definierades som de stammar som ej uppfyller höjdkravet för huvudstam men är minst 2 meter höga. Alternativt de stammar som uppfyller höjdkravet för huvudstam men står inom 60 cm från en huvudstam.</p> <p>Totala antalet huvudstammar räknades medan antalet bistammar uppskattades för att spara tid.</p>
Representativ höjd och diameter för huvudstammar per trädslag	Ett representativt träd i det beståndsbildande skiktet av varje enskild trädart valdes ut. Höjden mättes med en digital höjdmätare (Haglöf Vertex 3) och noterades till närmsta meter. Diametern klavades vid brösthöjd (DBH) per cm.

\* Diameter vid brösthöjd

### Inventering på trädnivå

Alla törskateangripna träd, både levande och döda (stående och liggande), detalj-inventerades inom cirkelprovytan. För varje levande stam där ett angrepp upptäcktes noterades typ av angrepp (stamsår eller grensår), antal angrepp, angreppets position (höjd/avstånd till stam) och dess omfattning och påverkan på trädet. Se Tabell 3 för en fullständig lista på inventerade variabler och beskrivning av dessa.

**Tabell 3.** Detaljerad beskrivning av inventerade variabler på trädnivå.

Variabel	Beskrivning
Trädvitalitet	<p>Vitaliteten delades in i fyra olika nivåer enligt följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 = Obetydligt skadat (ett/enstaka tidigt grensår)</li> <li>▪ 2 = Lätt skadat (grensår som närmar sig stammen eller enstaka stamsår som ej påverkat kronan).</li> <li>▪ 3 = Allvarligt skadat (omfattande stamsår/skador med påverkan på åtminstone delar av kronan).</li> <li>▪ 4 = Mycket allvarligt skadat eller döende (omfattande stamsår och tydlig påverkan på stora delar av kronan).</li> </ul>
Stamsår	Antalet stamsår noterades, stamsårets höjd (m) och ifall svampen sporulerande eller ej. Vid fler än ett stamsår noterades detaljer enbart för det mest omfattande såret.
Stamsårsklass	<p>Vi definierade tre olika stamsårsklasser, både efter antalet skador och dess omkrets runt stammen, enligt följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 = Ringa (ett mindre stamsår, 0–20 procent runt stammen),</li> <li>▪ 2 = Måttliga (ett större stamsår, 20–50 procent runt stammen),</li> <li>▪ 3 = Omfattande (flera stamsår eller ett stort 50–100 procent runt stammen)</li> </ul>

Grensår	Antalet grensår noterades, grensårets höjd (m) och ifall svampen sporulerade eller ej. Vid fler än ett grensår noterades detaljer enbart för det mest omfattande såret.
Trädhöjd	Höjden mättes med en digital höjdmätare (Haglöf Vertex) och noterades till närmsta meter.
Träddiameter	Diametern (cm) klavades vid bröst höjd (DBH).
Stamdefekter	Fyra specifika stamdefekter noterades, sprötkvist, död topp, stamdeformation, dubbeltopp (två likstora stammar) eller övriga skador.

### Exempel på skador

Under inventeringen fanns möjligheten att fotografera specifika skador direkt i protokollet (se Bilaga 1) och nedan är två exempel på skador (Figur 3).



**Figur 3.** Exempelbilder från inventeringen. Vänstra bilden visar en stamdeformation och högra bilden ett stamsår som skapat ett stort kådflöde från trädet.



## Ekonomisk modellering

### Simulering av beståndsutveckling och ekonomi i Heureka

Programmet PlanWise (version 2.19.1.0) i simuleringssverktöget Heureka (Wikström m.fl. 2011) användes för att simulera beståndsutvecklingen inom de inventerade bestånden från tidpunkter för inventeringen fram till slutavverkning. I simuleringarna testades olika scenarier för avgång och hantering av törskateinfekterade tallar samt för olika klassningar av de infekterade stammarnas ekonomiska värde.

#### Generering av bestånd i Heureka

För varje lokal genererades ett bestånd i Heureka baserat på ståndorts- och beståndsdata från cirkelprovyteinventeringen. Då det saknades tillgång till mätdata för samtliga träd inom cirkelprovyterna användes funktionaliteten i Heureka för att generera bestånd med tillhörande trädlistor.

Nödvändiga indata om beståndstrukturen för att kunna generera trädlistor var uppgifter om grundytamedelstammens diameter ( $D_g$ ), stamantal ( $N$ ) för hela beståndet samt  $D_g$  för respektive trädslag och trädslagets andel av grundyta. Beräkningar av  $D_g$ ,  $N$  och trädslagsfördelning gjordes först på provytanivå och därefter beräknades medeltalet för respektive lokal. I avsaknad av en komplett klavning av samtliga träd inom provytorna antogs referensträdets diameter vid inventeringen motsvara  $D_g$ . Bedömningen av referensträdets diameter gjordes trädslagsvis i klasserna tall, gran och löv. Trädslagklass löv hanterades som björk i simuleringarna. Det fanns även uppgifter om stamantal för respektive trädslagklass. Enbart huvudstammar som levde vid inventeringstillfället ingick i simuleringen. Bistammar antogs avlägsnas innan gallringen.

Stamantal och medeldiameter för samtliga träd beräknades enligt:

$$N_{Tot} = \sum_{i=1}^n N_i$$
$$Dg_{Tot} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Dg_i^2 \times N_i}{N_{Tot}}}$$

där  $N_{Tot}$  och  $Dg_{Tot}$  är stamantal respektive grundytamedelstammens diameter för samtliga träd,  $i$  är index för trädslagklass,  $n$  är antalet trädslagklasser,  $Dg_i$  och  $N_i$  är grundytamedelstammens diameter och stamantal för trädslagklass  $i$ .

De olika trädslagets andel av grundyta beräknades enligt:

$$A_i = \frac{Dg_i^2 \times N_i}{Dg_{Tot}^2 \times N_{Tot}} \times 100$$

där  $i$  är index för trädslag,  $A$  är andel i procent av den totala grundytan för trädslag  $i$ ,  $Dg_i$  och  $N_i$  är grundytamedelstammens diameter respektive stamantal för trädslag  $i$ ,  $Dg_{Tot}$  och  $N_{Tot}$  är medeldiametern och stamantalet för samtliga träd. Uppgifter om beståndsålder och beståndsstorlek hämtades från markägarna.

I simuleringarna tillämpades följande priser för massaved; tall 350 kr/m<sup>3</sup>fub, gran 350 kr/m<sup>3</sup>fub, björk 370 kr/m<sup>3</sup>fub medan priset för vrak sattes till 0 kr/m<sup>3</sup>fub för alla trädslag. Vrak kan ersättas vid industrin till ett pris som normalt ligger långt under massavedspriset. Eftersom kvalitetsklassningen av törskateinfekterade stammar är oklart

ville vi testa ytterligheterna. Därför använde vi två scenarier där infekterat virke i det ena fallet vrakades för 0 kr/m<sup>3</sup>fub i ersättning medan virket klassades som massaved i det optimistiska scenariot och ersattes enligt prislistan för detta sortiment. Timmerpriset för icke-infekterad tall och gran sattes till 490 respektive 430 kr/m<sup>3</sup>fub. Samtliga lokaler antogs vara planterade med en förnygringskostnad på 8000 kr/hektar, där kostnad för markberedning ingår. Markberedningen och planteringen antogs vara gjord direkt efter att föregående bestånd avverkats. Røjning antogs vara utförd inom samtliga lokaler vid 15 års ålder till en kostnad av 4000 kr/hektar. Default-inställningarna i Heureka för drivningskostnader tillämpades; skördare och skotare i gallring 1000 respektive 700 kr/timme, skördare och skotare i slutavverkning 800 kr/timme.

Markvärdet beräknades enligt:

$$\text{Markvärde} = \left( \sum_{t=0}^u R_t \times (1+r)^{-t} \right) \times \frac{(1+r)^u}{(1+r)^u - 1}$$

där R är nettot från förnygring, røjning, gallring och slutavverkning;  $t$  är tid sedan föregående slutavverkning (år);  $u$  är omloppstid (år) och  $r$  är kalkylränta. Vid beräkningar av markvärdet användes kalkylräntan 2,5 procent.

#### *Simulerade scenarier*

I simuleringarna testades följande scenarier för hur törskateinfektion påverkar beståndsutvecklingen:

- *Ingen inverkan.* Beståndsutvecklingen påverkas ej av törskateinfektion. Ingen anpassning av skötseln i infekterade bestånd.
- *Allt gallras.* Samtliga törskateinfekterade träd finns med i uttaget vid förstagallringen. Ingen ytterligare infektion sker i beståndet efter förstagallring
- *Avgång 20 %.* Mellan simuleringsstart och slutavverkning dör 20 procent av de törskateinfekterade träden. Övriga träd avverkas vid slutavverkningen.
- *Avgång 60 %.* Mellan simuleringsstart och slutavverkning dör 60 procent av de törskateinfekterade träden. Övriga träd avverkas vid slutavverkningen.
- *Avgång 100 %.* Mellan simuleringsstart och slutavverkning dör 100 procent av de törskateinfekterade träden.
- *Avgång efter vitalitetsklass.* Avdöendet av törskateinfekterade träd följer den klassning av vitaliteten hos infekterade träd som gjordes vid inventeringstillfället. För vitalitetsklasserna 2–4 förlöpte avdöendet, räknat som år efter simuleringsstart, enligt följande: 2) avgång efter 15 år, 3) avgång efter tio år och 4) avgång efter fem år. Träd med vitalitetsklass 1 antogs överleva fram till slutavverkning.

Vid den ekonomiska utvärderingen av scenarierna tillämpades två olika alternativ för nedklassning av törskateinfekterat virke:

- *Nedklassning vrak.* Alla infekterade träd som avverkades vid gallring och slutavverkning vrakas och får inget virkesvärde. I de ekonomiska beräkningarna ingår kostnaden för avverkning av nedgraderat virke även om virket vrakas.
- *Nedklassning massaved.* Timmer från infekterad tall ersätts enligt priset för tallmassaved.

I scenariot "Ingen inverkan" tillämpades ingen nedklassning av virket. Infekterat virke ersattes på samma sätt som friskt virke.

### Skötselprogram

Baserat på Skogsstyrelsens gallringsmallar (Skogsstyrelsen 1985) bedömdes det föreligga ett stort gallringsbehov för samtliga lokaler vid inventeringstillfället. I Heureka gallrades därför samtliga lokaler direkt genom att simulera ett likformigt uttag på 40 procent av grundytan. Samtliga lokaler och scenarier gallrades enbart en gång under omloppstiden. Slutavverkningstidpunkten bestämdes genom att först simulera scenariot "Ingen inverkan". Den slutavverkningstidpunkt som maximerade markvärdet för detta scenario tillämpades sedan för alla scenarier inom samma lokal. Slutavverkningstidpunkten fick dock tidigast inträffa tio år efter lägsta slutavverkningstidpunkt enligt SVL.

### Simulering av avgång på grund av törskateinfektion

För törskateinfekterade tallar gjordes individuella mätningar av diameter och höjd vid inventeringen. Även vitaliteten klassades individuellt. Grundytemedelstammens diameter för infekterade träd beräknades enligt:

$$Dg_{TS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{TS}} DBD_i^2}{N_{TS}}}$$

där  $Dg_{TS}$  är grundytemedelstammens diameter för törskateinfekterade träd,  $i$  är index för träd,  $N_{TS}$  är antalet infekterade träd,  $DBH_i$  är brösthöjdsdiametern för träd  $i$ . Andelen törskateinfekterade tallar beräknades som  $A_{TS} = (Dg_{TS}^2 \times N_{TS}) / (Dg_{Tall}^2 \times N_{Tall})$ . Infekterade tallars dimension i förhållande till samtliga tallar beskrevs som  $Dkvot_{TS} = Dg_{TS} / Dg_{Tall}$ .

I Heureka simulerades avgång på grundtörskateinfektion i scenarierna "Avgång 20 %", "Avgång 60 %" och "Avgång 100 %" med en gallring. Gallringen utfördes vid tidpunkten mellan simuleringsstart och slutavverkning. Uttag gjordes enbart av tall och gallringen utfördes med en styrka som motsvarade 20, 60 och 100 procent av  $A_{TS}$  i de aktuella scenarierna. Gallringen utfördes som höggallring vid  $Dkvot_{TS} > 1,05$ , som låggallring vid  $Dkvot_{TS} < 0,95$  och som likformig gallring vid  $0,95 < Dkvot_{TS} < 1,05$ . I försöksled "Avgång efter vitalitetsklass" beräknades  $A_{TS}$  för respektive vitalitetsklass. Därefter simulerades tre gallringar: efter 5 år för vitalitetsklass 4, efter 10 år för vitalitetsklass 3, efter 15 år för vitalitetsklass 2 med ett uttag av tall som motsvarade  $A_{TS}$  för respektive vitalitetsklass.

Utöver den simulerade avgången på grund av törskate ingick kontinuerlig naturlig avgång enligt Heurekas avgångsfunktioner.

### Beräkning av resultat

Nuvärdet för samtliga scenarier och lokaler beräknades genom att diskontera intäkter och utgifter från simuleringsstart till slutavverkning till tidpunkter för simuleringsstart. Kalkylräntan 2,5 procent användes vid beräkningarna.

Volymens medeltillväxt under perioden från simuleringsstart beräknades enligt

$$PAI = \frac{(V_{Gallring} + V_{Slutavverkning} + \sum V_{Avgång}) - V_{Start}}{T}$$

Där  $V_{Start}$  är stående volym vid simuleringsstart,  $V_{Gallring}$  är utgallrad volym vid simuleringsstart,  $V_{Slutavverkning}$  är stående volym vid tidpunkten för slutavverkning,  $T$  är simuleringsperiodens längd i år.

Nuvärde och medeltillväxt beräknades för respektive lokal och som medeltal för alla lokaler.

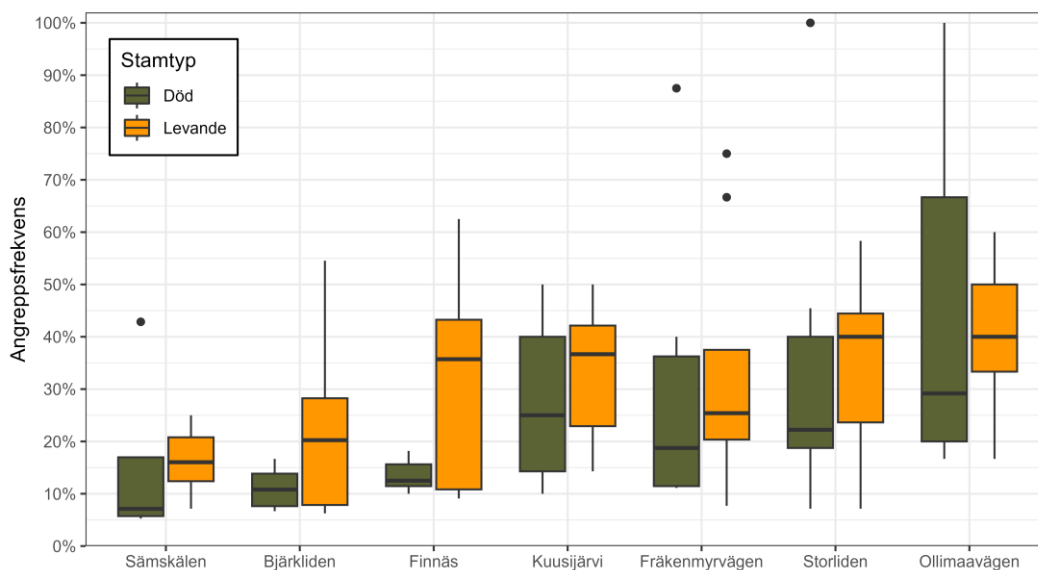
# Resultat

Totalt inventerades 84 cirkelprovytor i 7 olika bestånd där sammantaget 338 törskateinfekterade tallar identifierades, varav 187 av dessa var levande. Av de 338 törskateinfekterade stammarna var 254 huvudstammar och 85 bistammar (25 procent bistammar). Anmärkningsvärt var att endast 13 grensår registrerades.

## Angreppsfrekvenser

Vanligaste skadebilden var en huvudstam med ett enda omfattande stamsår, lågt ned på stammen och med påverkan på delar av kronan (nedsatt vitalitet, det vill säga svårt skadat).

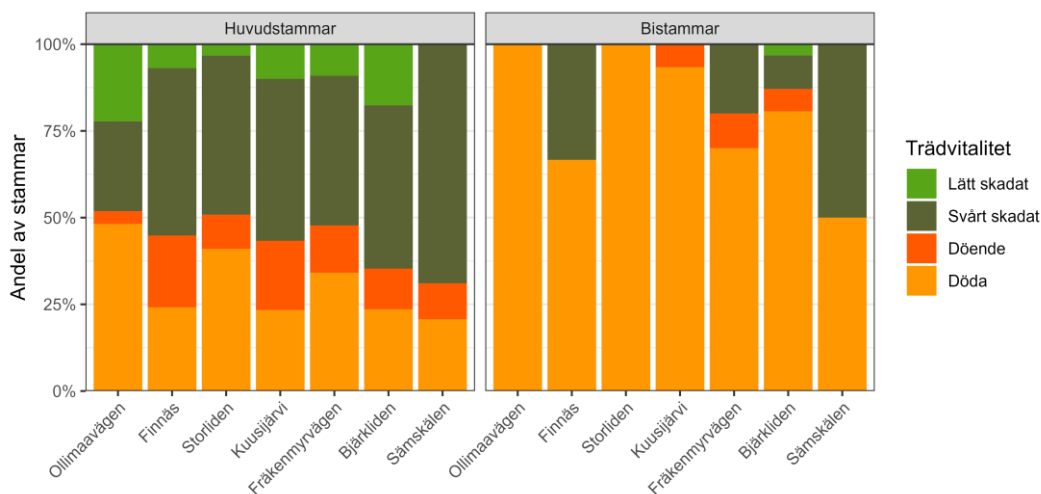
Genomsnittliga angreppsfrekvensen för levande huvudstammar (tall) i alla försöksområden var 30 procent, med 17 procent i standardavvikelse (hädanefter  $\text{medel} \pm \text{SD}$ ). Försökslokalen med högst angreppsfrekvens var Ollimaavägen med  $40 \pm 13$  procent medan den lägsta angreppsfrekvensen återfanns i Sämskålen med  $17 \pm 6$  procent (Figur 4). Dessa angreppsfrekvenser är beräknade baserade på antal stammar, det vill säga antalet angripna huvudstammar delat på det totala antalet huvudstammar i cirkelprovytan (i jämförelse med angreppsfrekvenser i Heureka-modelleringen som är baserade på grundyta). Nästan alla bistammar hade minst ett angrepp, dock är antalet inventerade träd lågt och variationen hög.



**Figur 4.** Angreppsfrekvens av törskate på tall (huvudstammar) uppdelat mellan döda och levande stammar över de olika försökslokalerna. Angreppsfrekvensen reflekterar antalet angripna träd delat med totala antalet stammar (inklusive angripna) i en cirkelprovyta. Ett låddiagram (eng. "boxplot") är uppbyggt av fem värden: median, första och tredje kvartilen, samt minimum och maximum. Extremvärden (eng. "outliers") visas som svarta punkter i figuren.

## Vitalitet och stamantal

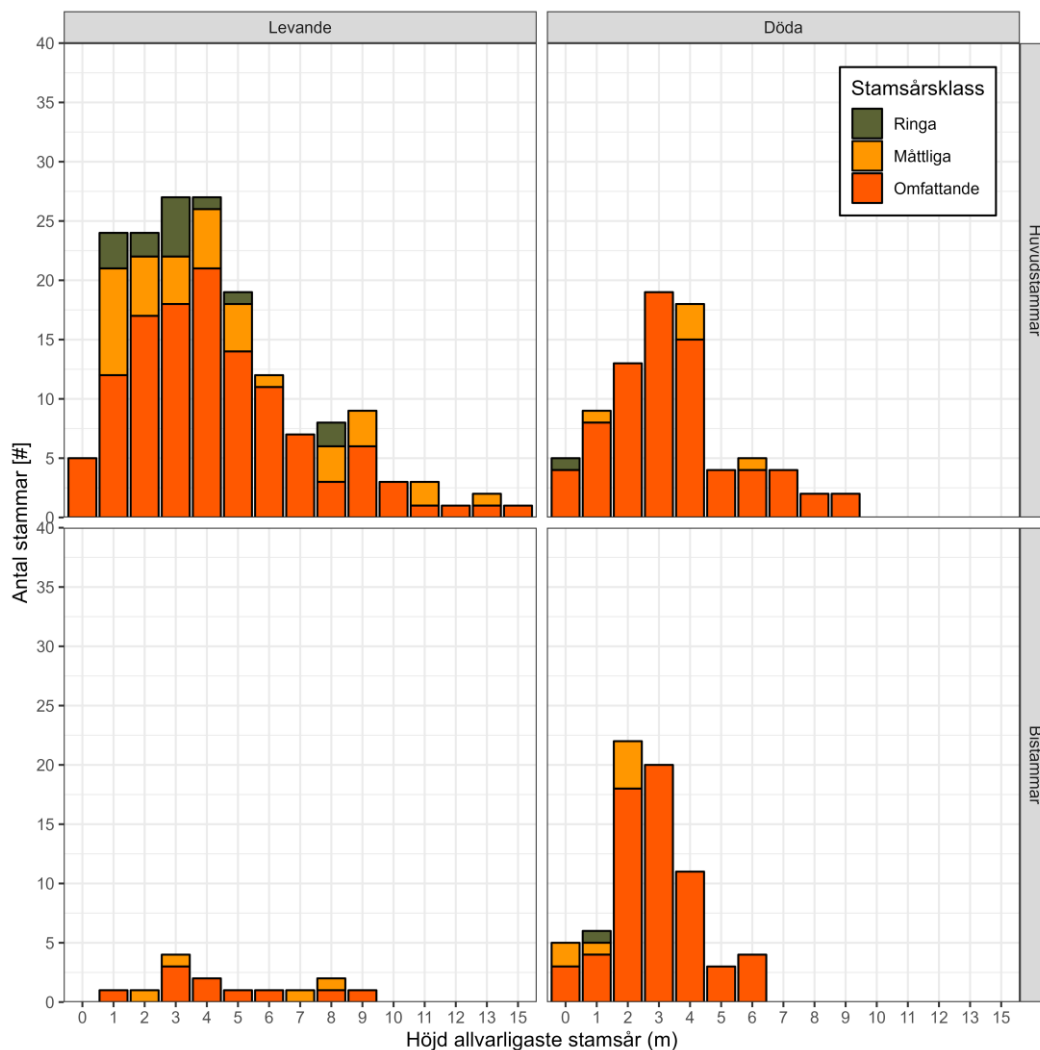
Majoriteten av de inventerade stammarna med törskate var svårt skadade (68 procent), där stammen hade minst ett större stamsår och där kronan var synligt påverkad (Figur 5). Denna trend ser ut att vara samma i alla försöksområden, trots stor variation i angreppsfrekvenser.



**Figur 5.** Trädvitalitet hos stammar med törskate i fyra olika klasser, från lätt skadat till döda. Uppdelat på huvud- och bistammar. Se metodavsnitt för detaljbeskrivning av vitalitetsklasserna.

Stamsårens position är i regel lågt ned på stammen med drygt hälften av stamsårens höjd under 4 meter eller 80 procent under 6 meter. Den stora majoriteten (80 procent) av stamsåren klassades som omfattande (Figur 6). Om vi tittar på stamsårens position i förhållande till trädets höjd finns en spridning från topp till botten på trädet, men i genomsnitt sitter såren på de levande träden ca en tredjedel upp längs stammen (Bilaga 1, Figur B1).

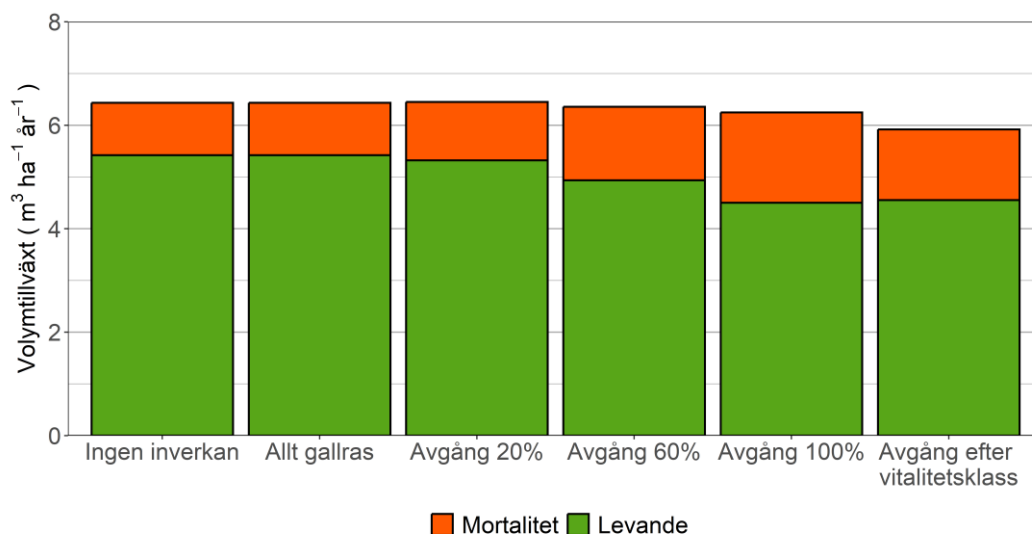




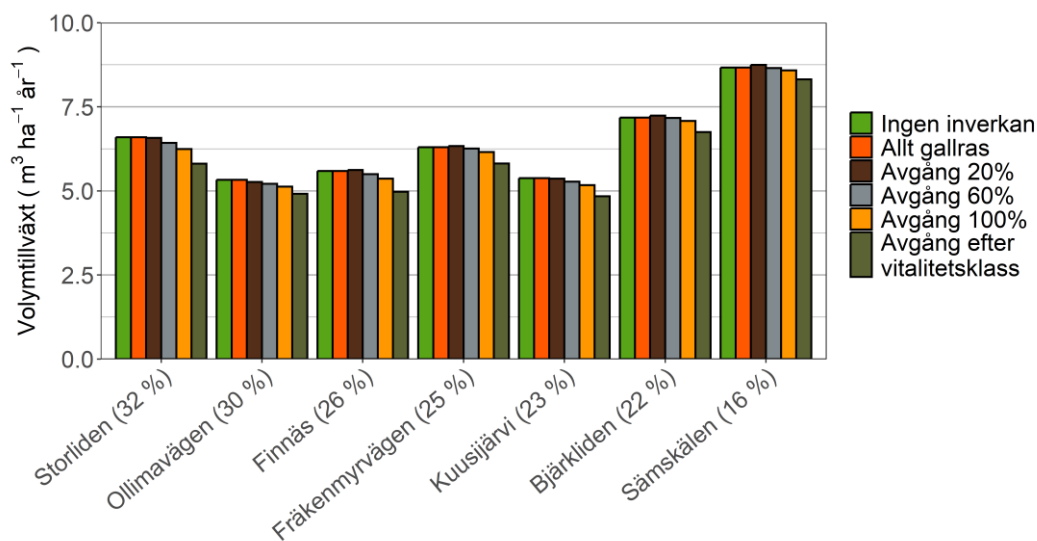
**Figur 6.** Höjd på stamsår från marken samt stamsårsklass uppdelat mellan levande och döda träd samt huvud- och bistammar. När en stam hade flera stamsår noterades enbart höjd och stamsårsklass på det allvarligaste stamsåret. Definition av stamsårsklasserna återfinns i Metoddelen, Tabell 3.

## Ekonomisk modellering

Scenariot "Avgång efter vitalitetsklass" hade i medeltal 8 procent lägre medeltillväxt under den simulerade perioden från inventering till slutavverkning än "Ingen inverkan" (Figur 7 och 8). För övriga scenarier låg den totala tillväxten på samma nivå som "Ingen inverkan". Tillväxten av levande volym som tillgodogjordes vid gallring och slutavverkning avtog med tilltagande avgång av törskateinfekterade träd. Andelen levande volym var lägst i "Avgång 100 %" och "Avgång efter vitalitetsklass", 18 respektive 17 % lägre än i "Ingen inverkan".

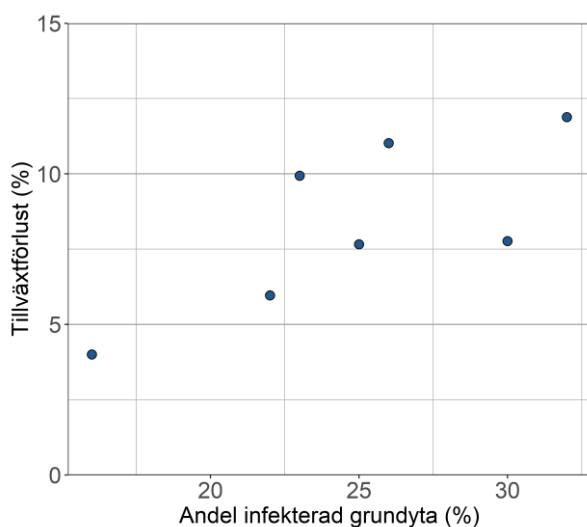


**Figur 7.** Volymens medeltillväxt under den simulerade perioden beräknat som medeltal för alla lokaler. Scenarierna var: "Ingen inverkan" där inga infekterade träd dog och infektioner inte påverkade det ekonomiska utbytet, "Allt gallras" där alla infekterade träd antogs gallras bort vid förstagallringen samt alternativ där 20, 60 och 100 % av kvarvarande infekterade träd efter gallring antogs dö mellan simuleringens start och slutavverkning ("Avgång 20 %", "Avgång 60 %" resp. "Avgång 100 %") och "Avgång efter vitalitetsklass" där infekterade träd dör 5, 10, 15 år eller överlever till slutavverkning, beroende på vitalitetsklass.



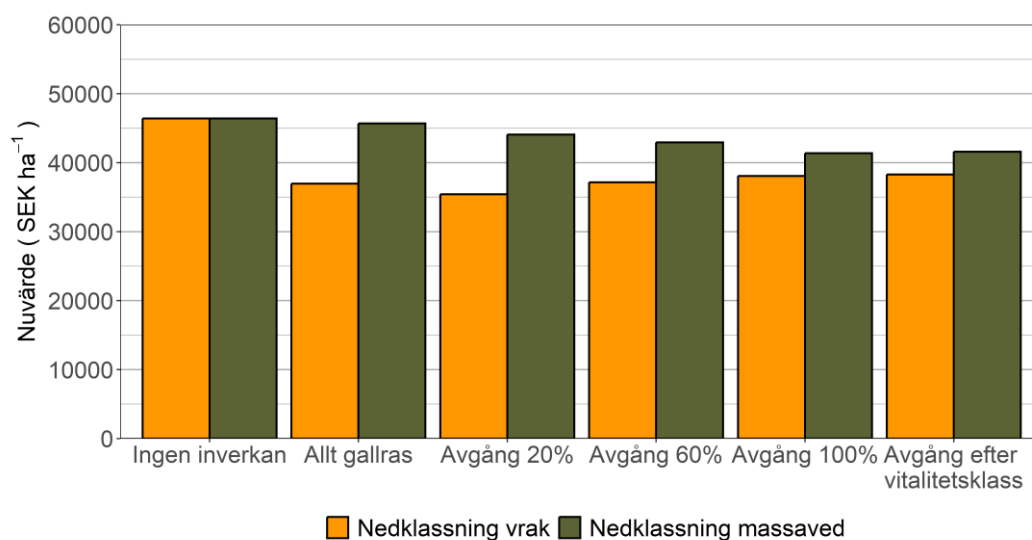
**Figur 8.** Volymens medeltillväxt under den simulerade perioden för olika lokaler och scenarier. Siffran inom parentes efter lokalens namn anger andelen av tallens grundyta som består av törskateinfekterade träd vid simuleringens start. Scenarier enligt Figur 7.

Det fanns en tendens till lägre total tillväxt vid ökad andel törskateinfekterad grundyta i utgångsläget (Figur 9). Andelen infekterad grundyta för levande huvudstammar i utgångsläget varierade från 16 till 32 procent. Tillväxtförlusten för scenario "Avgång efter vitalitetsklass" i förhållande till "Ingen inverkan" varierade från 4 till 12 procent.



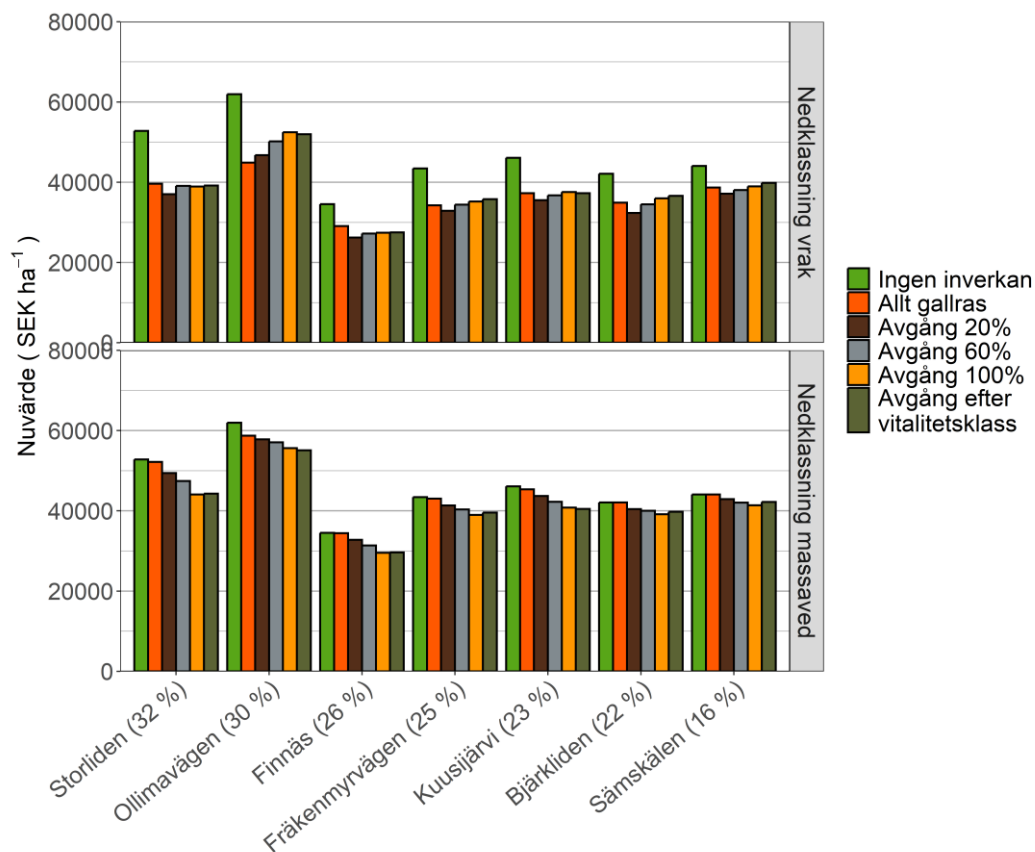
**Figur 9.** Förlust i total volymtillväxt i förhållande till törskateinfekterad grundyta hos levande huvudstammar vid inventeringen. Tillväxtsförlusten anges som procentuellt lägre tillväxt i "Avgång efter vitalitetsklass" jämfört med "Ingen inverkan". Varje punkt representerar en lokal.

I de ekonomiska beräkningarna testades två alternativ för nedklassning av törskateinfekterat virke: nedklassning till vrak eller till tallmassaved. Nuvärdet för alla intäkter och kostnader under den simulerade perioden diskonterades till tidpunkten för simuleringsstart. Vid nedklassning till massaved minskade nuvärdet med ökande andel avgång till följd av törskateinfektion (Figur 10 och 11). Beräknat som medeltal för alla lokaler var nuvärdet i scenariot "Avgång 100 %" 11 procent lägre än i "Ingen inverkan". Nuvärdet i "Avgång efter vitalitetsklass" låg på samma nivå som "Avgång 100 %". Nedklassning till vrak resulterade i störst reduktion av nuvärdet vid tidigt uttag av allt infekterat virke i "Avgång 20 %", 24 procent lägre än i "Ingen inverkan". Effekterna av nedklassning till vrak minskade då en större andel av de infekterade träden dog innan slutavverkning (Figur 10).



**Figur 10.** Nuvärdet vid simuleringsstart för alla intäkter och kostnader under den simulerade perioden beräknat som medeltal för alla lokaler. Två alternativ för nedklassning av virket från törskateinfekterade tallar har tillämpats: "nedklassning vrak" där virket saknar ekonomiskt värde

samt "nedklassning massaved" där virket betalas enligt prislista för barrmassaved. I scenariot "Ingen inverkan" antogs infekterade träd betalas som icke infekterade träd. Kalkylränta 2,5 procent har använts vid beräkningarna. Scenarier enligt Figur 7.



**Figur 11.** Nuvärde vid simuleringsstart för alla intäkter och kostnader under den simulerade perioden för olika lokaler och scenarier. Två alternativ för nedklassning av virket från törskateinfekterade tallar har tillämpats: "nedklassning vrak" där virket saknar ekonomiskt värde samt "nedklassning massaved" där virket betalas enligt prislista för barrmassaved. Kalkylränta 2,5 procent har använts vid beräkningarna. Siffran inom parentes efter lokalens namn anger andelen törskateinfekterade tallar (baserad på grundytan). Scenarier enligt Figur 7.

## Diskussion

Den genomsnittliga totala angreppsfrekvensen (levande + döda stammar) i de undersökta gallringsbestånden var hög – i genomsnitt  $43 \pm 31$  procent, med enskilda försöksområden uppemot  $64 \pm 31$  procent. Detta är betydligt högre än vad som tidigare har rapporterats från inventeringar i törskateangripna äldre skogar i Sverige och Finland (Rennerfelt 1943, Kaitera m.fl. 1994, Kaitera m.fl. 2000). De höga angreppsnivåerna förklaras av att särskilt hårt angripna bestånd valts ut i studien och utgör därför något av ett “worst case” scenario. Värt att notera är också att lokalen med högst angreppsfrekvenser (Ollimaavägen) hade lägst stamtäthet av tall, stor lövinblandning och högst ålder av alla inventerade bestånd (Tabell 1).

Vidare fann vi att stamskadorna dominerade stort över grensår och majoriteten av de inventerade stammarna med törskate (68 procent) hade minst ett större stamsår som omslöt majoriteten av stammens omkrets, lokaliserat långt ner på stammen, och med synligt påverkad krona. Det låga antalet registrerade grensår tillsammans med det höga antalet långt gångna stamskador, ofta på låga positioner på stammarna, indikerar att majoriteten av infektionerna skett när beståndet var relativt ungt (när levande grenar fanns på denna höjd) och att spridningsförloppet i dagsläget verkar vara avstannande. Denna hypotes stöds också av det höga antalet törskatedödade huvud- och bistammar och det låga antalet levande bistammar i bestånden. En eventuell avstannande smittspridning kan härledas till flertalet faktorer, exempelvis en minskad förekomst av kovall (och därmed minskad sporspridning för den värdväxlande varianten av törskate) som en effekt av att beståndet med åldern sluter sig och fältskiktet beskuggas, ett minskat sportryck (risk att infekteras) på högre höjd uppe i grenverken eller på särskilt gynnsamma väderförutsättningar för sporspridning och infektion tidigt i beståndens omloppstid, alternativt en kombination av flera av dessa faktorer. Det låga antalet registrerade grensår i studien kan emellertid också vara ett resultat av svårigheter att identifiera samtliga högt sittande grensår vid inventeringen. Tyvärr kunde inte kovallförekomsten bedömas vid inventeringstillfället (fel tidpunkt på året) men tidigare inventeringar inom samma försökslokaler (opublicerade data från Skogforsk) har visat på ett positivt samband mellan hög kovallförekomst och höga skadenivåer. Mönstret med en majoritet av låga, långt gångna, det vill säga omfattande stamskador och få grensår var densamma för alla inventerade bestånd i de olika geografierna i denna undersökning.

Trots att den genomsnittliga angreppsfrekvensen (exklusive döda stammar) för alla försöksområden var mycket hög i de inventerade bestånden (43 procent av stamantalet) blev både de volymmässiga och ekonomiska effekterna av skadorna i denna studie relativt måttliga (11–24 procent minskat nuvärde per ha vid tidpunkten för inventeringen). Syftet med de olika scenarierna i detta projekt var att fånga in en bredd av möjliga tillväxtsättningar och/eller avdöendetak på de angripna träden. De angripna träden ser inte ut att ha en tydligt mindre diameter eller höjd jämfört med referensallarna (Bilaga 1, Figur B2). Vi ser varierande nivåer av reducerat nuvärde mellan de olika scenarierna där även kvalitetsaspekten (vrak eller massaved) spelar stor roll (Figur 10). Lägst nuvärde hittar vi där all skadad ved värderas som vrak och i scenarierna “Allt gallras” och “Avgång 20 %”, det vill säga att alla angripna träd identifieras och gallras bort respektive en stor andel av de infekterade träden står kvar till slutavverkning. När vi tittar på enskilda försöksområden skiljer sig magnituden av volymtillväxt (Figur 8) och nuvärdesminskning (Figur 11) vilket delvis ser ut att följa angreppsfrekvenserna men även stamtätheterna (Tabell 1). Scenariot “Allt gallras” som kan liknas vid en saneringsåtgärd ser ut att ge minst ekonomisk påverkan vid antagandet att uttaget har massavedskvalitet.



Hur realistiskt detta scenario är går att diskutera eftersom identifiering av samtliga stammar innan gallring är svårt och tidskrävande samt att kvalitetnedsättningen på de angripna stammarna är oklar. Heureka tar ingen hänsyn till trädens rumsliga fördelning. Effekten av större luckor som kan uppstå vid saneringshuggning är därför inte möjligt att simulera. Baserat på utförda saneringsgallringar i dessa försöksområden är det tydligt att även om en viss andel av de angripna träden gallras bort är det långt ifrån alla som identifieras. (opublicerade data från Skogforsk).

Vid dessa typer av simuleringar krävs en rad antaganden som påverkar resultaten i större eller mindre utsträckning. Exempelvis valdes den bästa ekonomiska tidpunkten för avverkning i modellen (per försökslokal) utifrån "Ingen påverkan"-scenariot och sedan nyttjades samma tidpunkt för samtliga scenarier. Detta gjordes för att förenkla tolkningen av resultatet. En annorlunda optimal avverkningstidpunkt kanske hade gått att fastställa för de andra scenarierna. Utifrån samma förutsättning, det vill säga att avverkningstillfället var samma för samtliga scenarier inom försökslokalen, valdes också nuvärde som mått på ekonomiska konsekvenser av angreppsfrekvenser och handlingsalternativ.

Det ingick ingen nyrekrytering av skador i simuleringen och detta kan ha lett till en underskattning av de ekonomiska förlusterna. För de bestånd som ingått i denna studie är emellertid antalet nya angrepp (grensår) mycket lågt i förhållande till stamskadorna, något som styrker antagandet att inte modellera för nya infektioner.

Även beståndets ursprungliga sammansättning och stamtäthet innan gallringen har en stor betydelse för det ekonomiska utfallet. Bestånd med låg stamtäthet verkar vara känsligare för höga angreppsfrekvenser och samtidigt ha större negativ ekonomisk påverkan. Försöksområdet Ollimaavägen med lägst stamtantal (400 st/ha i snitt) och högst angreppsfrekvens (40 procent av stamantalet) kan exempelvis jämföras med Sämskälén (1367 st/ha i snitt, 17 procent angreppsfrekvens), och dess relativa minskning i nuvärde (Figur 11). Det ekonomiska utfallet är också starkt kopplat till vilken nedklassning av det skadade virket som görs. Skillnaderna mellan vrak och massaved är betydande för alla undersökta scenarier utom "ingen inverkan". Den ekonomiska förlusten i "Allt gallras" inträffade år 0 i nuvärdesberäkningarna och fick därmed stor effekt. Även i "Avgång 20 %" var effekterna stora eftersom en stor andel infekterade träd finns kvar fram till slutavverkningen. En annan bidragande orsak till ett positivt samband mellan högre avgång och nuvärdet i alternativet "vrak" var troligtvis den gallringseffekt som avgången bidrog till. Tillväxtförlusten som mortaliteten medför kompenseras av en högre tillväxt hos kvarvarande träd i simuleringen. Sannolikt ligger den verkliga nedklassningen mellan vrak och massaved då stamskadorna oftast sitter relativt lågt på träden och därför bara påverkar rotstocken (se angreppshöjder, Figur 6). En annan aspekt är att vi inte har räknat med redan nedlagda kostnader i beståndet innan inventeringstillfället eftersom beståndet har samma förutsättningar. Så dessa resultat och vilka möjliga framtida åtgärder som bör tas för enskilda bestånd kan med andra ord skilja sig avsevärt beroende på historiken och tidigare omkostnader.

En rad antaganden behövde även göras under själva datainsamlingen av praktiska skäl, såsom att höjden och diametern endast mättes på ett referensträd per cirkelprovyta och förväntas representera hela beståndet. Referensträdens diameter antogs motsvara grundytamedelstammens diameter och användes tillsammans med stamantalet för att generera bestånden i Heureka. Antagande gick ej att testa men en styrka i simuleringarna var att alla scenarier utgick från identiska utgångslägen. Dessutom låg fokus i rapporten på de relativa skillnaderna mellan olika scenarier. Att beräkna grundyta på beståndsnivå, baserat på referensträdens diameter samt stamtantal bedöms som rimligt utifrån lokala

förutsättningar. Utöver tidsbesparande beslut vid inventeringstillfället hade vi heller inte möjlighet att utföra inventeringen under tidig sommar då sporuleringen av törskate sker, utan datainsamlingen gjordes under hösten utanför sporulerande säsong vilket kan ha lett till att en andel av skadorna missades. En annan aspekt med identifiering av törskate i äldre skog är att skador högre upp på träd blir svårare att identifiera och bedöma även med kikare. Angreppsfrekvenserna kan alltså vara en underskattning av reella nivåer. Från tidigare liknande studier vet vi att det krävs erfaren och kunnig fältpersonal för att korrekt identifiera törskate, speciellt på äldre stammar och utanför sporulerande säsong.

## Slutsatser och sammanfattning

Denna studie visar ett exempel på vilka ekonomiska effekter särskilt omfattande törskateangrepp i gallringsskogar kan innebära för en enskild skogsägare. Trots att mycket höga angreppsnivåer registrerades på de levande tallhuvudstammarna var de ekonomiska effekterna mindre än vad vi förväntat oss. Något som kan ha underskattat de ekonomiska effekterna är att ingen nyrekrytering av skador tagits med i modellen. För de bestånd som ingått i denna studie är emellertid antalet nya angrepp (grensår) mycket lågt i förhållande till stamsår, vilket gör detta antagande rimligt. Eftersom inventering är utförd i gallringsskog tar modellerna heller inte hänsyn till historiska förluster i bestånden.

Sammantaget indikerar resultaten från studien att en förtida avverkning av hårt törskateangripna bestånd troligen inte är ekonomiskt försvarbar. Dock gör resultaten inga anspråk att spegla någon generell bild av törskateangreppens ekonomiska betydelse för skogsmark i allmänhet och ska inte ses som någon allmän rekommendation. Detta beror på att en rad antaganden har behövts göras vid inventering och modellering samt att enskilda bestånds historik, sammansättning och inte minst stamantal måste tas med i beräkningen för vilka åtgärder som är lämpligast. Studien tar inte heller hänsyn till vilken effekt till exempel sanering av angripna träd har på spridningen av törskate till omgivande träd.

Vidare indikerar resultaten för samtliga inventerade bestånd en kraftig infektionsvåg relativt tidigt i ungskogsfasen som senare klingar av, vilket syns på den kraftiga överrepresentationen av stamsår på låga höjder och den låga förekomsten av grensår. Detta projekt är ett av många med syfte att förbättra kunskapsläget kring de långsiktiga effekterna av törskateangripna bestånd genom hela dess omloppstid och undersöka vilken skötselstrategi som är mest effektiv.

## Tack

Vill vi rikta ett stort tack till fältteknikerna Mikael Westerlund och Manne Stenström för deras insats med att samla in data till denna studie samt till markägarna Sveaskog och Holmen för att vi fått nyttja deras bestånd. Specifikt tack till Torbjörn Åman på Holmen skog för hjälpen med att identifiera nya bestånd med höga angreppsfrekvenser så att vi kunde komplettera demoförsökens ytor med ytterligare två försökslokaler i Västerbotten. Slutligen tack till Skogsstyrelsen för finansieringen av detta projekt.

# Referenser

- Geron, C. & Hafley, W. 1988. Impact of fusiform rust on product yields of loblolly pine plantations. *South. J. Appl. For.* 12(4): 226–231. doi:10.1093/sjaf/12.4.226.
- 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.
- Holmen Skog. 2020. Ungskogsinventering Holmen Västerbotten. Ansvarig: Peter Christoffersson.
- Hunt, R.S. 1991. Operational control of white pine blister rust by removal of lower branches. *The Forestry Chronicle* vol 67, No 3.
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1994. Handledning i Bonitering med skogshögskolans boniteringssystem. Del 3 Markvegetationstyper-Skogsmarkflora. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Kaitera, J., Aalto, T. & Jalkanen, R. 1994. Effect of resin - top disease caused by *Peridermium pini* on the volume and value of *Pinus sylvestris* saw timber and pulpwood, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9:1-4, 376–381, DOI: [10.1080/02827589409382854](https://doi.org/10.1080/02827589409382854).
- Kaitera, J. & Hantula, J. 1998. *Melampyrum sylvaticum*, a new alternate host for pine stem rust *Cronartium flaccidum* 1028–1030.
- Kaitera, J. 1999. *Cronartium flaccidum* fruitbody production on *Melampyrum* spp. and some important alternate hosts to pine. *Eur. J. For. Path.* 29: 391–398.
- Kaitera, J. 2000. Analysis of *Cronartium flaccidum* lesion development on pole-stage Scots pines. – *Silva Fennica*, 34(1), 21–27.
- Kaitera, J. 2002. Short-term Effect of Thinning on *Pinus sylvestris* Damage and Sporulation Causes by *Cronartium flaccidum*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 158–165.
- 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.
- Kårén, O., Martell, A. & Forsberg, E. 2020. Skadeinventeringar av SCA:s tallungskogar 2020. Rapport 1.
- Liro JI. 1906. Kulturversuche mit Finnischen Rostpilzen. II. *Acta Societatis. Pro Fauna et Flora Fennica*. 29:1–58.
- Rennerfelt, E. 1943. Om vår nuvarande kunskap om törskatesvampen (*Peridermium pini*) och sättet för dess spridning och tillväxt. – *Sveriges Skogsvårdsföreningens Tidskrift*, 41, 305–324.
- 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* 153–171.

Sattler, D.F., Goudie, J.W., Riech, R.W. 2019. A module to simulate the impact of western gall rust (*Cronartium harknessii*) on merchantable volume and lumber yields for lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in British Columbia.

Skogsstyrelsen (1985). Gallringsmallar – Norra Sverige. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping.

SLU 2008. Fältinstruktion inom RIS. Institutionen för Skoglig resurshushållning, SLU Umeå. Återfinns på: [Fältinstruktioner \(slu.se\)](http://fältinstruktioner.slu.se).

Sveaskogs ungskogsinventering, MO Nord. 2019.

Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. (2011). The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences* 3 (2): 87–94.

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

Zeglen, S., Pronos, J. & Merler, H. 2010. Silvicultural management of white pines in western North America. *Forest Pathology* 40, 347–368.

# Bilaga 1

## Protokoll

Protokollutförande på trädnivå - levande tallstammar med törskate:

▸ Försöksteinformation

▸ Fältskikt och kovallförekomst

▸ Markförhållanden

▸ Höjd, diameter & antal LEVANDE huvud- & bistammar per trädslag inom provytan

▼ Registrera törskate eller misstänkt törskateangripna LEVANDE tallar på individuell trädnivå

**Stamtyp \***

Huvudstam  Bistam

**Trädhöjd (m) \***

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  
 17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30

**Träddiameter (cm) \***

0  2  4  8  10  12  14  16  18  20  22  24  26  28  30  32  34  
 36  38  40

**Törskate \***

Törskate  Misstänkt törskate

**Antal stamsår törskate? \***

0  1  2  3  4  5  6  7  8

**Varav sporulerande?**

0  1  2  3  4  5  6  7  8

**Stamsårklass \***



Ringa (en mindre skada, 0-20% runt stammen)  
 Måttliga (en större skada, 20-50% runt stammen)  
 Omfattande (flera skador eller en stor 50-100% runt stammen)

Registrera ETT stamsår med törskate på trädet (om flera ta det allvarligaste angreppet)

**Skadans höjd (meter ovan mark)**

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  
 17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30

Ta en bild på stamsåret



**Antal grenangrepp törskate? \***

0  1  2  3  4  5  6  7  8

Varav sporulerande?

0  1  2  3  4  5  6  7  8

Registrera ETT grenangrepp med törskate på trädet (om flera ta det allvarligaste angreppet)

Grenens vitalitet?

Levande  Delvis död  Död

Skadans höjd (meter ovan mark)

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  
 17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30

Ange avståndet från grenskadan till stammen (cm)

0-5  6-10  11-20  21-30  31-40  41-50  51-60  60+

**Trädvitalitet \***

Obetydligt skadat (ett/enstaka tidigt grenangrepp)

Lätt skadat (grenangrepp som närmar sig stammen eller enstaka stamsår som ej påvekat kronan)

Allvarligt skadat (omfattande stamskada/skador med påverkan på iaf delar av kronan)

Mycket allvarligt skadat eller döende (omfattande stamskada/skador med tydlig påverkan på stora delar av kronan)

**Stamdefekter \***

Sprötkvist

Död topp

Stamdeformation

Dubbeltopp (två likstora stammar)

Annat / Ingen stamdefekt

Övriga kommentarer

*Protokollutförande på trädnivå - döda tallstammar med törskate:*

▼ Registrera törskate eller misstänkt törskateangripna DÖDA tallar på individuell trädnivå

**Stamtyp \***

Liggande huvudstam     Liggande bistam     Stående huvudstam     Stående bistam

**Trädlängd (m) \***

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  
 17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30

**Träddiameter (cm) \***

0  2  4  8  10  12  14  16  18  20  22  24  26  28  30  32  34  
 36  38  40

**Finns Törskate? \***

Törskate     Misstänkt törskate

**Antal stamsår törskate? \***

0  1  2  3  4  5  6  7  8

**Stamsårsklass**



Ringa (en mindre skada, 0-20% runt stammen)  
 Måttliga (en större skada, 20-50% runt stammen)  
 Omfattande (flera skador eller en stor 50-100% runt stammen)

Registrera ETT stamsår med törskate på trädet (om flera ta det allvarligaste angreppet)

**Skadans höjd (meter ovan mark/nedifrån och upp)**

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  
 17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30

Ta en bild på stamsåret

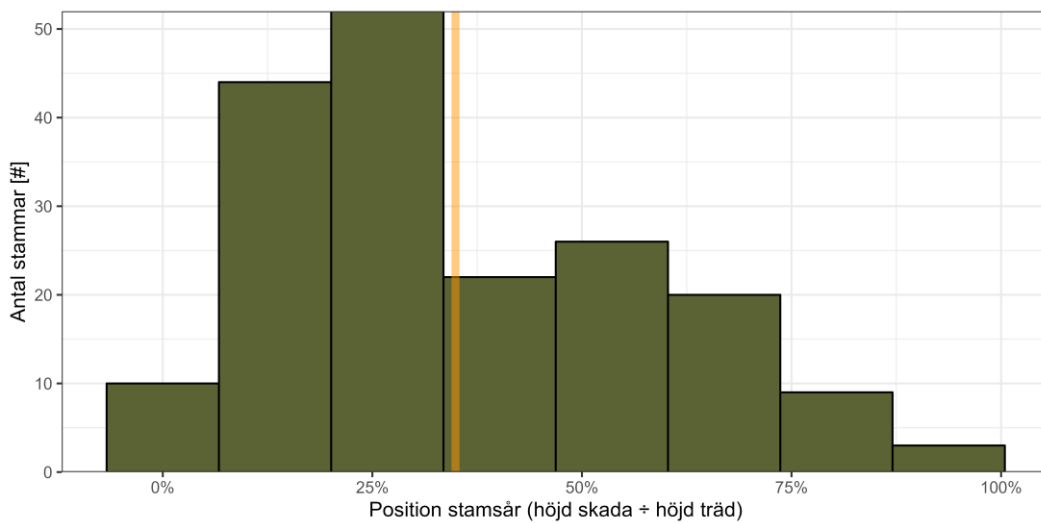
 

**Stamdefekter**

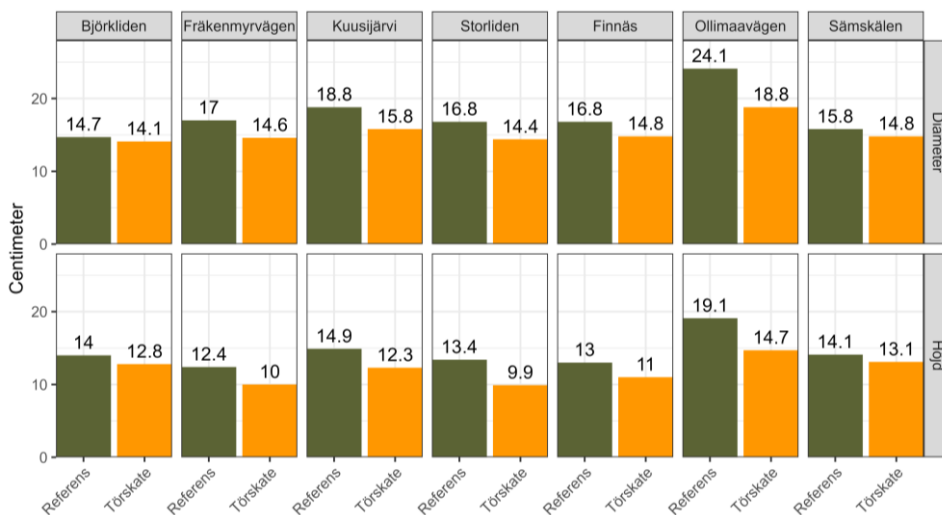
Sprötkvist  
 Dubbeltopp  
 Annat / Ingen stamdefekt

Övriga kommentarer

## Övriga figurer och tabeller



**Figur B1.** Stamsårens relativa position i förhållande till trädets höjd. Huvdstammar och bistammar av tall är inkluderade i figuren.



**Figur B2.** Storleksjämförelse mellan referenstallens diameter och höjd (grön) med alla inmätta huvdstammar med törskates medelvärde i diameter och höjd (orange) i de olika försökslokalerna. Eftersom inte alla levande tallars höjd och diameter inventerades i cirkelprovytorna behövde vi anta i modelleringen att referenstallen representerade alla huvdstammar i cirkelprovytan. Vi ville därför se hur referenstallen representerar resterande inmätta träd, även om dessa är skadade och kan vara mindre på grund av detta.