



RAPPORT SKOG

Skyddade områden och granbarkborre - en kunskapssammanställning med fokus på biologi, spridning av angrepp och bekämpning

Författare: Martin Schroeder Inst. för ekologi, Sveriges lantbruksuniversitet. Nr 3 | 2023

Rapport Skog 2023:3

Författare: Martin Schroeder

Vid citering uppge: Schroeder, M. 2023. Skyddade områden och granbarkborre - en kunskapssammansättning med fokus på biologi, spridning av angrepp och bekämpning
Rapport Skog 2023:3. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
45 sidor.

Utgivningsår: 2023, Umeå.

Utgivare: Institutionen för ekologi, Sveriges lantbruksuniversitet.

Ansvarig utgivare: Göran Ericsson, dekan, Fakulteten för skogsvetenskap, SLU.

Textredigering: Ylva Melin, SLU.

Layout: Grafisk service, SLU.

Grafisk form: Michael Kwick, SLU.

Omslagsfoto: Granbarkborredödade granar i naturreservatet Fiby Urskog i Uppland, mars 2020.

Foto: Martin Schroeder.

ISBN: 978-91-8046-894-7 (elektronisk)

Förord

Denna kunskapssammanställning är utförd på uppdrag av Naturvårdsverket som ett underlag för ett regeringsuppdrag om hur granbarkborren skall hanteras i skyddade områden. I rapporten ges en uppdaterad bild av kunskapsläget när det gäller granbarkborrens roll i skogsekosystemet, granbarkborrens biologi och populationsdynamik, var risken för angrepp är störst, vilka möjligheter som finns att fastställa sannolika orsakssamband mellan angrepp i skyddade områden och i angränsande brukad skog, och vilka bekämpningsmetoder som finns att tillgå samt deras effektivitet. Tack till Mats Jonsell och Simon Kärvemo (SLU) som granskade den slutgiltiga versionen av rapporten. Jan Weslien (Skogforsk), Anna Uhr, Tove von Euler, Erik Hellberg Meschaks och Jenny Lindman Komstedt (Naturvårdsverket), och Gunnar Isacson och Johanna Ehlin (Skogsstyrelsen) kommenterade tidigare versioner av rapporten. Studien finansierades av Naturvårdsverket som underlag till regeringsuppdraget Uppdrag om bekämpning och ersättning vid angrepp av granbarkborrar (NV-06770-22).

Martin Schroeder
Institutionen för ekologi, SLU.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	8
1. Bakgrund	10
2. Granbarkborrens roll i skogsekosystemet	11
3. Granbarkborrens biologi	12
3.1 Övervintring	13
3.2 Huvudsvärmning och syskonkullsvärmningar	13
3.3 Utvecklingstid och nya generationen	13
3.4 Spridning	14
3.5 Lokalisering av förökningsmaterial	15
3.6 Angrepp	15
3.7 Hur grupper av dödade träd uppkommer – angrepp på närstående träd	16
4. Var är risken störst för att granbarkborren skall angripa stående träd	17
4.1 Vindfällda träd	17
4.2 Fjolårsangripna vindfällda och stående träd	17
4.3 Beståndstyp och ståndort	18
4.4 Sammanfattning	19
5. Granbarkborrens populationsdynamik - varför startar utbrott?	20
6. Möjligheter att fastställa orsakssamband mellan angrepp i skyddade områden och i angränsande brukad skog	22
6.1 Mekanismer för spridning av angrepp	22
6.2 Tidshorisont vid bedömning av orsakssamband	24
6.3 Typfall A – En grupp av angripna träd expanderar ut i den brukade skogen från ett skyddat område	24
6.4 Typfall B – En ny grupp av angripna träd uppkommer i den brukade skogen i närheten av ett skyddat område med spridningskällor	24
6.5 Vilken dokumentation krävs för att orsakssamband mellan spridningskällor och nya angrepp skall kunna utredas	26
6.6 Sammanfattning	26
7. Åtgärder för att minska risken för angrepp av granbarkborren	28
7.1 Fällor betade med granbarkborrens feromon	28
7.1.1 Försök att med fällor minska antalet barkborrar som sprider sig från en stor spridningskälla	29
7.1.2 Försök att med fällor minska risken för angrepp i angränsande bestånd	29
7.2 Fångstvirke betat med granbarkborrens feromon	30
7.3 Uttransport eller barkning av vindfällda granar	30
7.3.1 Få vindfällda granar	31
7.3.2 Många vindfällda granar	31

7.4 Uttransport eller barkning av angripna stående träd	33
7.4.1 Reduktion av barkborrar	33
7.4.2 Sannolikheten för fortsatta angrepp på platser där angripna träd avverkats	34
7.5 Åtgärder i en yttre zon i skyddade områden	35
7.6 Lokalisering av angripna stående träd	35
7.7 Sammanfattning	35
8. Kunskapsluckor gällande granbarkborre och skyddade områden	37
9. Referenser	38
Bilagor	43
Bilaga 1.	43
Bilaga 2.	43

Sammanfattning

Granbarkborren (*Ips typographus*) är en inhemsk skalbaggsart i Sverige och den viktigaste skadegöraren på granskog i Europa. Under utbrott dödar den miljontals granar och angreppen har ökat under de senaste decennierna. Även skyddade områden kan angripas vilket kan leda till: (1) hot mot skyddsvärda arter som är beroende av äldre granskog, (2) försämrade möjligheter till friluftsliv och (3) risk att angreppen sprider sig ut till närliggande brukade granbestånd. Bakgrunden till denna kunskapsuppsättning är ett regeringsuppdrag till Naturvårdsverket att se över hur granbarkborren skall hanteras i skyddade områden. Syftet är att ge en uppdaterad bild av kunskapsläget när det gäller granbarkborrens roll i skogsekosystemet, granbarkborrens biologi och populationsdynamik, var risken för angrepp är störst, vilka möjligheter som finns att fastställa orsakssamband mellan angrepp i skyddade områden och i angränsande brukad skog, och vilka bekämpningsmetoder som finns att tillgå samt deras effektivitet.

Granbarkborren fyller en viktig funktion i skogsekosystemet genom sin förmåga att döda levande granar vilket skapar livsmiljöer för många andra arter och därmed främjar den biologiska mångfalden. Mer än 140 arter av insekter och spindeldjur har påträffats i granbarkborrens gångsystem i nyligen angripna träd. Dessutom tillkommer alla de arter som utnyttjar senare successionsstadier av dödade träd och de luckor som uppkommer i täta granbestånd när träd dödas.

Granbarkborren övervintrar som färdigutvecklad skalbagge antingen i barken på de träd de utvecklats i eller i marken. På våren börjar de flyga på jakt efter lämpligt förökningsmaterial när temperaturen närmar sig +20°C vilket i södra Sverige brukar vara i slutet av april och längre norrut under maj. Den har en stor spridningsbenägenhet och kan flyga många kilometer. Det är hanen som först borrar sig in i träden och den avger då doftämnen (feromon) som lockar till sig honor och andra hanar. En frisk gran försvarar sig mot angrepp med hjälp av terpenener och det krävs därför att många barkborrar samtidigt angriper för

att trädets försvar skall övervinnas. Avgivningen av feromon kan även leda till angrepp på närliggande granar vilket förklarar varför det ofta är grupper av träd som dödas. När föräldradjuret etablerat sin första kull under våren så försöker de anlägga ytterligare en eller flera s.k. syskonkullar i nya träd. I Sverige är det bara en mindre andel av den nya generationen av granbarkborrar som förökar sig samma sommar som de utvecklats.

Det går inte att exakt förutsäga var i ett skogslandskap som granbarkborren kommer att döda träd. Men några faktorer som ökar sannolikheten för angrepp är förekomst av vindfällda granar (har ett svagt försvar), förekomst av fjolårsangrepp (där finns övervintrande barkborrar som kan angripa träd på våren), volymrika äldre granbestånd, nyexponerade beståndskanter och torkstressade träd.

Granbarkborrens populationsdynamik, dvs. fluktuationer i antalet granbarkborrar mellan år, drivs framförallt av tillgången på lämpligt förökningsmaterial. Utbrott av granbarkborren initieras av storskaliga störningar som stormfällningar och exceptionellt torra och varma somrar. I båda fallen skapas ett överutbud av träd med kraftigt nedsatt försvarsförmåga. Detta innebär: (1) att de flesta barkborrarna hittar lämpliga träd att föröka sig i och (2) att förökningsframgången i koloniserade träd blir hög. Sammantaget innebär detta att barkborrarna blir tillräckligt många för att även kunna döda mer motståndskraftiga träd under de följande åren. Granbarkborrens viktigaste fiender utgörs av rovlevande skalbaggar (t.ex. myrbaggar), rovlevande flugor (t.ex. styltflugor) och parasitsteklar. Fältförsök visar att fienderna kan reducera antalet producerade granbarkborrar med 25 – 87 %.

En möjlighet att utreda orsakssamband mellan spridningskällor i skyddade områden, dvs. granar angripna av granbarkborren under föregående år, och angrepp i den angränsande brukade skogen är att utgå ifrån vilken betydelse spridningskällorna kan ha haft för att angreppen i den brukade skogen startade. Man kan tänka sig två typfall: (A) Att en grupp av angripna träd i ett skyddat område expanderar över gränsen ut i den brukade skogen

och (B) att en ny grupp, rumsligt avgränsad från gruppen i det skyddade området, uppkommer i den angränsande brukade skogen. För typfall A så kan man på goda grunder hävda att den expanderande gruppen i det skyddade området är orsaken till att angreppet spred sig ut i den brukade skogen. För typfall B krävs en analys av vilken betydelse spridningskällan i det skyddade området kan ha haft jämfört med andra spridningskällor i det omgivande landskapet. Analysen kräver kunskap om: (1) storleken på den utpekade spridningskällan, (2) avståndet från spridningskällan till den nya gruppen av dödade träd, (3) andra stora spridningskällor i närheten, samt (4) bakgrundspopulationens storlek. Det är viktigt att vara medveten om att barkborrarna som deltar i angreppen på en specifik plats härrör från många olika spridningskällor i det omgivande landskapet.

I skyddade områden där man vill minska risken för angrepp av granbarkborren under utbrott kan det vara en klok åtgärd att transportera ut eller barka även enstaka vindfällda granar innan barkborrarna börjar flyga på våren. Detta för att minska risken för att feromoner som avges av barkborrar som angriper vindfällena inducerar angrepp även på närstående träd. Detsamma gäller större luckor med stormfällda granar. Genom att transportera ut eller barka dessa innan svärmen startat förhindrar man dels att angrepp på de stormfällda träden inducerar angrepp på närstående träd och dels att det byggs upp lokala populationer av barkborrar som kan angripa angränsande bestånd under det följande året. När det gäller stående angripna träd är det effektivast om avverkningen sker på sommaren medan granbarkborrarna fortfarande är larver eller puppor. Vinteravverkning har en begränsad bekämpningseffekt eftersom huvuddelen av barkborrarna övervintrar i marken och mycket bark med barkborrar blir kvar i skogen. Dessutom drabbas en av granbarkborrens fiender, styltflugor av släktet *Medetera*, hårdare än granbarkborren vid vinteravverkning. Det är framförallt för större grupper av angripna träd man kan förvänta sig att en avverkning under "rätt" tid kraftigt kan minska risken för fortsatta angrepp på platsen under följande år. När det gäller platser med mindre grupper av angripna träd är det mer osäkert vilken effekt en avverkning har eftersom sådana grupper ofta "dör ut" av sig själv under det följande året. Flera studier visar att det

är osannolikt att man kan minska risken för angrepp i ett skyddat område med hjälp av feromonbetade fällor. Med fällor i skyddade områden med stora populationer av granbarkborrar kan man i viss mån reducera antalet barkborrar som sprider sig ut i den brukade skogen.

Viktiga kunskapsluckor när det gäller granbarkborren är: (1) Hur stor är risken för följdangrepp i bestånd där grupper av angripna träd avverkas under "rätt" tid och hur påverkas denna risk av storleken på de avverkade grupperna? (2) Är det skillnad i angreppsrisken mellan olika typer av blandskog, t.ex. gran/tall jämfört med gran/björk? (3) Hur påverkar beståndstyp och ståndort risken för angrepp under varma och torra somrar? (4) Vilka är de viktigaste faktorerna som avgör om ett angreppsförsök på en ny plats lyckas eller inte (t.ex. den lokala populationens storlek, bakgrundspopulationens storlek, beståndstyp, trädens vitalitet). (5) I vilka situationer gynnas respektive missgynnas biodiversiteten av att granbarkborren dödar träd? Dessutom skulle det vara värdefullt med en fungerande fjärranalysmetod för att upptäcka angripna träd tidigt på säsongen.

Summary

The Eurasian spruce bark beetle (*Ips typographus*) is a native beetle species in Sweden and the most important pest on mature spruce forest in Europe. During outbreaks, it kills millions of trees and damages have increased during the last decades. Also protected areas may be affected which may result in: (1) decrease of threatened species requiring old spruce forest, (2) negative effects for recreation and (3) risk of attacks in protected areas spreading out in the adjacent production forest. The reason for this report is a government assignment to The Swedish Environmental Protection Agency about how the spruce bark beetle should be handled in protected areas. The aim of the report is to provide updated knowledge about the role of the spruce bark beetle in the forest ecosystem, its biology and population dynamics, where the risk for attacks is highest, possibilities to document causations between attacks in protected areas and attacks in adjacent production stands and available control measures and their efficiency.

The spruce bark beetle is an important species in the forest ecosystem by its ability to kill living spruces and thereby creating substrates for many other species. More than 140 species of insects and arachnids have been found in newly killed trees. In addition, many other species are dependent on older succession stages of dead spruces and on the sun-exposed gaps formed in dense spruce forests when trees are killed.

The spruce bark beetle hibernates as adult in the bark of their brood trees or in the ground. The flight period starts in spring when the temperature approaches +20°C, which in southern Sweden usually occurs in end of April and in the north in May. The spruce bark beetle has a high dispersal capacity and can fly many kilometres. The male initiates the attack by boring into the bark of a spruce tree and releasing specific odours (pheromone) that are strongly attractive to females and other males. Healthy spruce trees have a strong terpene-based defence against bark beetle attacks. Thus, a simultaneous mass-attack by many beetles is required to overcome tree defences. The release

of pheromones may induce attacks on nearby standing spruces, which explains why groups of trees generally are killed. The parent beetles may establish sister broods in additional trees later in the season. In Sweden most of the offspring hibernates before reproducing in the next summer.

It is not possible to predict exactly where in a forest landscape the spruce bark beetle will attack trees. Some factors that increase the probability for attacks are: wind-felled trees which are easily colonised because of weak defences (which may induce attacks on nearby standing trees), colonised trees from previous year (hosting hibernating bark beetles that may attack nearby standing trees in the spring), old high-volume spruce stands, newly exposed stand edges of spruce and drought-stressed spruces.

The population dynamics of the spruce bark beetle is mainly driven by the availability of breeding material. Outbreaks are initiated by large-scale disturbances like storm-fellings and exceptionally warm and dry summers. In both cases a surplus of trees with weak defences are created. This means that: (1) most bark beetles will find suitable trees to reproduce in and (2) the reproductive success will be high in colonised trees. Overall, this results in sufficiently high population densities for overcoming defences of more vital trees in the following years. The most important enemies of the spruce bark beetle are predatory beetles (e.g. clerids), predatory flies (e.g. long-legged flies) and parasitoids. Field experiments have demonstrated that enemies may reduce spruce bark beetle production with 25 – 87%.

One possibility to evaluate the causation between dispersal sources of the spruce bark beetle in protected areas (i.e. spruces attacked by the bark beetle in the previous year) and attacks in the adjacent production forest, is to investigate the importance of the dispersal source for the initiation of the attacks in the production forest. Two typical cases are: (A) a group of attacked trees in a protected area expands over the border into the production forest and (B) a new group of attacked

trees is formed in the production forest adjacent to the protected area with a dispersal source. For case A, there is a high probability that the dispersal source in the protected area caused the initiation of attacks in the production forest. For case B, an analysis of the importance of the dispersal source in the protected area compared with the importance of other dispersal sources in the landscape is required. The analysis is based on: (1) size of the dispersal source in the protected area, (2) distance from the dispersal source to the new group of attacked trees in the production forest, (3) other adjacent large dispersal sources and (4) the size of the background population. It is important to be aware of that the bark beetles participating in the attacks on a specific site originate from many dispersal sources in the surrounding landscape.

In protected areas, where attacks of spruce bark beetle are unwanted, it may be a good idea to remove or debark single wind-felled spruces during outbreaks before beetle flight starts in the spring. This to prevent the risk that pheromones released from beetles attacking the wind-felled tree will induce attacks on nearby standing spruces. The same is valid for storm gaps with many storm-felled spruces. By removing or debarking them before start of bark beetle flight, induction of attacks on nearby standing spruces are prevented, as well as the build-up of local populations that may attack trees in the following year. Regarding standing attacked trees it is most efficient to remove, or debark them, when the spruce bark beetle brood is still in the larval or pupal stage. Cuttings in winter has a limited effect because the main part of the spruce bark beetles hibernates in the ground and because much of the bark (with bark beetle adults) will fall off and remain in the forest. In addition, the predatory long-legged flies (*Medetera*) are more negatively affected by cutting during winter than the spruce bark beetle. It is mainly for large groups of attacked trees that a cutting can be expected to reduce the risk for attacks in the following year. For small groups the effect of a cutting is more uncertain because small groups generally "goes extinct" after one year. Several studies show that it is unlikely that the risk for attacks in protected areas is reduced by the use of pheromone-baited traps. In protected areas with large populations of the spruce bark beetle, the spread out in the production forest can to some

extent be reduced by trapping.

Important knowledge gaps regarding the spruce bark beetle are: (1) How large is the risk for subsequent attacks in stands in which groups of attacked trees have been cut and how is this risk influenced by the size of the cut groups of attacked trees? (2) Is there a difference in risk of attacks between mixed forests of spruce/pine and spruce/birch? (3) How is stand type and site characteristics influencing the risk for attacks during warm and dry summers? (4) Which are the most important factors that determines if an attack in a new location is successful or not (e.g. local population size, background population size, stand type, tree vitality). (5) In which situations are biodiversity positively respectively negatively affected by tree-killing by the spruce bark beetle? In addition, it would be helpful with an efficient remote sensing method for early detection of attacked trees.

1. Bakgrund

Granbarkborren (*Ips typographus*) är en inhemsk skalbaggsart i Sverige. Det är den ekonomiskt mest betydelsefulla skadegöraren på granskog i Europa och kan under utbrott döda miljontals granar över stora regioner. Denna situation benämns i fortsättningen som utbrott av granbarkborren. I Europa har angreppen ökat kraftigt under de senaste decennierna (Patacca m.fl. 2023). Särskilt det senaste utbrottet, som initierades av den extremt varma och torra sommaren 2018 (Wilcke m.fl. 2020), har resulterat i stora angrepp i Sverige och Central-europa (Hlásny m.fl. 2021, Schroeder & Kärvemo 2022). Totalt uppskattas drygt 30 miljoner m³ granskog ha dödats under åren 2018 – 2022 i Götaland och Svealand vilket är mycket mer än under något tidigare utbrott i Sverige (Schroeder & Kärvemo 2022, Wulff & Roberge 2022).

Även många formellt skyddade områden (dvs. naturreservat, biotopskyddsområden, naturvårdsområden, nationalparker och Natura 2000 områden; fortsättningsvis benämnda skyddade områden) med äldre granskog har fått stora angrepp av granbarkborren (Olsson & Sjödal 2022). Mer omfattande angrepp i skyddade områden kan leda till flera problem som: (1) hot mot skyddsvärda arter som är beroende av äldre granskog, (2) försämrade möjligheter till friluftsliv i området och (3) risk att angreppen sprider sig från det skyddade området ut i närliggande brukade granbestånd (givetvis kan även det omvända vara fallet).

Bakgrunden till denna kunskapssammanställning, som är gjord på uppdrag av Naturvårdsver-

ket, är ett regeringsuppdrag till Naturvårdsverket att med stöd av Skogsstyrelsen se över möjligheterna till bekämpning av granbarkborren i skyddade områden. I regeringsuppdraget ingick även att se över möjligheten att införa en kompensationsmodell för skador på egendom som kan kopplas till spridning av granbarkborren från skyddade områden. Naturvårdsverkets slutredovisning av regeringsuppdraget redovisas i rapporten ”Bekämpning och ersättning vid angrepp av granbarkborrar från skyddad skog” (Naturvårdsverket 2023).

Syftet med kunskapssammanställningen är att ge en uppdaterad bild av kunskapsläget när det gäller granbarkborrens roll i skogsekosystemet, granbarkborrens biologi och populationsdynamik, var risken för angrepp är störst, vilka möjligheter som finns att fastställa sannolika orsakssamband mellan angrepp i skyddade områden och i angränsande brukad skog, och vilka bekämpningsmetoder som finns att tillgå samt deras effektivitet. När det gäller orsakssamband mellan olika angrepp ingick det inte i uppdraget från Naturvårdsverket att föreslå en specifik ersättningsmodell eller att utvärdera vilka praktiska konsekvenser en sådan modell skulle kunna få (dvs. resonemangen tar inte hänsyn till kostnader, behov av resurser, genomförbarhet m.m.). Det finns en omfattande litteratur om granbarkborren. Jag har därför i det följande endast inkluderat några av de viktigaste referenserna för varje avsnitt.

2. Granbarkborrens roll i skogsekosystemet

Under utbrott (dvs. när stora mängder granar dödas över hela regioner) riktas mycket uppmärksamhet mot granbarkborren som skadegörare på grund av de betydande ekonomiska förluster den orsakar i brukad skog. Men, det är viktigt att också vara medveten om att granbarkborren just genom sin förmåga att kunna döda levande granar skapar livsmiljöer för många andra arter och därmed främjar den biologiska mångfalden i skogen. Med andra ord är den ett exempel på en s.k. ekosystemingenjör eftersom att de dödade träden utgör livsmiljöer för många arter av framförallt insekter och svampar som är beroende av död ved för sin överlevnad (Cours m.fl. 2023). I brukad skog är mängden död ved mycket lägre än i skogar utan mänsklig påverkan. Därför kan träd dödade av granbarkborren vara ett viktigt tillskott där och även i många skyddade områden.

Mer än 140 arter av insekter och spindeldjur har påträffats i granbarkborrens gångsystem i ny-

ligen angripna träd (Weslien 1991, Weslien 1992, Hedgren & Schroeder 2004). Dessutom tillkommer alla de arter som utnyttjar senare successionsstadier av dödade träd. Det finns förvånansvärt lite forskning gjord över detta men artdiversiteten är högre i områden drabbade av stormfällningar och barkborreutbrott där träden lämnats kvar jämfört med områden där de avverkats (Thorn m. fl. 2017, Cours m.fl. 2023). En studie utförd i fem skyddade områden i södra Sverige, där angrepp av granbarkborren uppkom efter en stormfällning, visade att 8 – 9 år efter att träden dödades så stod 37 % av träden kvar intakta medan resten brutits och därmed skapat två olika substrattyper i form av högstubbar och lågor (Schroeder 2007a). Förutom insekter och svampar gynnas även hackspettar av barkborredödade träd (Basile m.fl. 2023). Dessutom så uppstår det luckor i skogen när träd dödas av granbarkborren vilket gynnar vissa växter och djur genom en ökad solexponering.

3. Granbarkborrens biologi

Under senare år har det publicerats flera böcker med ingående beskrivningar av olika aspekter av barkborrars, inklusive granbarkborrens, biologi som t.ex. Vega & Hofstetter (2015), Gandhi & Hofstetter (2022) och Wohlgemuth m.fl. (2022). Nedan följer en kortfattad beskrivning med fokus på de delar av livscykeln som är viktigast att förstå för resonemangen i de följande avsnitten.



Bild 1. Granbarkborren (Ips typographus) är en 4 mm lång skalbagge. Den kallas ibland även för den åttatandade barkborren på grund av de fyra utskotten på varje täckvinges sluttande bakre del. Foto: Göran Liljeberg.

3.1 Övervintring

I Sverige övervintrar granbarkborren som adult (färdigutvecklad skalbagge). Det finns inga indikationer på att den i vårt klimat kan överleva vintern som larv eller puppa. De övervintrar antingen i barken på de träd de utvecklats i eller i marken kring stambasen på dessa träd. En nyligen publicerad undersökning utförd på granbarkborredödade träd visar att i Götaland, och i södra och mellersta delarna av Svealand, övervintrar drygt 40 % av granbarkborrarna i barken och resten i marken (Weslien m.fl. 2023). Längre norrut sjunker andelen som övervintrar i barken. Övervintring i marken är förmodligen en anpassning till att undvika riktigt låga vintertemperaturer genom att vara skyddade av ett isolerande snötäcke.

Att granbarkborren övervintrar som adult i anslutning till de träd de utvecklats i innebär att platser med grupper av fjolårsdödade träd, eller fjolårsangripna vindfällda träd, fungerar som spridningskällor på våren när barkborrarna börjar svärma (dvs. flyga). Storleken på dessa spridningskällor, dvs. hur många barkborrar som finns där på våren, beror på hur många träd de angrep på platsen under föregående år och om träden avverkats och transporterats ut ur skogen eller inte. Om de avverkats vid ”rätt” tidpunkt, dvs. under sommaren när barkborrarna är larver eller puppor, så finns inga barkborrar kvar på platsen medan om de avverkats på hösten/vintern så kan en betydande andel av dem finnas kvar (se avsnitt 7.4.1).

3.2 Huvudsvärmning och syskonkullsvärmningar

Granbarkborren kräver en lufttemperatur av minst +16.5°C för att kunna flyga och flygaktiviteten ökar med stigande temperatur (Hinze & John 2020). Det typiska är att temperaturen ligger på +20°C eller mer när svärmningen startar på allvar på våren. Det är oklart vilken signal som granbarkborren använder sig av för att bryta vintervilan (dvs. diapausen) på våren. Det verkar inte vara styrt av ökande dagslängd, men kan vara ett resultat av längre perioder med temperaturer över +5°C (Netherer & Hammerbacher 2022).

I södra Sverige börjar de första granbarkborrarna flyga i april medan svärmningen vanligtvis kommer igång ordentligt först under maj månad (Fritscher & Schroeder 2022). Denna första svärmningsperiod brukar benämnas huvudsvärmningen.

I norra Sverige brukar huvudsvärmningen starta i maj. För södra Sverige har en ackumulerad temperatursumma av 47 daggrader (tröskelvärde +5°C, beräknad från 1 januari, 5 års data) uppskattats krävas för start av svärmningen, dvs. när de första börjar flyga (Öhrn m.fl. 2014). I en annan studie, utförd från södra till norra Sverige, beräknades en temperatursumma av 80 – 112 daggrader (tröskelvärde +5°C, beräknad från 1 januari, 14 – 16 års data) krävas innan 15 % av hela säsongsfångsten i feromonbetade fällor var nådd (den lägre temperatursumman krävdes i norra Sverige) (Schroeder & Fritscher, opublicerat).

När föräldradjuren etablerat sin första kull under huvudsvärmningen (dvs. när äggläggningen är avslutad) så lämnar de gångsystemen för att försöka anlägga ytterligare en eller flera kullar, s.k. syskonkullar, i nya träd som då angräps. Huvudsvärmningen och syskonkullsvärmningen överlappar till viss del tidsmässigt. Detta beror bl.a. på att huvudsvärmningen är utdragen över flera veckor eftersom att alla barkborrarna inte lämnar övervintringsplatsen samtidigt. Dessutom påverkar graden av solexponering av förökningsmaterial hur snabbt efter angreppsstarten som föräldradjuren lämnar för syskonkullsvärmning. Sammantaget innebär detta att de granbarkborrar som först startar sina angrepp på våren, och de vars förökningssubstrat är solexponerat, påbörjar sin syskonkullsvärmning innan huvudsvärmningen är över.

3.3 Utvecklingstid och nya generationen

Utvecklingstiden från ägg tills att den nya generationen är färdigutvecklad, inklusive adulternas mognadsgnag, är beroende av temperaturen. Under varma somrar, och i solexponerade träd, går utvecklingen som snabbast (så länge det inte blir för torrt). Man har i experiment på lab. fastställt minimitemperaturen som krävs för att utveckling skall kunna ske och kommit fram till två olika tröskelvärden på +5°C och +8,3°C för granbarkborren (Fritscher & Schroeder 2022). Utifrån dessa tröskelvärden kan sedan temperatursummor (som uttrycks i daggrader) beräknas från start av angrepp tills att den nya generationen är färdigutvecklad. Baserat på data från svärmningsövervakningen av granbarkborren som bedrivs av SLU uppskattades den genomsnittliga temperatursumman, med +5°C tröskelvärde, till 744



Bild 2. Barkprov från gran dödad av granbarkborre. Varje granbarkborrehona gnager ut en modergång (de horisontella gångarna) längs vilken äggen läggs. Ur varje ägg kläcks sedan en larv som gnager en larvgång när den äter av innerbarken (de vertikala gångarna som utgår från modergångarna). Man kan se att larvgångarna ökar i bredd i och med att larverna blir större. Foto: Danja Fritscher.

daggrader för södra och 659 daggrader för norra Sverige (Fritscher & Schroeder 2022). Medeldatumet för när den nya generationen började flyga (här definierat som att minst 5 % av fallfångsten utgjordes av nya generationen) var senare hälften av juli i södra och månadsskiftet juli/augusti i norra Sverige.

I Sverige är det bara en mindre andel av den nya generationen av granbarkborrar som försöker föröka sig samma sommar som de utvecklats (de flesta väntar till nästa sommar). Under varma somrar, när den nya generationen blir färdig tidigare, ökar andelen (Fritscher & Schroeder 2022). Klimatkammarförsök har visat att granbarkborren använder dagslängden för att avgöra om de skall föröka sig samma sommar eller vänta till nästa säsong (Schroeder & Dalin 2017). En lång dagslängd indikerar att det är tidigt under säsongen och att sannolikheten därmed är hög att deras avkomor hinner utvecklas färdigt innan vintern.

Eftersom att en del av föräldradjuren anlägger mer än en syskonkull kommer syskonkullsvärmningen och svärmningen av den nya generationen till viss del överlappa tidsmässigt (Fritscher & Schroeder 2022).

3.4 Spridning

Granbarkborren har en stor spridningsförmåga och kan förflytta sig långa sträckor genom att flyga med vinden. För en insekt som under långa tidsperioder, när det inte är utbrott, är helt beroende av att föröka sig i enstaka utspridda vindfällade eller försvagade granar i skogslandskapet har en stor spridningsförmåga ett stort överlevnadsvärde. Enstaka granbarkborrar har påträffats på flera mils avstånd från närmaste granskog (Platonoff 1940, Nilssen 1978, 1984) och många tusen fångades i feromonbetade fallor på sex kilometers avstånd från närmaste granskog i en annan studie (Duelli m.fl. 1997). Även undersökningar i vilka granbarkborrar klistras fast på en arm som roterar när de flyger (s.k. flygmöller), indikerar att de har kapacitet att flyga långa sträckor (Forsse & Solbreck 1985, Forsse, 1989).

Hur långt granbarkborrarna sprider sig från sin övervintringsplats beror bl.a. på var de hittar lämpligt förökningsmaterial. Men, även i de fall då ett nytt angrepp startar i direkt anslutning till övervintringsplatsen på våren kommer de flesta granbarkborrarna ändå lämna platsen och alltså sprida sig längre bort. Detta visar märknings-återfångststudier där man släppt ut märkta granbarkborrar

från en plats som är omgiven av feromonbetade fallor. Återfångsten av märkta granbarkborrar har då varierat mellan 6 – 35 % (Botterweg 1982, Lindelöw & Weslien 1986, Duelli m.fl. 1997, Hinze m.fl. 2020). Att bara en mindre andel stannar kvar, trots förekomsten av feromonkällor (i detta fall feromonbetade fallor), kan ha flera förklaringar: en del av dem kan behöva flyga ett tag för att ”svara på” feromonet, en del av de som känner doften av feromonet misslyckas med att orientera sig fram till feromonkällan och en del hinner inte uppfatta doften av feromonet innan de flugit iväg. En ny studie visar också att granbarkborren utmärker sig genom att ha små genetiska skillnader mellan populationer som lever på stora avstånd ifrån varandra (Ellerstrand m.fl. 2022). Sammantaget visar detta att granbarkborren är en art som sprider sig mycket.

3.5 Lokalisering av förökningsmaterial

Granbarkborren lockas bara svagt av värdrädsdofter (Lindelöw m.fl. 1992, Schroeder 2003). Det innebär att flygande granbarkborrar förmodligen inte i någon större utsträckning kan lukta sig fram till försvagade träd på avstånd, dvs. de har bara en svag primärattraktion (för en intressant diskussion om detta se Lehmannski m.fl. (2023)). Däremot kan värdrädsdofter, specifika för stressade träd, öka benägenheten att borra sig in i barken efter att de har landat på ett träd (Netherer m.fl. 2022).

När hanarna börjar borra sig in i barken avger de ett feromon (doftämne) som verkar starkt an-

lockande på bägge könen. Dessutom, när feromonet kombineras med värdrädsdofter (som också avges i stora mängder från inbörningshål) ökar attraktiviteten kraftigt (Austarå m.fl. 1986, Erbilgin m.fl. 2007, Jaakola m.fl. 2023). Sammantaget innebär detta att de allra flesta granbarkborrarna lokaliserar lämpligt förökningsmaterial genom att attraheras av en kombination av feromoner och värdrädsdofter som avges från nyligen angripna träd.

3.6 Angrepp

Det är hanarna som initierar ett angrepp genom att borra sig in i barken. De avger då ett feromon som är starkt anlockande för honor och andra hanar. Huvudkomponenterna i detta feromon är metylbutenol (2-metyl-3-buten-2-ol) och *cis*-verbenol (Schlyter m.fl. 1987). *Cis*-verbenol producerar granbarkborrarna från α -pinen, en monoterpen som finns i kådan som trädet utsöndrar när det blir angripet. När hanarna parat sig minskar avgivningen av metylbutenol och nya ämnen börjar avges (Birgersson m.fl. 1988), bl.a. verbenon som har en avskräckande effekt och som förmodligen produceras av mikroorganismer. Detta gör att anlockningen till det angripna trädet minskar och har tolkats som ett sätt för barkborrarna att förhindra en alltför hög angreppstäthet (vilket i sin tur leder till en stor konkurrens mellan larverna om maten).

Granbarkborrens feromon fyller flera funktioner. För hanarna som avger feromonet är det



Bild 3. I det första skedet av ett angrepp av granbarkborrar försvarar sig granar med sin kåda. (A) Droppar av kåda där granbarkborrehanar misslyckats med att borra sig in i barken och en granbarkborre. (B) Kådindränkt bormjöl kring ett ingångshål där en granbarkborre lyckats borra sig in i en gran som fortfarande försvarar sig.

Foto: Martin Schroeder.

för det första ett effektivt sätt att locka till sig honor. Granbarkborren är polygam och antalet honor per gångsystem varierar från en till fyra (i medeltal knappt två), vilket innebär att det råder en konkurrenssituation mellan hanarna eftersom det produceras lika många hanar som honor. För det andra ökar anlockningen av andra hanar till det angripna trädet vilket ökar sannolikheten att trädets försvar kan övervinnas, vilket i sin tur är nödvändigt för att en ny generation skall kunna utvecklas. För hanarna som svarar på feromonet är det en signal att det kan vara ett lämpligt träd att föröka sig i eftersom det ju finns plats för många angripande barkborrar under barken i en gran.

De första granbarkborrehanarna som angriper en levande gran står inför en stor utmaning i form av trädets försvar. Det krävs nämligen att ett visst antal hanar samtidigt angriper för att trädets försvar skall kunna övervinnas. Först är det bara några enstaka hanar som mer eller mindre slumpmässigt landar på ett träd, varav några bestämmer sig för att försöka borra sig in i barken. De möts då av trädets grundläggande (s.k. konstitutiva) försvar i form av ett kådflöde som mekaniskt försvårar för barkborrarna att borra sig in genom barken (bild 3). Samtidigt, börjar hanarna avge sitt feromon. Men, feromonavgivningen från några enstaka hanar är liten och kan därför inte anlocka andra hanar på något större avstånd. Därför ökar sannolikheten för att angreppet skall lyckas om det finns många barkborrar i omgivningarna och/eller om trädet har nedsatt försvar (t.ex. av torka eller om det är ett vindfällt träd).

När träden blir angripna svarar de också med att skapa en s.k. reaktionszon runt angreppspunkterna i barken, med höga koncentrationer av terpenener som är giftiga för granbarkborrens larver och de mikroorganismer som granbarkborrarna för med sig in i trädet (s.k. inducerat försvar). Av mikroorganismerna har flera svampar visats hjälpa granbarkborrarna att övervinna trädets försvar (för översikter av trädets försvar mot granbarkborrar se Krokene (2015), Netherer m.fl. (2021) och Netherer & Hammerbacher (2022)). Ny forskning har visat att en del av dessa svampar även kan producera ämnen som ingår i granbarkborrens feromon. Det är fortfarande oklart vilken betydelse detta har för granbarkborrens förmåga att döda levande träd.

3.7 Hur grupper av dödade träd uppkommer – angrepp på närstående träd

Granbarkborren angriper oftast grupper av träd. Detta är ett resultat av att när många hanar angriper ett träd så blir avgivningen av feromoner hög. Därmed kommer en del av de anlockade hanarna istället angripa närstående träd. Om det finns många barkborrar i omgivningen, som under utbrott, så kan grupperna av angripna träd bli stora. Förutom mängden barkborrar så bör gruppstorleken också öka om träden är försvagade (krävs färre angripande barkborrar per träd) och om gruppen initieras redan på våren när huvudsvärmningen startar och därmed kan expandera under säsongen.

4. Var är risken störst för att granbarkborren skall angripa stående träd

Av naturliga skäl har de flesta undersökningar av var risken för angrepp på stående träd av granbarkborren är störst gjorts under utbrott, dvs. när stora mängder träd dödas över hela regioner. Dessa undersökningar visar att det inte går att förutsäga exakt var i ett skogslandskap som angrepp kommer att uppkomma. Men, det finns några faktorer som påverkar sannolikheten för angrepp. Dessa är förekomst av vindfällda träd, förekomst av fjolårsangripna vindfällda och stående träd, typ av granbestånd och ståndort.

4.1 Vindfällda träd

Vindfällda träd löper ökad risk att angripas eftersom de har ett svagt försvar mot granbarkborren. Därmed kan de angripas även i situationer när barkborrarna inte är så många, som t.ex. på våren innan huvudvärmningen kommit igång ordentligt. Om de angrips, riskerar feromonavgivningen från de vindfällda träden inducera angrepp också på närstående träd. Hur stor sannolikheten är att angreppen på de stående träden skall lyckas (dvs. att träden dödas) beror på hur många barkborrar som angriper dem. Om det inte är utbrott, och trädets vitalitet är hög, är sannolikheten för att närstående träd skall dödas låg jämfört med om det är utbrott då barkborrarna är många och/eller träden är stressade av torka.

I en experimentell studie utförd i Värmland när det inte var utbrott jämfördes risken för angrepp av granbarkborre på stående träd mellan beståndskanter mot hyggen där antingen ingen (kontroll), en eller fem granar fälldes för att simulera vindfällda träd (Hedgren m.fl. 2003). Alla fällda granar utom en blev angripna när svärmningen startade på våren. Inspektionen av beståndskanterna på hösten visade att det inte var någon signifikant skillnad mellan de tre behandlingarna när det gällde antal

granbarkborredödade träd. Det kan förklaras av att beståndskanter även utan vindfällda träd löper en ökad risk att angripas (se nedan). Däremot visade undersökningen att i beståndskanter med fällda träd så var sannolikheten för angrepp på stående träd allra högst nära de fällda träden (inom 10 m). Med andra ord, angreppen på stående träd ”styrdes” till platser med vindfällda träd under angrepp.

Flera studier har visat att i anslutning till stora stormluckor med många stormfällda träd så angrips bara en mindre andel av de stormfällda träden under den första sommaren eftersom det då finns ett överutbud av lämpligt förökningmaterial (Göthlin m.fl. 2000, Schroeder 2010). Under den andra sommaren fortsätter angreppen på de stormfällda träd som inte angreps under den första sommaren och dessutom börjar då även stående träd att dödas (Schroeder 2001, Schroeder & Lindelöw 2002, Kärverno m.fl. 2014a, bild 5).

4.2 Fjolårsangripna vindfällda och stående träd

Platser där träd angreps under föregående år, och där de angripna träden inte avverkades vid ”rätt” tidpunkt, hyser lokala populationer av övervinterrande granbarkborrar (i barken på de angripna träden och i marken kring dem). Detta gäller oberoende av om det är stående eller vindfällda träd. Flera studier visar att antalet stående träd som blir dödade i anslutning till icke upparbetade stormluckor är positivt korrelerat till hur många stormfällda träd som koloniserats i det första skedet (Schroeder & Lindelöw 2002, Eriksson m.fl. 2005, Kärverno m.fl. 2014a). Detta indikerar att den lokala populationen, som initialt byggs upp genom förökning i de stormfällda träden, påverkar hur många stående träd som kommer dödas på platsen under de följande åren (se bild 5).

Hur många stående träd som dödas per ursprungligen koloniserat stormfällt träd (i anslutning till stormluckor) skiljer sig åt mellan utbrott (Schroeder 2001). I två studier som utfördes i Småland, efter två olika stormfällningar, dödades det under de följande åren knappt ett respektive fem stående träd per ursprungligen koloniserat stormfällt träd (Schroeder & Lindelöw 2002, Kärvemo m.fl. 2014a, Schroeder & Kärvemo 2015). Sommarvädret (som påverkar både trädens vitalitet och hur framgångsrika barkborrarna är) och hur mycket barkborrar det finns i det omgivande landskapet är faktorer som påverkar hur utbrott utvecklas över tid. Det går alltså inte att förutsäga hur många träd som kommer att dödas kring en icke upparbetad stormlucka även om man vet hur många stormfällda träd som koloniserats.

Motsvarande studier när utbrott startat i stående träd (som t.ex. under den extremt varma och torra sommaren 2018) har inte utförts. Men det finns ingen anledning att tro att principen skulle vara annorlunda.

Om grupper av fjolårsangripna träd är små minskar risken för att angreppen skall fortsätta på samma plats. Förklaringen till detta är att den övervintrande populationen då är så liten att den inte nämnvärt påverkar sannolikheten för att angrepp skall lyckas på närstående träd på våren. Det går inte att definiera någon exakt gräns för hur många fjolårsangripna träd det krävs för att risken för nya angrepp skall öka markant. Detta eftersom trädens vitalitet (dvs. förmåga att försvara sig) och hur mycket barkborrar det finns i det omgivande landskapet också påverkar sannolikheten för nya

angrepp. En studie utförd under utbrottet efter stormen Gudrun (baserad på helikopterinventeringar) visade att små grupper bestående av ≤ 25 dödade träd dominerade och att 84 – 90 % av alla grupper bara existerade under en säsong (Schroeder & Kärvemo 2015, Kärvemo m.fl. 2016). Däremot uppstod varje år nya små grupper på andra platser i landskapet. Även under utbrottet som startade under den extremt varma och torra sommaren 2018 så dominerade små grupper av dödade träd (Kärvemo m.fl. 2023). En studie som utfördes i beståndskanter (mot hyggen) visade att antalet dödade stående granar ökade linjärt med antalet fjolårsangripna fällda och vindfällda granar när de var fler än 20 per beståndskant (Hedgren m.fl. 2003).

4.3 Beståndstyp och ståndort

De viktigaste beståndsvariablerna som påverkar risken för angrepp av granbarkborren är volymen gran per ha och beståndens ålder. En studie utförd efter stormen Gudrun visade att sannolikheten för angrepp ökade med granvolymen (inga uppgifter om beståndens ålder) upp till ca 200 m³ per ha för att sedan plana ut (Kärvemo m.fl. 2016, Fig. 1). Att det finns ett positivt samband mellan angreppsrisk och granvolym (eller beståndsålder), som planar ut vid höga värden, har också visats i andra studier (Netherer & Nopp-Mayr 2005, Overbeck & Schmidt 2012, Kärvemo m.fl. 2014b, Netherer m.fl. 2019).

Även i nyupptagna beståndskanter ökar risken för angrepp av granbarkborren (Schroeder & Lindelöw 2002, Kärvemo m.fl. 2016). Både den



Bild 4. Beståndskant av gran med angrepp av granbarkborren. Foto: Per-Erik Larsson.

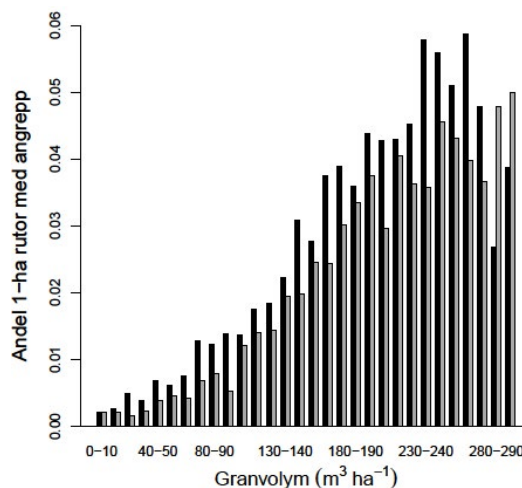
ökade solexponeringen och avgivningen av värdräddofter från avverkningsrester av gran kan tänkas bidra till den ökade risken. Granbarkborren koloniserar hellre solexponerat förökningsmaterial än skuggigt (Göthlin m.fl. 2000, Lindman m.fl. 2023). Dessutom kan man tänka sig att försvarsförmågan för de nyligen solexponerade granarna i beståndskanten är reducerad. En studie som jämförde granar i nyupptagna beståndskanter med granar längre in i beståndet stödjer dock inte detta antagande (Stribrska m.fl. 2022). Det var ingen skillnad i markvattenpotential och savflöde, medan kådflödet var högre för kanträd än för träd längre in i beståndet. Däremot avges stora mängder terpenier från nyupptagna granhyggen vilket kan tänkas öka anlockningen till de feromoner som produceras av angripande granbarkborrar. Möjligen kan detta bidra till att angreppsförsök av granbarkborre på kanträd (på nya platser) har större sannolikhet att locka till sig tillräckligt många barkborrar för att de skall kunna övervinna trädens försvar.

När det gäller ståndortens betydelse indikerar en österrikisk studie att under utbrott som startat efter torka är det inte de torraste ståndorterna som drabbats hårdast (Netherer m.fl. 2019). En hypotes är att på de torraste ståndorterna är träden utsatta för kronisk torkstress och därför bättre anpassade till torka medan träden på fuktigare ståndorter led av akut torkstress. Här krävs det dock flera studier innan man med säkerhet kan säga hur sambanden mellan torka och risk för angrepp ser ut.

Det har även utvecklats flera index som beskriver hur stor risken är för angrepp av granbarkborre, s.k. predispositionsindex. Man har då vägt samman flera olika variabler som t.ex. beståndstyp (volym, ålder, stamtäthet) och klimat (Netherer & Nopp-Mayr 2005, Netherer m.fl. 2019, Nordkvist m.fl. 2023). Det är viktigt att vara medveten om att sådana index inte säger något om den absoluta risken för angrepp. Däremot kan de tillämpas när utbrott väl har startat i en region. Som med alla index är det viktigt att sätta sig in i vilka data respektive antaganden de baserar sig på.

4.4 Sammanfattning

Det går inte att exakt förutsäga var angrepp av granbarkborren kommer att uppkomma. Men några viktiga faktorer som påverkar sannolikheten för angrepp är: förekomst av vindfällda



Figur 1. Sambandet mellan volymen granskog per ha och risken för att granbarkborren skulle börja döda träd i 1 ha-rutor under två år av granbarkborreutbrottet i ett studielandskap i södra Sverige. Svarta staplar = 2008, gråa staplar = 2009. Först publicerad i Kärvelo m.fl. (2016).

granar, förekomst av fjolårsangrepp, beståndstyp och ståndort. Vindfällda granar har bara en liten försvarsförmåga mot barkborreangrepp. Därför klarar barkborrarna av att angripa dem även när de inte är så många. De feromoner som då produceras kan inducera angrepp på närliggande träd. När det är utbrott har sådana sidoangrepp på stående träd goda förutsättningar att lyckas.

Platser med grupper av fjolårsangripna träd (både stående och vindfällda) hyser lokala populationer av övervintrande barkborrar i de fall de inte avverkats vid "rätt" tidpunkt. Detta innebär att sannolikheten att barkborrarna lyckas döda nya träd på sådana platser på våren när de börjar svärma är större jämfört med platser utan fjolårsangrepp. Flera studier har visat att det föreligger ett positivt samband mellan antalet ursprungligen koloniserade träd och hur många träd som kommer angripas under det följande året. Om grupperna av fjolårsdödade träd är små så minskar dock risken för att angreppen skall fortsätta på samma plats.

När det gäller beståndstyper så löper volymrika äldre granbestånd störst risk att angripas. Risken ökar med ökande volym och ålder för att sedan plana ut vid höga volymer och åldrar. Även beståndskanter mot nyupptagna hyggen löper ökad risk att angripas. Ståndorsfaktorer som påverkar granens förmåga att ta upp vatten under torra perioder verkar också vara en viktig faktor.

5. Granbarkborrens populationsdynamik - varför startar utbrott?

Granbarkborrens populationsdynamik, dvs. fluktuationer i antalet granbarkborrar mellan år, drivs framförallt av tillgången på lämpligt förökningsmaterial. Utbrott av granbarkborren (dvs. när många träd dödas över hela regioner) initieras av storskaliga störningar som stormfällningar och exceptionellt torra och varma somrar. I båda fallen skapas ett överutbud av träd med kraftigt nedsatt försvarsförmåga mot angrepp av granbarkborren. Detta innebär: (1) att de flesta barkborrarna hittar lämpliga träd att föröka sig i och (2) att förökningsframgången blir hög. Det senare är ett resultat av en låg angreppstäthet i försvagade träd eftersom det inte krävs så många barkborrar för att övervinna deras försvar. Detta leder i sin tur till minskad konkurrens om maten mellan larverna. Sammantaget innebär detta att antalet barkborrar ökar kraftigt och därmed blir tillräckligt många för att även kunna döda mer motståndskraftiga träd under de följande åren. Höga sommartemperaturer gynnar dessutom barkborrarna direkt genom att de hinner producera flera kullar, både i form av syskonkullar och att en del av årets avkomor förökar sig redan samma sommar som de utvecklats. Detta leder till att fler träd riskerar att dödas och att populationen ökar jämfört med under svalare somrar. För en mer detaljerad beskrivning av hur granbarkborren gynnas av varma och torra somrar se Schroeder & Kärve (2022).

Granbarkborren har många olika fiender. De utgörs framförallt av andra insektsarter och hackspettar som äter granbarkborrarna och deras utvecklingsstadier under barken. De viktigaste insektsfienderna är rovlevande skalbaggar (t.ex. myrbaggar), rovlevandeflugor (t.ex. styltflugor) och parasitsteklar. Fältförsök, i vilka man utestängt insektsfiender från granbarkborreangripna stammar med hjälp av finmaskiga nätburar och sedan

jämfört antalet producerade granbarkborrar med icke inburade granbarkborreangripna stammar, visar att fienderna kan reducera antalet granbarkborrar som kläcks med 25 – 87 % (Weslien 1992, Weslien & Regnander 1992, Weslien & Schroeder 1999; Schroeder 2007b). Granbarkborrens fiender är viktiga eftersom de minskar antalet granbarkborrar och därmed också de angrepp de kan orsaka. Men de kan inte förhindra att utbrott av granbarkborren startar efter storskaliga störningar, då granbarkborrarna snabbt kan öka i antal. Men de påverkar hur stora utbrotten blir genom att: (1) hålla nere antalet granbarkborrar som initialt kan utnyttja en storskalig störning (dvs. granbarkborrens ingångspopulation när en stormfällning eller varm och torr sommar infaller är lägre än vad det skulle varit utan fiender) och (2) reducera granbarkborrens förökningsframgång under utbrottets gång och därmed bidra till att skadorna minskar snabbare än vad de skulle gjort utan fiender. Det finns inga kända specialister på granbarkborren bland fienderna, utan de lever på flera olika arter av barkborrar. Det är därför en god idé att gynna fienderna genom att lämna träd och träddeklar angripna av andra barkborrearter än granbarkborren. Äldre död ved producerar inga fiender eftersom alla barkborrar redan lämnat denna typ av substrat. För en populärvetenskaplig beskrivning av granbarkborrens fiender och vilken betydelse de har se Weslien & Schroeder (2023).

Ibland framförs uppfattningen att skyddade områden är en viktig orsak till uppkomsten av granbarkborreutbrott. Detta är ett orimligt påstående av två skäl. För det första krävs det en storskalig störning för att utbrott överhuvudtaget skall starta. För det andra är arealen skog med hög risk att bli angripen av granbarkborren (här definierad som $\geq 70\%$ gran och > 20 m beståndshöjd)

liten i skyddade områden jämfört med den totala skogsarealen definierad enligt ovan: ca 2 % i Götaland och ca 6 % i södra Norrland (Naturvårdsverket 2019; bara en mindre del av Svealand ingick så därför redovisas det inte). Det innebär att de allra flesta granbarkborrarna finns i den brukade skogen om man ser över stora regioner. I enskilda landskapsavsnitt kan andelen äldre gran i skyddade områden vara större eller mindre än genomsnittet.

6. Möjligheter att fastställa orsakssamband mellan angrepp i skyddade områden och i angränsande brukad skog

I det följande diskuteras vilka möjligheter det finns att koppla nya angrepp av granbarkborren till spridningskällor i det omgivande skogslandskapet. Eftersom fokus för denna rapport är skyddade områden utgår jag i det följande ifrån scenariot skyddade områden som spridningskällor till brukad skog. Naturligtvis kan en spridning av angrepp även ske från brukad skog till skyddade områden och mellan angränsande skogsfastigheter i den brukade skogen.

På vilket sätt man väljer att definiera ett orsakssamband är både en filosofisk och praktisk fråga. Filosofisk eftersom det inte är självklart hur ett orsakssamband skall definieras. Praktisk eftersom det finns begränsningar i vilka data det går att få fram att basera ett orsakssamband på. Ett sätt är att utgå ifrån vilken betydelse ett angrepp av granbarkborren i ett skyddat område har haft för uppkomsten av angrepp i den närliggande brukade skogen. Ett annat sätt är att utgå ifrån hur stor andel av alla barkborrarna som deltagit i angreppet i den brukade skogen som kommer från det skyddade området. Det senare finns det dock ingen möjlighet att avgöra. Därför utgår jag i fortsättningen från det första förslaget vilket kan delas upp i två typfall: (A) En sammanhållen grupp av angripna träd expanderar över gränsen från ett skyddat område ut i den brukade skogen. Med expansion menas här att nya träd angrips längs gruppens ytterkanter. (B) En ny grupp av angripna träd (dvs. rumsligt avgränsad från andra grupper) uppkommer i den brukade skogen i närheten av ett skyddat område

med en eller flera spridningskällor av granbarkborrar. Med spridningskälla avses platser där granbarkborren förökade sig under det föregående året och varifrån granbarkborrar därför kommer sprida sig på våren/försommaren under det följande året för att angripa träd. För grupper av angripna träd som uppkommer sent under säsongen kommer spridningskällorna dock utgöras av träd angripna tidigt under samma säsong (se nedan).

6.1 Mekanismer för spridning av angrepp

Mekanismen för hur spridningen av angreppet går till skiljer sig en del mellan de två typfallen. För typfall A (en sammanhållen grupp angripna träd expanderar ut i den brukade skogen) är den huvudsakliga mekanismen förmodligen att feromoner som avges från nyangripna träd inducerar sidoangrepp i närliggande träd vilket gör att en grupp av angripna träd fortlöpande kan expandera under en sommar (se bild 9). Man kan också tänka sig att en del av föräldradjuret, som lämnar de träd de först angrep på våren för att anlägga en syskonkull, angriper nya träd i ytterkanten av gruppen även vid frånvaro av pågående angrepp med feromonproduktion. Detsamma gäller i det fall en del av den nya generationen förökar sig samma säsong som de utvecklats. I bägge dessa senare fall har gruppen av årsangripna träd fungerat som en spridningskälla som bidragit till att gruppen expanderat. En grupp kan även fortsätta att växa från ett år till ett annat. Detta som ett resultat av en övervintrande population av granbarkborrar i



Bild 5. Inom den röda ringen syns en stormlucka med granar fällda av stormen Gudrun i naturreservatet Marieholmsskogen i Småland. Under den första sommaren (2005) efter stormen angreps bara stormfällda granar eftersom det fanns ett stort överskott av sådana i skogslandskapet. Under den andra sommaren (2006) fortsatte angreppen på de stormfällda granarna och dessutom angreps stående granar i kanten runt stormluckan. Angreppen på de stående träden under 2006 kan ha uppkommit både som ett resultat av att feromonavgivningen från de angripna stormfällda träden inducerade angrepp på närliggande träd och att en lokal population byggdes upp på platsen under 2005. Under de därpå följande åren expanderade gruppen av angripna träd ut i den omgivande skogen vilket är ett exempel på typfall A beskrivet i texten. Foto: Kjell Molin.

anslutning till fjolårsangripna träd och vindfällan (se avsnitt 4.2 och bild 5).

När det gäller typfall B (en ny och rumsligt avgränsad grupp av angripna träd uppkommer i den brukade skogen) är förmodligen det vanligaste att de initieras på våren/försommaren under huvudsavvirmningen, åtminstone när det gäller större grupper. Då kommer de angripande barkborrarna från spridningskällor i det omgivande landskapet.

Nya rumsligt avgränsade grupper kan också initieras senare på säsongen efter att huvudsavvirmningen är avslutad men vi vet inte hur vanligt detta är. Då utgörs spridningskällorna inte av fjolårsangripna träd utan istället av träd angripna under innevarande års huvudsavvirmning från vilka först föräldradjuren (som skall anlägga en

syskonkull), och senare en mindre andel av den nya generationen, kan sprida sig för att föröka sig. Jag bortser i fortsättningen från denna typ av angrepp av praktiska skäl. Detta eftersom det blir svårt att utreda orsakssambanden därför att: (1) När föräldradjuren efter huvudsavvirmningen lämnar sina först angripna träd är dessa träd i stor utsträckning fortfarande gröna vilket gör det svårt att identifiera dem som en spridningskälla. (2) När det gäller den nya generationen sker angreppen sent på säsongen och då kommer träden i den nya gruppen av angripna träd ofta fortfarande vara gröna på hösten. (3) Om inspektioner utförs på hösten är det svårt att tidsmässigt avgöra vilken grupp av årsangripna träd som initierades först.

6.2 Tidshorisont vid bedömning av orsakssamband

Man kan välja att utgå ifrån angrepp från den innevarande säsongen, föregående året, eller gå ännu längre tillbaka i tiden när man utreder orsakssamband. När det gäller grupper som expanderar från skyddade områden ut i den brukade skogen (typfall A) är det uppenbart att man bör beakta både grupper som expanderar under en och samma säsong och från ett år till ett annat (det senare i det fall att en grupp av fjolårsangripna träd sträcker sig just fram till gränsen mot den brukade skogen när sommaren är över och sedan nästa vår expanderar ut i densamma).

När det gäller typfall B är det rimligaste att utgå ifrån spridningskällor från tidigare år när man skall utreda ett orsakssamband (se avsnitt 6.1). Man kan då välja att gå ett år tillbaka i tiden (dvs. platser med fjolårsangripna grupper av träd som inte avverkades vid "rätt" tidpunkt utgör spridningskällor) eller att även beakta angrepp som skett flera år tillbaka i tiden. I Bilaga 1 beskrivs ett dokumenterat fall av det sistnämnda, där det först saknades (eller fanns få) angripna träd i några skyddade områden som sedan drabbades av en stormfällning och där de stormfällade träden fick ligga kvar. Som ett resultat av detta uppstod stora angrepp i de skyddade områdena som sedan utgjorde spridningskällor för angrepp i den närliggande brukade skogen. Man skulle då kunna hävda att barkborrar som producerats i den brukade skogen är orsaken till att denna situation uppkommit. Det finns dock både praktiska problem och en gränsdragningsproblematik med ett sådant resonemang: (1) Det är sällan man har detaljerad information om angrepp under flera tidigare år. (2) Var skall man sätta gränsen för hur många år bakåt i tiden som skall inkluderas? Dessutom, genom barkning eller uttransport av angripna träd under "rätt" tid under sommaren kan man förhindra uppkomst av stora lokala populationer på platser där man haft angrepp under tidigare år. Detta skulle kunna vara ett argument mot att inkludera angrepp mer än ett år tillbaka i tiden i bedömningarna. För skyddade områden är det dock de beslutade föreskrifterna som avgör vilka åtgärder som kan göras även om möjligheter till dispens kan finnas. För brukad skog finns det i normalfallet inget tvingande krav på skogsägare att avverka granbarkborredödade träd.

6.3 Typfall A – En grupp av angripna träd expanderar ut i den brukade skogen från ett skyddat område

Om en grupp av angripna träd expanderar över gränsen från ett skyddat område ut i angränsande brukad skog, så kan man på goda grunder hävda att orsaken till angreppen i den brukade skogen är angreppet i det skyddade området. Med andra ord, om inte gruppen av angripna träd uppkommit i det skyddade området så är det inte sannolikt att angreppet skulle ha startat just där i den brukade skogen.

I detta fall är den viktigaste mekanismen bakom expansionen att de feromoner som avges från nyligen angripna träd i gruppen leder till att även närstående träd blir angripna (se avsnitt 6.1). Det är med andra ord inte lika viktigt varifrån de angripande barkborrarna kommer. Det kan mycket väl vara så att huvuddelen av dem kommer från mer avlägsna spridningskällor belägna utanför det skyddade området.

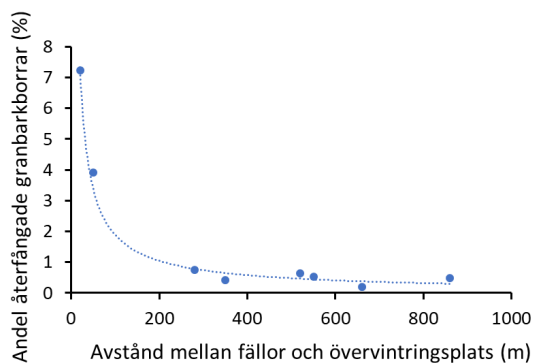
Grupper av angripna träd kan växa ihop över tid vilket försvårar bedömningar av vilka dödade träd som skall hänföras till vilken av de expanderande grupperna. Om detta är fallet krävs flera uppföljningar av angreppen under säsongen, innan grupperna växt ihop, för att reda ut detta.

6.4 Typfall B – En ny grupp av angripna träd uppkommer i den brukade skogen i närheten av ett skyddat område med spridningskällor

Som diskuterats ovan utgår vi i detta fall från spridningskällor bestående av platser med grupper av fjolårsangripna träd (som inte avverkats vid "rätt" tidpunkt) som kan bidra till uppkomst av nya grupper av dödade träd på nya platser (dvs. rumsligt avgränsade från spridningskällor). För att ett orsakssamband skall kunna föreligga med en specifik spridningskälla krävs för det första att den nya gruppen initieras på våren under huvudsvärmningen när barkborrarna lämnar sina övervintringsplatser (efter huvudsvärmningen utgör ju inte fjolårsangripna träd spridningskällor längre). Nästa steg är att bedöma hur viktig en specifik spridningskälla varit för uppkomsten av en ny grupp av dödade träd. Här finns det fyra faktorer att ta hänsyn till: (1) storleken på den utpekade spridningskällan (dvs. hur många fjolårsangripna träd utgörs den av som ett mått på

den lokala populationsstorleken), (2) avståndet från spridningskällan till den nya gruppen av dödade träd, (3) om det finns andra stora spridningskällor i närheten, samt (4) bakgrundspopulationens storlek (dvs. hur mycket barkborrar som kommer från mer avlägsna spridningskällor).

Det finns få studier över hur angreppen fördelar sig kring stora spridningskällor. I en studie utförd i en tysk nationalpark med stora områden med gammal granskog, och med stora granbarkborreangrepp, förekom 65 % av de nya angreppen inom 100 meter från närmast möjliga spridningskälla (Kautz m.fl. 2011). Studien gjorde ingen skillnad på angrepp som tillkom genom att befintliga grupper expanderade eller att nya grupper initierades.

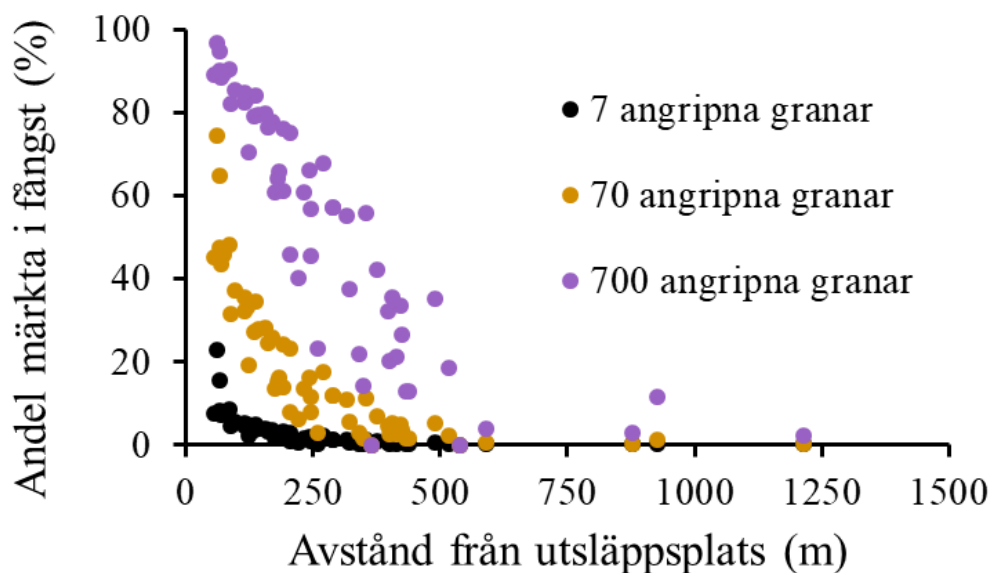


Figur 2. Resultat av ett försök där man märkt granbarkborrar direkt efter övervintring och återfångat dem i feromonbetade fällor på olika avstånd från två övervintringsplatser. I detta försök var det 2 – 4 fällor per återfångstplats (efter Lindelöw & Weslien 1986) och först publicerad i Schroeder & Weslien 2020.

En annan informationskälla är studier där man släppt ut märkta granbarkborrar och sedan undersökt hur stor andel av dem som återfångas i feromonbetade fällor på olika avstånd från utsläppsplatsen. Dessa studier visar att återfångsten sjunker dramatiskt med avståndet (Figur 2), dvs. man ser en kraftig utspädningseffekt med ökande avstånd från utsläppsplatsen (Lindelöw & Weslien 1986, Duelli m.fl. 1997). Detsamma kan antas gälla för enskilda spridningskällors bidrag (i form av barkborrar) till uppkomsten av nya angrepp i förhållande till bidraget från bakgrundspopulationen inklusive andra stora spridningskällor i närområdet.

Denna slutsats överensstämmer med en märknings-återfångststudie från Tyskland i vilken man även räknade antalet fångade omärkta granbarkborrar, dvs. de som kom från naturliga spridningskällor i landskapet (Hinze & John 2020). Utifrån dessa data beräknade Schroeder & Weslien (2020) hur stor andel av alla fångade barkborrar, på olika avstånd från utsläppsplatsen, som utgjordes av utsläppta märkta barkborrar (Figur 3). Dessutom gjordes en uppräkningsstudie till en 10 respektive 100 gånger större spridningskälla (dvs. 10 respektive 100 ggr flera barkborrar som sprider sig från spridningskällan) antaget samma bakgrundspopulation. Resultatet indikerar att beroende på spridningskällans storlek, så begränsar sig dess betydelse för uppkomsten av nya angrepp från några tiotals till hundratals meter ut i omgivande skog. Detta utifrån en vald definition att minst 50 % av de fångade barkborrarna skall komma från spridningskällan. Här kan man ju välja en annan minsta andel som skall komma från spridningskällan. Studien av Hinze & John (2020) utfördes i en situation när det var måttliga angrepp i det omgivande landskapet. Under ett utbrott, med högre bakgrundspopulation, bör därför avstånden på vilka en specifik spridningskälla bidrar med en viss andel av barkborrarna bli ännu kortare. Det är viktigt att påpeka att dessa procenttal gäller under en kort period när huvudsvärmningen startar och de flesta större nya grupper av angripna träd kan antas initieras. Ju längre säsongen lider, desto större betydelse kommer bakgrundspopulationen att få eftersom alla barkborrarna då för länge sedan redan lämnat sina övervintringsplatser (här definierade som spridningskällor).

Precis som för typfall A (expanderande grupper) kommer barkborrarna som deltar i angreppen i en ny grupp (typfall B) härröra från många olika spridningskällor i det omgivande landskapet. Det kan vara så att huvuddelen av de angripande barkborrarna kommer från dessa mera avlägsna spridningskällor om man ser till hur en sådan grupp växt till under en hel säsong.



Figur 3. Resultat från en tysk undersökning med feromonbetade fållor på olika avstånd kring en plats där 70 000 märkta granbarkborrar släpptes ut (Hinze & John 2020). Varje punkt motsvarar fångsten i en fålla och visar hur stor andel av alla fångade granbarkborrarna i fållan som var märkta, dvs. kom från den lokala spridningskällan (de omärkta kom från bakgrundspopulationen). De svarta punkterna baserar sig på originaldata för fångade märkta och omärkta barkborrar. De 70 000 utsläppta barkborrarna motsvarar antalet producerade granbarkborrar från ca 7 fjolårsangripna granar efter vinterdödlighet (diameter 28 cm vid 1,3 m höjd, 10 m² angripen barkyta per träd, 1500 producerade granbarkborrar per m² bark). De ljusbruna punkterna representerar produktionen från ca 70 och de lila från ca 700 angripna granar uppräknat från originaldata. Figuren publicerades först i Schroeder & Weslien 2020.

6.5 Vilken dokumentation krävs för att orsakssamband mellan spridningskällor och nya angrepp skall kunna utredas

För att kunna göra en bedömning av hur stor betydelse en spridningskälla i ett skyddat område haft för uppkomsten av angrepp i det omgivande brukade skogslandskapet krävs en bra dokumentation över var grupper av dödade träd, eller angripna stormfällade träd, funnits under föregående och innevarande år. Det är viktigt att angreppsåret för träden blir korrekt eftersom träd angripna längre tillbaka i tiden inte längre utgör spridningskällor. Större kvarlämnade grupper innehåller ofta träd dödade under flera år. Även storleken på grupperna (dvs. antal dödade träd) är viktig att dokumentera.

I skyddade områden med betydande angrepp av granbarkborre, och med angränsande äldre granbestånd i den brukade skogen, är det lämpligt att årligen dokumentera grupper av dödade träd

både i det skyddade området och i den angränsande brukade skogen om man vill kunna fastställa orsakssamband. Detta kan ske med markinventeringar, drönare eller helikopter. Även analyser av satellitbilder (t.ex. Skogsstyrelsens förändringsanalys) kan vara ett hjälpmedel men bör då kompletteras med något av ovanstående.

Ovanstående diskussion har helt fokuserat på betydelsen av spridningskällor av granbarkborre. Men som påtalats tidigare påverkas sannolikheten för uppkomst av angrepp av granbarkborre även av bestånds- och ståndortsegenskaper (se avsnitt 4.3).

6.6 Sammanfattning

En möjlighet att utreda orsakssamband mellan spridningskällor i skyddade områden (dvs. grupper av granar angripna av granbarkborren under föregående år) och nya angrepp i den brukade skogen är att utgå ifrån vilken betydelse pågående

angrepp och spridningskällor (i form av grupper av fjolårsangripna träd) kan ha haft för uppkomsten av de nya angreppen i den brukade skogen.

Angrepp kan delas upp i två typfall: (A) Att en grupp av angripna träd expanderar över gränsen ut i den brukade skogen. Detta kan ske både under en säsong och från ett år till nästa år. (B) Att en ny grupp (dvs. rumsligt avgränsad från andra grupper) uppkommer i den brukade skogen i närheten av ett skyddat område med stora spridningskällor.

Om en grupp av angripna träd expanderar över gränsen från ett skyddat område till angränsande brukad skog (dvs. typfall A), så kan man på goda grunder hävda att orsaken till detta är gruppen i det skyddade området.

När det gäller uppkomsten av en ny rumsligt avgränsad grupp av dödade träd (dvs. typfall B) är en första förutsättning för att ett orsakssamband skall kunna föreligga med en spridningskälla (dvs. en plats där träd angreps under föregående år) att den nya gruppen av angripna träd initieras på våren under huvudsvärmningen när barkborrarna lämnar sina övervintringsplatser. Nästa steg är att bedöma sannolikheten för att en specifik spridningskälla varit viktig för uppkomsten av en ny grupp av dödade träd vilket påverkas av: (1) storleken på den utpekade spridningskällan, (2) avståndet från spridningskällan till den nya gruppen av dödade träd, (3) om det finns andra stora spridningskällor i närheten, samt (4) bakgrundspopulationens storlek.

Data från en studie där man släppte ut märkta barkborrar och sedan räknade hur många märkta respektive omärkta barkborrar man fångade i fallor i det omgivande landskapet indikerar att en spridningskälla kan ha avgörande betydelse för uppkomsten av nya angrepp på avstånd från några tiotals till hundratals meter ut i omgivande skog beroende på spridningskällans storlek (Figur 3).

Det är viktigt att vara medveten om att barkborrarna som deltar i angreppen i en specifik grupp härrör från många olika spridningskällor i det omgivande landskapet. Det kan mycket väl vara så att huvuddelen kommer från dessa mera avlägsna spridningskällor om man ser till hur en grupp av dödade träd växt till under en hel säsong.

7. Åtgärder för att minska risken för angrepp av granbarkborren

I det följande beskrivs de viktigaste metoderna som använts för att minska angreppen av granbarkborren och deras effektivitet. Det är viktigt att vara medveten om att för skyddade områden begränsas alternativen av hur de områdesspecifika skötsel föreskrifterna är utformade. I det följande redogörs för de fyra metoderna feromonbetade fällor, fångstvirke, uttransport eller barkning av vindfällda granar, och avverkning och uttransport eller barkning av stående angripna granar.

7.1 Fällor betade med granbarkborrens feromon

Metoden har använts för att minska antalet granbarkborrar som lämnar skyddade områden med

stora angrepp men även för att minska antalet granbarkborrar som flyger in i skyddade områden och då kan angripa träd där. I brukad skog har fällor använts för massfångst över hela regioner och för att skydda enskilda bestånd. Regional massfångst diskuteras inte vidare eftersom det inte är aktuellt när det gäller skyddade områden.

Störst fångster av granbarkborrar får man i feromonbetade fällor som placeras på färsk granhyggen (Austarå m.fl. 1986, Schroeder 2013). Detta beror på att anlockningen av granbarkborrar till feromonet ökar kraftigt när det kombineras med terpendoft från gran. På färsk hyggen avges stora mängder doft från kvarlämnat avverkningsavfall i form av stubbar, grenar och toppar. För att minska risken för att angrepp induceras på stående träd bör man ha ett säkerhetsavstånd på åtminstone 20 m till närmaste gran från fällan.



Bild 6. Två olika typer av fällor som används för att fånga granbarkborrar. (A) Novefällan består av ett antal fångsttrattar som mynnar ned i en fångstburk i vilken barkborrarna samlas upp. (B) Trinetfällan består av ett uppspänt nät som innehåller en insekticid som är giftig för insekter som kommer i kontakt med nätet. Bägge fälltyperna laddas med ett feromonbete som är starkt anlockande för granbarkborren. Foto: Per-Erik Larsson.

En faktor som begränsar fallors effektivitet är det relativt korta avstånd som barkborrar, och andra insekter, klarar av att orientera sig fram till en feromonbetad fälla (Elkinton m.fl. 1987). Detta trots de extremt låga koncentrationer av feromoner som insekter kan uppfatta. När insekter detekterar en feromondoft börjar de flyga mot vinden för att hitta fram till doftkällan. Men turbulens i luften gör att det blir svårt att följa doften, som förekommer som små ”celler” i luften, fram till källan på större avstånd (Strand m.fl. 2009, Thistle m.fl. 2011). Det är svårt att uppskatta från vilket avstånd insekter kan lockas till en doftkälla. För barkborrar har det maximala avståndet uppskattats till ca 100 m (Schlyter 1992). Detta innebär dock inte att alla barkborrar hittar fram till, och fångas i, en feromonfälla från detta avstånd. Sannolikt är det bara en mindre andel. Inte minst beroende på att de måste komma flygande ifrån rätt riktning för att vinden skall kunna sprida doften till dem. Dessutom, på landskapsnivå konkurrerar naturliga feromonkällor (dvs. angripna stående eller vindfällna träd) som barkborrarna kan komma i kontakt med innan de kommer i närheten av en fälla.

7.1.1 Försök att med fallor minska antalet barkborrar som sprider sig från en stor spridningskälla

Metoden utvärderades i Osaby naturreservat efter stormen Gudrun. En inventering visade att det våren 2007 fanns ca 84 miljoner granbarkborrar i reservatet som utvecklats i stormfällna och stående träd under 2006 (Schroeder & Weslien 2006). Samtidigt fanns det inte längre några lämpliga vindfallen eller levande träd kvar att angripa i reservatet. Därför sattes 940 feromonbetade fallor ut i reservatet på våren 2007 för att fånga så många av barkborrarna som möjligt innan de lämnat reservatet. Totalt uppskattas att maximalt 11 % av de 84 miljonerna barkborrarna i reservatet fångades i fällorna. Maximalt eftersom ett okänt antal av de fångade barkborrarna kom från det omgivande landskapet. Trots ett stort antal fallor gick det alltså inte att förhindra att de allra flesta spred sig ut i den omgivande brukade skogen. Men, å andra sidan fångades ändå ett stort antal barkborrar, drygt 9 miljoner. Metoden skulle även kunna användas i stora grupper med kvarstående fjolårsdödade träd, dvs. stora spridningskällor, i skyddade områden.

Eftersom alla träd redan är döda är det ju då ingen risk att angrepp skall induceras på närstående träd. Det saknas studier över hur effektiva fallor är i en sådan situation. Feromonbetade fallor riskerar inte att döda särskilt många andra insekter eftersom feromonet är så artspecifikt och därför inte lockar särskilt många andra arter. Feromonbetena är ofta också modifierade för att minska anlockningen av granbarkborrens fiende myrbaggen som lockas av feromonet. Andra fiender, som parasitsteklar och rovlövandeflugor fångas inte i någon högre grad i den typ av trattfallor som ofta används.

7.1.2 Försök att med fallor minska risken för angrepp i angränsande bestånd

I sex undersökningar har det studerats om man med feromonbetade fallor, eller feromonbetat fångstvirke behandlat med insekticider (härefter också benämnt som fallor), kan minska barkborreangreppen i angränsande bestånd. En detaljerad beskrivning av undersökningarna finns i bilaga 2. I samtliga studier placerades fällorna på hyggen, på ca 10 – 30 m avstånd från beståndskanter av gran. Antalet dödade träd, eller dödad volym, uppskattades sedan på hösten, oftast inom 100 m från fällorna (300 m i en av studierna), och dessutom från kontrollpunkter utan fallor (vid andra beståndskanter av gran på andra hyggen). Två av undersökningarna (bägge från Sverige) utfördes på landskapsnivå, dvs. man delade in ett antal större skogsområden (1300 – 10000 ha) i två delar där fallor användes i den ena halvan och den andra halvan utgjorde kontrollområde utan fallor. Tanken med detta är att man med många fallor i ett större område skall kunna minska antalet barkborrar över hela området och därmed få en större skyddseffekt av fällorna vid de enskilda beståndskanterna. I den ena studien kunde man inte påvisa någon effekt av fällorna (Larsson & Gustavsson 2020) medan i den andra uppskattar man att angreppen reducerades med i genomsnitt 31 % (inom 100 m från fällorna) i de landskapsavsnitt där fallor användes (Larsson odaterad rapport).

I de fyra resterande studierna undersöktes om man för enskilda beståndskanter kan minska angreppen av granbarkborren med hjälp av feromonbetade fallor. Tre av dem (Larsson m.fl. (2021) utförd i Sverige, Kuhn m.fl. (2022) utförd i Belgien och Deganutti m.fl. (2023) utförd i Italien) visade ingen signifikant skillnad i antal

dödade träd mellan platser med respektive utan fallor, medan den fjärde (Faccoli & Stergulc (2008) utförd i Italien) påvisade en stor minskning (drygt 80 %) av angrepp på platser med fallor men ingen motsvarande minskning på platser utan fallor. Det innebär att resultatet av denna studie skiljer sig från övriga studier. Dessutom skiljer den sig genom att alla dödade träd räknades inom 300 m istället för 100 m. Detta gör resultatet ännu mer anmärkningsvärt eftersom effekten av fallor bör avta kraftigt med avståndet. Det finns ingen självklar förklaring till det avvikande resultatet i studien av Faccoli & Stergulc (2008). För en diskussion om detta se Kuhn m.fl. (2022). I studien av Deganutti m.fl. (2023) ingick även ett försöksled med en kombination av feromonbetade fallor och att beten med för granbarkborren avskräckande doftämnen sattes på granarna i beståndskanten. Under ett av två år resulterade detta i en signifikant minskning av dödade träd.

Sammanfattningsvis talar det mesta för att det är osannolikt att man kan påverka risken för angrepp i ett skyddat område med hjälp av fallor. Tre av fyra studier, utförda i lokal skala, visade ingen statistiskt säkerställd minskning av angreppen i angränsande bestånd, och en av två studier på landskapsnivå kunde påvisa en svag effekt. I de allra flesta fall lär det dessutom vara svårt att hitta lämpliga hyggen att sätta fallor på i direkt anslutning till skyddade områden. På längre avstånd än de 10 – 20 m använda i ovannämnda studier så finns det ännu mindre anledning att tro att det skall finnas en effekt.

7.2 Fångstvirke betat med granbarkborrens feromon

Syftet med fångstvirke är detsamma som för fallor, dvs. att fånga granbarkborrar. Metoden går ut på att man faller granar, eller lägger ut färsk granstockar, som man sätter feromonbeten på för att de skall angripas av granbarkborrar. Det angripna virket körs sedan ut ur skogen och på det sättet oskadliggörs de angripande barkborrarna och deras avkommor. Jämfört med feromonfallor kräver denna metod mycket mer logistik i form av fällning, transport, utläggning av fångstvirket på önskad plats och uttransport vid korrekt tid. Det är mycket viktigt att fångstvirket körs ut ur skogen allra senast innan den nya generationen börjar kläckas, annars har man istället skapat en

ny spridningskälla. Det bästa är om fångstvirket körs ut medan föräldradjuren fortfarande är kvar i virket. Metoden har också den begränsningen att när fångstvirket är fullt angripet så fångar man inte några flera granbarkborrar. Däremot fångar fallor så länge feromonbetet avger feromoner och de töms regelbundet (doften av ruttnande barkborrar minskar fångsten). Det finns alltså ingen anledning att tro att fångstvirke skulle vara effektivare än fallor.

7.3 Uttransport eller barkning av vindfällda granar

När det gäller större mängder av stormfällda träd som skall oskadliggöras är det mest rationella att använda sig av en skördare för upparbetning av stammarna. När det gäller mindre mängder kan manuell avverkning med motorsåg vara ett alternativ. Detsamma gäller förstås för stående angripna träd som avhandlas i avsnitt 7.4 nedan. Om man önskar att stammarna skall ligga kvar måste de barkas för att förhindra att granbarkborrarna angriper dem och förökar sig i dem.

Barkning av vindfällda träd kan utföras manuellt med barkspade eller motormanuellt med motorsåg eller motorsåg försedd med någon typ av aggregat som flisar eller gör spår i barken (Zarges m.fl. 2023). Ibland används metoder där man lämnar barkkremсор (randbarkning) på stammen eller bara sågar eller fräser ut långsgående spår i barken för att den skall torka ut och därmed bli otjänlig för granbarkborren. I en undersökning (utförd i tre skyddade områden under utbrottet efter stormen Gudrun) studerades hur effektivt randbarkning med barkspade, eller att såga ut spår i barken med motorsåg, på vindfällda träd före granbarkborrens svärmning förhindrade granbarkborrens förökning (Björklund 2009). De kvarsittande barkkremсорna varierade i bredd från 5 till 10 cm. Resultatet visade att det inte var någon skillnad i granbarkborrens förökningsframgång (dvs. antalet producerade avkommor per hona) mellan 5 eller 10 cm breda barkkremсор, eller mellan randbarkade och icke barkade träd. Dessutom angreps de randbarkade vindfällda träden i minst lika hög grad som träden som inte barkades. Det innebär att man med åtgärderna inte lyckades förhindra att barkborrarna angrep träden och att mängden producerade barkborrar bara minskade lika mycket som den andel av barken man avlägsnade

från stammarna (studien utfördes under en regnig sommar vilket innebär att resultatet kanske blivit annorlunda under en varm och torr sommar).

I en annan undersökning, utförd i tyska alperna, jämfördes hur effektivt manuell barkning med barkspade, jämfört med att fräsa ut längsgående spår i barken med ett aggregat monterat på motorsåg, reducerade produktionen av granbarkborrar från nyligen angripna stockar (Zarges m.fl. 2023). De manuellt barkade stockarna producerade i princip inga barkborrar alls medan man uppskattade att fräsningen av spår reducerade produktionen med mer än 95 % eller mer beroende på hur noggrant det var gjort. Avståndet mellan spåren var 16 mm och bredden på spåren 14 mm. En fördel med aggregatet var att det gick dubbelt så fort att behandla ett träd jämfört med barkning med barkspade. Dessutom producerades det en del andra vedlevande skalbaggar ur stockarna med spår medan nästan inget kläcktes ur de barkade stockarna vilket är en fördel ur biodiversitetssynpunkt. En svaghet med studien är att det inte ingick några obehandlade stockar och därför baserar sig uppskattningen av reduktionen av granbarkborrar på tidigare publicerad uppgifter om produktion per m² bark. Dessutom är det inte möjligt att utvärdera hur stor minskning av produktion av andra skalbaggsarter som åtgärderna medförde.

Slutsatsen blir att man vid barkning skall sträva efter att få bort så mycket av barken som möjligt och inte lämna för breda intakta barkkremor. Om barkningen utförs efter att den nya generationen granbarkborrar utvecklats till aduler är det viktigt att barken fräses till spån eftersom de annars kan överleva i barkbitar.

7.3.1 Få vindfällda granar

Största risken med att lämna enstaka, eller några få, vindfällda granar på en plats är att om de blir angripna av granbarkborren så avger barkborrarna feromoner som då kan inducera angrepp på närstående träd. Sannolikheten för att sådana angrepp på stående träd skall lyckas är störst när det är utbrott. Om man vill undanröja denna risk måste barkning, eller uttransport, av de vindfällda träden ske innan granbarkborrens svärmning startar på våren. Om man väljer barkning är det viktigt att all bark avlägsnas. Den doft av terpenier som avges från avverkningsrester, eller barkade träd, anlockar

bara svagt granbarkborren (se avsnitt 3.5). Därför bör åtgärden i sig själv inte leda till någon avsevärt ökad risk för angrepp på platsen. Dessutom skapar man ju ingen lucka i beståndet med åtgärden som skulle kunna öka risken för angrepp eftersom man inte tar bort några stående träd (luckan finns ju redan där som ett resultat av de vindfällda träden).



Bild 7. Vindfälld gran som nyligen angripits av granbarkborrar. Varje bormjölshög representerar en hane som borrat sig in och börjat avge feromoner som lockar honor och andra hanar. Feromonavgivningen ökar risken för att även närstående träd skall angripas. Under utbrott, när det finns många granbarkborrar, ökar risken att sådana sidoangrepp på närstående träd skall lyckas och därmed träden dödas. Foto: Martin Schroeder.

7.3.2 Många vindfällda granar

Den effektivaste metoden att minska risken för stånds-kogsangrepp i anslutning till stormluckor är att transportera ut de vindfällda träden innan svärmningen startar. Barkning kan också vara ett alternativ men är mycket arbetskrävande om det handlar om många träd. Dessutom bör i princip all bark avlägsnas (se ovan). Med åtgärderna förhindrar man dels att angrepp på de vindfällda träden inducerar angrepp på närstående träd och dels att det byggs upp lokala populationer av barkborrar



Bild 8. Stormlucka efter stormen Gudrun. Om stormfällda träd lämnas kvar och angrips av granbarkborren riskerar man dels att feromonavgivningen från de angripna stormfällda träden inducerar sidoangrepp på närliggande träd och dels att en spridningskälla skapas som under det följande året ökar risken för angrepp i stormluckans kanter och i det omgivande landskapet. Foto: Martin Schroeder.

(dvs. spridningskällor) som kan leda till angrepp i angränsande bestånd under det följande året (se avsnitt 4.2 och bild 5).

Andelen vindfällna träd som koloniserar av granbarkborren verkar inte påverkas av hur stor stormluckan är (dvs. hur många träd där ligger) vilket kan vara bra att veta om man måste prioritera mellan områden (Eriksson m.fl. 2005, Schroeder 2008, Schroeder 2010). Om avverkningen sker när barkborrarna hunnit utvecklas till aduler är risken stor att många av dem överlever i bark som blir kvar i skogen (se avsnitt nedan om avverkning av stående angripna träd).

Även om man oskadliggör de vindfällna träden riskerar man ändå att få angrepp i nyexponerade beståndskanter av gran runt stormluckorna. I en studie utförd efter en stormfällning i södra Sverige jämfördes antalet dödade träd per ha i bestånd gränsande mot upparbetade stormluckor (dvs.

hyggen) i brukad skog med angrepp i reservat där alla de stormfällna träden lämnades kvar i stormluckorna (Schroeder & Lindelöw 2002). Under en fyraårsperiod dödades dubbelt så många träd per ha i reservaten (där de stormfällna träden lämnades) jämfört med i de brukade bestånden gränsande till de upparbetade stormluckorna. Mycket talar för att skillnaden egentligen var större mellan reservaten och den brukade skogen eftersom de brukade bestånden till större del bestod av kantzoner (där de flesta angreppen skedde) än reservaten. Dessutom beror utfallet av en upparbetning av stormluckor på hur angripna träd i de angränsande bestånden hanteras, dvs. om man upparbetar dem i tid eller lämnar kvar dem (se nedan) och hur utbrottet i stort utvecklas.

7.4 Uttransport eller barkning av angripna stående träd

Att i rätt tid hinna upparbeta angripna stående träd är betydligt svårare än fallet med vindfällda träd. För det första är de betydligt svårare att upptäcka än vindfällda träd (se avsnitt 7.6 för vilka metoder som kan användas). Detta gäller inte minst vid starten av utbrott som initierats av varma och torra somrar när man fortfarande inte vet om det kommer att bli ett utbrott eller inte. För det andra har man oftast mycket kortare tid på sig att utföra åtgärder jämfört med vindfällda träd eftersom de flesta stormfällningar inträffar under höst/vinter. Risken för angrepp på stående träd är störst i bestånd där det under det föregående året byggts upp stora lokala populationer i stormfällda eller stående träd (dvs. där man haft stora angrepp), i nyexponerade beståndskanter med äldre granskog, i volymrika äldre granbestånd och på ståndorter där granskogen är stressad (se avsnitt 4).

Metoden att avverka och transportera ut angripna träd ur skogen för att oskadliggöra barkborrarna benämns ofta också som Sök och Plock. I den brukade skogen är huvudmotivet ofta att rädda virkesvärdet av de dödade träden medan man ser en reduktion av mängden barkborrar (som följer med de avverkade träd ut ur skogen) som en bonus. I de skyddade områden där avverkning är en tillåten åtgärd kan motivet vara att reducera mängden barkborrar och därmed minska risken för fortsatta angrepp i området. I det följande tas därför inte aspekten med virkesvärdet upp. I skyddade områden kan ett alternativ till avverkning med skördare vara att manuellt fälla träden och barka dem och därefter lämna kvar de barkade stammarna.

Det finns två sätt att utvärdera effekten av avverkning av angripna träd på: (1) hur stor reduktionen av barkborrar blir jämfört med om träden lämnas kvar och (2) hur stor sannolikheten är för fortsatta angrepp i bestånd där angripna träd avverkas jämfört med i bestånd där de lämnas kvar. Kunskapsläget för dessa två utvärderingsmetoder beskrivs i de följande två avsnitten.

7.4.1 Reduktion av barkborrar

Störst bekämpningseffekt får man om angripna träd avverkas och transporteras ut ur skogen eller barkas under sommaren när barkborrarna fortfarande är larver eller puppor. Detta eftersom dessa

stadier inte överlever i avskalade barkbitar vilket däremot fullt utvecklade barkborrar (dvs. aduler) kan göra i stor utsträckning. I praktiken kan det vara svårt att hinna avverka angripna träd innan barkborrarna utvecklats till aduler. Detta eftersom det är svårt att upptäcka angripna träd tidigt medan kronan fortfarande är grön. Om träden dessutom skall avverkas med skördare krävs en god framförhållning för att få en sådan på plats och under utbrott kan också skördarkapaciteten vara en begränsande faktor. Vid en sommaravverkning, när det finns risk för fortsatta angrepp under säsongen, kan det vara klokt att även avverka en ”kappa” av till synes oangripna träd eftersom det kan vara svårt att se angrepp som just startat i övre delen av träden. Dessutom bör man göra ytterligare en inspektion av beståndet några veckor senare för att försäkra sig om att angreppen inte fortsatt trots avverkningen.

När det gäller avverkningar av angripna träd på vintern, som varit vanligt under de senaste åren i den brukade skogen, har en ny undersökning visat att reduktionen av barkborrar jämfört med att lämna kvar träden är betydligt lägre jämfört med om åtgärden görs på sommaren (Weslien m.fl. 2022a). Undersökningen pekar på tre viktiga faktorer som bidrar till detta. För det första övervintrar i medeltal bara knappt hälften av den nya generationen av granbarkborrar i barken på stående träd medan resten övervintrar i marken i Götaland och i södra och mellersta Svealand. Längre norrut är andelen övervintrare i barken ännu lägre. För det andra så lossnar mycket av barken och blir kvar i skogen vid skördaravverkning av angripna träd och barkförlusten blir extra stor när barken inte är fastfrusen. För det tredje visade undersökningen att en hög andel av granbarkborrarna i sådan avskalad bark överlever vintern. Sammantaget innebär detta att i bästa fall (hög andel övervintrar i barken och fastfrusen bark vid avverkningen) reduceras antalet barkborrar med ca 40 % och i sämsta fall (lägre andel övervintrar i barken och ingen fastfrusen bark) med ca 20 % (Weslien m.fl. 2022a). Även hur mycket av barken som finns kvar på träden vid avverkningen påverkar resultatet. Om det mesta av barken redan ramlat av så blir bekämpningseffekten förstås liten.

En annan aspekt som talar mot vinteravverkning av granbarkborredödade träd är att en grupp av granbarkborrens viktigaste fiender, styltflugor

av släktet *Medetera* (vars larver äter granbarkborrens utvecklingsstadier under barken) nästan uteslutande verkar övervintra i barken på barkborreangripna träd. Det innebär att vid en vinteravverkning så kommer stultflugorna drabbas hårdare än granbarkborrarna eftersom drygt hälften av barkborrarna övervintrar i marken. I skyddade områden, där virkesvärdet av avverkade träd inte är huvudfokus, så talar detta för att vänta med en eventuell avverkning tills efter det att stultflugorna lämnat träden, d.v.s. under följande sommar. Man har då även en möjlighet att passa på att avverka eventuellt nyangripna träd vid "rätt" tidpunkt. Det är viktigt att vara medveten om att med avverkning av döda träd riskerar man en negativ påverkan på hackspettar och andra organismer som är beroende av död ved (Basile m.fl. 2023).

7.4.2 Sannolikheten för fortsatta angrepp på platser där angripna träd avverkats

Även om man avverkar grupper av träd under "rätt" tid (dvs. när barkborrarna fortfarande är larver eller puppor), och därmed undviker att en lokal övervintrande population uppstår, så kan det ändå finnas en risk för angrepp i de nyexponerade kanterna runt avverkningsluckan (se avsnitt 4.3 och bild 9). Denna risk skall då ställas mot risken med att lämna kvar de angripna träden. För stora grupper med angripna träd är det uppenbart att risken för fortsatta angrepp riskerar att bli avsevärt mycket större om träden lämnas kvar jämfört med om de avverkas under "rätt" tid. Däremot är det oklart för mindre grupper som ofta bara existerar under ett år (Kärvemo m.fl. 2016). Tyvärr saknas det fortfarande experimentella undersökningar där man jämfört risken för angrepp på platser där



Bild 9. Bilden visar angrepp av granbarkborren i kanten kring en mindre avverkad yta där träd angripna under föregående år avverkats. Risken för att angreppet skall fortsätta, trots avverkning av angripna träd, ökar om avverkningen sker efter det att barkborrarna hunnit utvecklas till aduler och om avverkningen sker på vintern när en del av barkborrarna lämna träden för övervintring i marken. Bilden visar också att träden närmast luckan angreps först (träden har hunnit bli gråa) och att angreppen senare under sommaren spridit sig längre in i beståndet.

Foto Per-Erik Larsson.

avverkning av angripna träd skett under ”rätt” tid med platser där träden lämnats kvar. Men en studie baserad på skördardata indikerar att när granbarkborreangripna träd avverkats under sommaren så minskar sannolikheten för nya avverkningar av dödade träd under följande säsong (Weslien m.fl. 2022b).

Om grupper av angripna träd istället avverkas på hösten eller vintern kommer risken för fortsatta angrepp i kanterna kring avverkningsluckan öka markant jämfört med om de avverkas vid ”rätt” tid eftersom man då kommer ha en lokal övervintrande population på platsen (se avsnitt 7.4.1). En mindre studie jämförde risken för angrepp vid våravverkning (före granbarkborrens svärmning) av 10 grupper av fjolårsangripna träd med 10 grupper där ingen avverkning skedde (Johansson 2020). Medelstorleken för grupperna var 30 angripna träd (avverkade 4 – 59 träd, kontroll 12 – 41 träd). Det fanns en trend att färre träd dödades under det kommande året där avverkning skett men skillnaden var inte statistiskt signifikant.

7.5 Åtgärder i en yttre zon i skyddade områden

Om huvudmålet med avverkning och uttransport (eller barkning) av ej angripna eller angripna vindfällda träd, och av stående angripna träd, är att förhindra att angrepp sprider sig från skyddade områden ut i den brukade skogen kan man tänka sig att man utför åtgärderna i en yttre zon för att utöka avståndet mellan större spridningskällor som kan uppkomma i det skyddade området till omgivande brukad skog (Hlásny m.fl. 2021). Detta är förstås bara möjligt för större skyddade områden och bara aktuellt i de fall det skyddade området gränsar till granskog.

7.6 Lokalisering av angripna stående träd

Som nämnts ovan är en förutsättning för att en avverkning skall vara maximalt effektiv att den utförs innan barkborrarna utvecklats till aduler. För att detta skall vara möjligt krävs att angreppen upptäcks tidigt medan träden ofta fortfarande har grön krona. En möjlighet är inspektioner från marken av förekomst av borrmjöl vid stambasen på enskilda träd. Eftersom detta är mycket tidsödande bör en sådan inspektion inriktas mot de områden där risken för angrepp är störst (se avsnitt 4). När det gäller förekomst av större grupper av

fjolårsangripna träd (med stor risk för fortsatta angrepp) har Skogsstyrelsen på sin hemsida under de senaste åren tillhandahållit en s.k. förändringsanalys baserad på satellitbilder som kan utnyttjas för att identifiera sådana. Den lämpar sig särskilt väl för skyddade områden eftersom de dödade träden oftast får stå kvar där och gallringar och andra avverkningsåtgärder som kan störa analysen sällan genomförs där. Det finns även företag som utnyttjar specialtränade hundar för att identifiera pågående angrepp under sommaren. Undersökningar har visat att hundar snabbare hittar angrepp än vad experter gör. För en genomgång av litteraturen om detta se Vošvrđová m.fl. (2023).

När det gäller fjärranalys så finns ännu ingen metod som på ett tillfredställande sätt tidigt kan detektera granbarkborreangripna träd medan träden fortfarande är gröna. En experimentell studie utförd i Sverige, i vilken enskilda granar betades med feromoner för att inducera angrepp av granbarkborren, visade att med hjälp av multispektrala bilder tagna från en drönare kunde 15 % av angripna träd detekteras 5 veckor efter att de blivit angripna (då var kronorna fortfarande gröna, se nedan) medan efter 10 – 15 veckor upptäcktes 87 – 94 % av de angripna träden (Huo m.fl. 2023). Veckovisa inspektioner av de angripna träden visade att det tog 7 veckor, efter att träden blivit angripna, innan de första träden (ca 10 % av träden) började skifta färg i kronan för det mänskliga ögat. Det tog 10 veckor innan 50 % av träden skiftat färg. Artikeln diskuterar även tidigare studier när det gäller fjärranalys och tidig upptäckt av barkborreangripna träd.

7.7 Sammanfattning

I skyddade områden där man vill undvika angrepp av granbarkborren kan det vara en klok åtgärd att transportera ut eller barka även enstaka vindfällda granar under utbrott. Detta för att undvika risken att angrepp induceras på närstående träd. Det är viktigt att åtgärden görs innan barkborrarna börjar svärma på våren. Den effektivaste metoden att minska risken för ståndslogsangrepp i anslutning till större stormluckor är att transportera ut eller barka de vindfällda träden innan svärmningen startar. Då förhindrar man dels att angrepp på de stormfällda träden inducerar angrepp på närstående träd och dels att det byggs upp lokala populationer av barkborrar som kan angripa angränsande

bestånd under det följande året. När det gäller stående angripna träd är det viktigt att avverkningen sker på sommaren medan granbarkborrarna fortfarande är larver eller puppor. Detta eftersom adulta granbarkborrar i stor utsträckning överlever i bark som lossnar vid skördaravverkning, eller i barkstycken från handbarkning, och då blir kvar i skogen. Vinteravverkning med skördare, eller handbarkning, har bara en begränsad bekämpningseffekt eftersom att huvuddelen av barkborrarna övervintrar i marken och mycket bark med barkborrar blir kvar i skogen. Dessutom drabbas en av granbarkborrens viktigaste fiender, stultflugor av släktet *Medetera*, hårdare än granbarkboren vid vinteravverkning. Det är framförallt för större grupper av angripna träd man kan förvänta sig att en avverkning under "rätt" tid kraftigt kan minska risken för angrepp under följande år. När det gäller mindre grupper av angripna träd som lämnas kvar fortsätter sällan angreppen under det följande året och därför är det mer osäkert om en avverkning minskar sannolikheten för fortsatta angrepp på platsen. Det är osannolikt att man kan påverka risken för angrepp i ett skyddat område med hjälp av feromonbetade fällor som placeras i närområdet utanför det skyddade området. Med fällor i skyddade områden med stora populationer av granbarkborrar kan man i viss mån reducera antalet barkborrar som sprider sig ut i den brukade skogen men bara marginellt minska risken för att nya angrepp skall uppkomma i angränsande brukad skog.

8. Kunskapsluckor gällande granbarkborre och skyddade områden

Det finns flera kunskapsluckor när det gäller granbarkborren som framtida forskning förhoppningsvis kan täppa till. Några av de viktigaste är:

Hur stor är risken för följdangrepp i bestånd där grupper av angripna träd avverkas under ”rätt” tid och hur påverkas denna risk av storleken på de avverkade grupperna?

Är det skillnad i angreppsrisk mellan olika typer av blandskog, t.ex. gran- tall jämfört med gran-björk?

Hur påverkar beståndstyp och ståndort risken för angrepp under varma och torra somrar?

Vilka är de viktigaste faktorerna som avgör om ett angreppsförsök på en ny plats lyckas (t.ex. den lokala populationens storlek, bakgrundspopulationens storlek, beståndstyp, trädens vitalitet)?

I vilka situationer gynnas respektive missgynnas biodiversiteten av att granbarkborren dödar träd?

Dessutom skulle det vara värdefullt med en fungerande fjärranalysmetod för att upptäcka angripna träd tidigt på säsongen.

9. Referenser

- Austarå Ø, Bakke A, Midtgaard F (1986) Response in *Ips typographus* to logging waste odours and synthetic pheromones. *Journal of Applied Entomology* 101: 194–198.
- Basile M, Krištin A, Mikusiński G, Thorn S, Žmihorski M, Pasinelli G, Brockerhoff EG (2023) Salvage logging strongly affects woodpecker abundance and reproduction: a meta-analysis. *Current Forestry Reports* 9: 1–14.
- Birgersson G, Schlyter F, Bergström G, Löfqvist J (1988) Individual variation in aggregation pheromone content of the bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology* 14: 1737–1761.
- Björklund N (2009) Utvärdering av barkning av vindfälld gran som en bekämpningsåtgärd mot granbarkborre. Publicerad på Hallands Länsstyrelses hemsida (www.lansstyrelsen.se/halland) 17 februari 2009.
- Botterweg PF (1982) Dispersal and flight behaviour of the spruce bark beetle *Ips typographus* in relation to sex, size and fat content. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 94: 466–489.
- Cours J, Bouget C, Barsoum N, Horak J, Souchu Le E m.fl. (2023) Surviving in changing forests: abiotic disturbance legacy effects on arthropod communities of temperate forests. *Current Forestry Reports* 9: 189–218.
- Deganutti L, Biscontin F, Bernardinelli I, Faccoli M (2023) The semiochemical push-and-pull technique can reduce bark beetle damage in disturbed Norway spruce forests affected by the Vaia storm. *Agricultural and Forest Entomology*, DOI: 10.1111/afe.12600
- Duelli P, Zahradnik P, Knizek M, Kalinova B (1997) Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *Journal of Applied Entomology* 121: 297–303.
- Elkinton JS, Schal C, Ono T, Cardé RT (1987) Pheromone puff trajectory and upwind flight of male gypsy moths in forest. *Physiological Entomology* 12: 399–406.
- Ellerstrand SJ, Choudhury S, Svensson K, Andersson MN, Kirkeby C, Powell D, Schlyter F, Jönsson AM, Brydegaard M, Hansson B, Runemark A (2022) Weak population genetic structure in Eurasian spruce bark beetle over large regional scales in Sweden. *Ecology and Evolution* 2022;12:e9078.
- Erbilgin N, Krokene P, Kvamme T, Christiansen E (2007) A host monoterpene influences *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) responses to its aggregation pheromone. *Agricultural and Forest Entomology* 9: 135–140.
- Eriksson M, Poutto A, Roininen H (2005) The influence of windthrow area and timber characteristics on colonization of wind-felled spruces by *Ips typographus* (L.). *Forest Ecology and Management* 216: 105–116.
- Faccoli M, Stergulc F (2008) Damage reduction and performance of mass trapping devices for forest protection against the spruce bark beetle, *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae Scolytinae). *Annals of Forest Science* 65(3): 309.
- Forsse E (1989) Flight duration of eleven species of bark beetles (Scolytidae) and observations of aerial height distribution. Migration in bark beetles with special reference to the spruce bark beetle *Ips typographus*. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Forsse E, Solbreck C (1985) Migration in the bark beetle *Ips typographus* L.: duration, timing and height of flight. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 100: 47–57.
- Fritscher D, Schroeder M (2022) Thermal sum requirements for development and flight initiation of new-generation spruce bark beetles based on seasonal change in cuticular colour of trapped beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 24: 405–421.
- Gandhi KJK & Hofstetter RW (2022) Bark beetle management, ecology, and climate change. Academic Press, ISBN 978-0-12-822145-7.

- Göthlin E, Schroeder M, Lindelöw Å (2000) Attacks by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* on windthrown spruces (*Picea abies*) during the two years following a storm felling. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 542–549.
- Hedgren PO, Schroeder M (2004) Reproductive success of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) and occurrence of associated species: a comparison between standing beetle-killed trees and cut trees. *Forest Ecology and Management* 203: 241–250.
- Hedgren PO, Schroeder M, Weslien J (2003) Tree killing by *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at stand edges with and without colonized felled spruce trees. *Agricultural and Forest Entomology* 5: 67–74.
- Hinze J, John R (2020) Effect of heat on dispersal performance of *Ips typographus*. *Journal of Applied Ecology* 144: 144–151.
- Hlásny T, König L, Krokene P, Lindner M, Montagné-Huck C, Müller J, Qin H, Raffa KF, Schelhaas M-J, Svoboda M, Viiri H, Seidl R (2021) Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management. *Current Forestry Reports* 7: 138–165.
- Huo L, Lindberg E, Bohlin J, Persson HJ (2023) Assessing the detectability of European spruce bark beetle green attack in multispectral drone images with high spatial- and temporal resolutions. *Remote Sensing of Environment* 287 (2023) 113484.
- Jaakola E, Gärtner A, Jönsson AM, Ljung K, Olsson PO, Holst T (2023) Spruce bark beetles (*Ips typographus*) cause up to 700 times higher bark BVOC emission rates compared to healthy Norway spruce (*Picea abies*). *Biogeosciences* 20: 803–826.
- Johansson J (2020) Bekämpningseffekten vid vinteravverkning av granbarkborreangripna träd. Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet 2020: 30. <https://stud.epsilon.slu.se/>
- Kautz M, Dworschak K, Gruppe A, Schopf R (2011) Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management* 262: 598–608.
- Krokene P (2015) Conifer defense and resistance to bark beetles. I “Bark beetles – biology and ecology of native and invasive species (redaktörer Vega FE, Hofstetter RV). Academic Press, ISBN: 978-0-12-417156-5.
- Kuhn A, Hautier L, San Martin G (2022) Do pheromone traps help to reduce new attacks of *Ips typographus* at the local scale after a sanitary cut? *PeerJ* 10:e14093.
- Kärvemo S, Huo L, Öhrn P, Lindberg E, Persson, HJ (2023) Different triggers, different stories: Bark-beetle infestation patterns after storm and drought-induced outbreaks. *Forest Ecology and Management* 545, 121255.
- Kärvemo S, Johansson V, Schroeder M, Ranius T (2016) Local colonization–extinction dynamics of a tree-killing bark beetle during a large-scale outbreak. *Ecosphere* 7(3) e01257.
- Kärvemo S, Rogell B, Schroeder M (2014a) Dynamics of spruce bark beetle infestation spots: Importance of local population size and landscape characteristics after a storm disturbance. *Forest Ecology and Management* 334: 232–240.
- Kärvemo S, Van Boeckel TP, Gilbert M, Grégoire JC, Schroeder M (2014b) Large-scale risk mapping of an eruptive bark beetle – importance of forest susceptibility and beetle pressure. *Forest Ecology and Management* 318: 158–166.
- Larsson P-E. Effekt av fångstvirkesfällor på näraliggande skog 2008. Odaterad rapport.
- Larsson P-E, Gustavsson K (2020) Effekt av granbarkborrefällor på närliggande skog 2019 – ett samarbetsprojekt mellan Sveaskog, Södra och Holmen. Rapport januari 2020.
- Larsson P-E, Isacson G, Rosenberg O, Weslien J-O & Örlander G (2021) Projekt ”granbarkborre 2020” – granbarkborrefällors fångstförmåga och effekt på närliggande skog. Skogforsk, arbetsrapport 1078-2021.
- Lehmanski LMA, Kandasamy D, Andersson MN, Netherer S, Alves EG, Huang, J, Hartmann H (2023) Addressing a century-old hypothesis – do pioneer beetles of *Ips typographus* use volatile cues to find suitable host trees? *New Phytologist* 238: 1762–1770.

- Lindelöw Å, Risberg B, Sjödin K (1992) Attraction during flight of scolytids and other bark- and wood-dwelling beetles to volatiles from fresh and stored spruce wood. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 224–228.
- Lindelöw Å, Weslien J (1986) Sex-specific emergence of *Ips typographus* L. (Coleoptera: Scolytidae) and flight behaviour in response to pheromone sources following hibernation. *The Canadian Entomologist* 118: 59–67.
- Lindman L, Ranius T, Schroeder M (2023) Regional climate affects habitat preferences and thermal sums required for development of the Eurasian spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management* 544, 121216.
- Naturvårdsverket (2019) Uppgifter om granskog i skyddade och ej skyddade områden baserade på Nationella Marktäckedata och som innefattar de delar av landet som omfattades av bekämpningsområdet för granbarkborre under 2019.
- Naturvårdsverket (2023) Bekämpning och ersättning vid angrepp av granbarkborrar från skyddad natur. Skrivelse 2023-09-27. Ärendenummer NV-06770-22. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/regeringsuppdrag/slutredovisade-regeringsuppdrag/bekampning-och-ersattning-vid-angrepp-av-granbarkborrar-fran-skyddad-natur/>
- Netherer S, Hammerbacher A (2022) The Eurasian spruce bark beetle in a warming climate: phenology, behaviour, and biotic interactions. I: “Bark beetle management, ecology, and climate change (redaktörer Gandhi KJK, Hofstetter RW). Academic Press, ISBN 978-0-12-822145-7.
- Netherer S, Kandasamy D, Jirosová A, Kalinová B, Schebeck M, Schlyter F (2021) Interactions among Norway spruce, the bark beetle *Ips typographus* and its fungal symbionts in times of drought. *Journal of Pest Science* 94: 591–614.
- Netherer S, Nopp-Mayr U (2005) Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management – rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management* 207: 99–107.
- Netherer S, Panassiti B, Pennerstorfer J, Matthews B (2019) Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in Austrian Norway spruce stands. *Frontiers in Forests and Global Change* 2: 39.
- Netherer S, Schebeck M, Morgante G, Rentsch V, Kirisits T (2022) European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus* (L.) males are attracted to bark cores of drought-stressed Norway spruce trees with impaired defenses in petri dish choice experiments. *Forests* 2022, 13, 537.
- Nilssen AC (1978) Development of bark fauna in plantations of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in North Norway. *Astarte*, 11: 151–169.
- Nilssen AC (1984) Long-range aerial dispersal of bark beetles and bark weevils (Coleoptera, Scolytidae and Curculionidae) in northern Finland. *Annales Entomologici Fennici* 50: 37–42.
- Nordkvist M, Eggers J, Fustel TLA, Klapwijk MJ (2023) Development and implementation of a spruce bark beetle susceptibility index: A framework to compare bark beetle susceptibility on stand level. *Trees, Forests and People* 11 (2023) 100364.
- Olsson R, Sjö Dahl M (2022) Arbetet med granbarkborre i skyddad natur 2022 – redovisning av uppdrag i regleringsbrevet för länsstyrelserna 2022.
- Overbeck M, Schmidt M (2012) Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Harz Mountains (Germany). *Forest Ecology and Management* 266: 115–125.
- Patacca M, Lindner M, Lucas-Borja ME, Cordonnier T, Fidej G m.fl. (2023) Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology* 29: 1359–1376.
- Platonoff S (1940) Beobachtungen über windgetriebene Insekten im Petsamfjord an der finnischen Eis-meerküste. *Notulae Entomologicae* 20: 10–13.
- Schlyter F (1992) Sampling range, attraction range, and effective attraction radius: estimates of trap efficiency and communication distance in coleopteran pheromone and host attractant systems. *Journal of Applied Entomology* 114: 439–454.
- Schlyter F, Birgersson G, Byers JA, Löfqvist J, Bergström G (1987) Field response of spruce bark beetle, *Ips*

- typographus*, to aggregation pheromone candidates. *Journal of Chemical Ecology* 13: 701–716.
- Schroeder M (2001) Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm-disturbed stands. *Integrated Pest Management Reviews* 6: 169–175.
- Schroeder M (2003) Differences in responses to α -pinene and ethanol, and flight periods between the bark beetle predators *Thanasimus femoralis* and *T. formicarius* (Col.: Cleridae). *Forest Ecology and Management* 177: 301–311.
- Schroeder M (2007a) Retention or salvage logging of standing trees killed by the spruce bark beetle *Ips typographus*: Consequences for dead wood dynamics and biodiversity. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 524–530.
- Schroeder M (2007b) Escape in space from enemies: a comparison between stands with and without enhanced densities of the spruce bark beetle. *Agricultural and Forest Entomology* 9: 85–91.
- Schroeder M (2008) Vilka stormluckor löper störst risk att koloniseras av granbarkborre? Fakta Skog nr 6, SLU.
- Schroeder M (2010) Colonization of storm gaps by the spruce bark beetle: influence of gap and landscape characteristics. *Agricultural and Forest Entomology* 12: 29–39.
- Schroeder M (2013) Monitoring of *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*: influence of trapping site and surrounding landscape on catches. *Agricultural and Forest Entomology* 15: 113–119.
- Schroeder M, Dalin P (2017). Differences in photoperiod-induced diapause plasticity among different populations of the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius*. *Agricultural and Forest Entomology* 19: 146–153.
- Schroeder M, Kärverno S (2015) Var är risken störst för att granbarkborre ska döda träd? Fakta Skog nr 7, SLU.
- Schroeder M, Kärverno S (2022) Rekordstort utbrott av granbarkborre – orsaker och vad man kan göra. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift nr 7 2022. <https://www.slu.se/forskning/kunskapsbank/ekologi/rekordstort-utbrott-av-granbarkborre--orsaker-och-vad-man-kan-gora/>
- Schroeder M, Lindelöw Å (1999) Reservat och risk för skador av granbarkborre. *Skog & Forskning* Nr 4/99: 18–22.
- Schroeder M, Lindelöw Å (2002) Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col. Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. *Agricultural and Forest Entomology* 4: 47–56.
- Schroeder M, Weslien J (2006) Granbarkborresituationen i Osaby naturreservat hösten 2006. Arbetsrapport Institutionen för entomologi, SLU.
- Schroeder M, Weslien J (2020) Skyddade områden och risk för angrepp av granbarkborre. Fakta Skog Nr 3, SLU.
- Strand T, Lamb B, Thistle H, Allwine E, Peterson H (2009) A simple model for simulation of insect pheromone dispersion within forest canopies. *Ecological Modelling* 220: 640–656.
- Stribrška B, Hradecký J, Čepel J, Tomáškova I, Jakus R, Modlinger R, Netherer S, Jirosova A (2022) Forest margins provide favourable microclimatic niches to swarming bark beetles, but Norway spruce trees were not attacked by *Ips typographus* shortly after edge creation in a field experiment. *Forest Ecology and Management* 506, 119950.
- Thistle HW, Strom B, Strand T, Peterson HG, Lamb BK, Edburg S, Allwine G (2011) Atmospheric dispersion from a point source in four southern pine thinning scenarios: basic relationships and case studies. *Transactions of the ASABE* 54: 1219–1236.
- Thorn S, Bässler S, Svoboda M, Müller J (2017) Effects of natural disturbances and salvage logging on biodiversity – lessons from the Bohemian forest. *Forest Ecology and Management* 388: 113–119.
- Vega FE, Hofstetter RV (2015) Bark beetles – biology and ecology of native and invasive species. Academic Press, ISBN: 978-0-12-417156-5.
- Vošvrđová N, Johansson A, Turčáni M, Jakuš R, Tyšer D, Schlyter F, Modlinger R (2023) Dogs trained to recognise a bark beetle pheromone locate recently attacked spruces faster than human experts. *Forest Ecology and Management* 528, 120626.

- Weslien J (1991) Granbarkborrens fiender under bark. Hur påverkas de av skogsbruk? Skogsfakta 12/1991.
- Weslien J (1992) The arthropod complex associated with *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae): species composition, phenology, and impact on bark beetle productivity. *Entomologica Fennica* 3.XII: 205–213.
- Weslien J, Johansson F, Gustavsson O (2022b) Användning av skördardata för att beskriva och utvärdera granbarkborrebekämpning. Skogforsk Arbetsrapport 1132–2022.
- Weslien J & Regnander J (1992) The influence of natural enemies on brood production in *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) with special reference to egg-laying and predation by *Thanasimus formicarius* (L.) (Coleoptera, Cleridae). *Entomophaga* 37: 333–342.
- Weslien J, Rosenberg O, Schroeder M (2023) Granbarkborren och dess fienders övervintring i stående träd vintern 2021/2022. Skogforsk, arbetsrapport 1151–2023.
- Weslien J & Schroeder LM (1999) Population levels of bark beetles and associated insects in managed and unmanaged spruce stands. *Forest Ecology and Management* 115: 267–275.
- Weslien J & Schroeder M (2023) Granbarkborrens fiender – vilka är de och vilken betydelse har de. Fakta Skog nr 3, SLU.
- Weslien J, Öhrn P, Schroeder M (2022a) Effekt på granbarkborren och dess fiender vid vinteravverkning av dödade granar. Skogforsk arbetsrapport 1110–2022.
- Wilcke m.fl. (2020) The extremely warm summer of 2018 in Sweden – set in a historical context. *Earth System Dynamics* 11: 1107–1121.
- Wohlgemuth T, Jentsch A, Seidl R (2022) *Disturbance Ecology*. Springer, ISBN 978-3-030-98756-5.
- Wulff S, Roberge C (2022) Inventering av granbarkborreangrepp i Götaland och Svealand 2022. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. 2022-12-06.
- Zarges S, Thorn S, Bussler S, Siegler H, Wolf J, Hagge J (2023) Low accuracy bark gouging controls *Ips typographus* outbreaks while conserving non-target beetle diversity. *Forest Ecology and Management* 548, 121399.
- Öhrn P, Långström B, Lindelöw Å, Björklund N (2014) Seasonal flight patterns of *Ips typographus* in southern Sweden and thermal sums required for emergence. *Agricultural and Forest Entomology* 16: 147–157.

Bilagor

Bilaga 1.

I fem reservat i Småland, som drabbades hårt av en storm i november 1995, lämnades alla stormfällda träd kvar (totalt 1848 stycken). En inventering visade att det året innan stormen endast fanns 17 granbarkborreangripna träd i reservaten (Schroeder & Lindelöv 2002). Under den första sommaren efter stormen koloniserades totalt 531 av de stormfällda träden i reservaten (Göthlin m.fl. 2000). Det är uppenbart att en stor del av dessa kolonisatörer måste ha kommit från den omgivande brukade skogen. Under de därpå följande fyra åren (fram till 2000) koloniserades ytterligare 384 stormfällda träd medan 860 stående träd dödades (Schroeder & Lindelöv 2002). Barkborrarna som producerade i dessa träd utgjorde då möjliga spridningskällor till den omgivande brukade skogen. Tre av de fem reservaten gränsade direkt till medelålders/äldre granskog. I ett av dessa fall expanderade en grupp angripna träd som uppkommit i reservatet över gränsen och ut i den omgivande brukade skogen (Schroeder & Lindelöv 1999).

Bilaga 2.

Detaljerad beskrivning av sex olika undersökningar där effekten av feromonbetade fallor eller fångstvirke på risken för att träd skall dödas av granbarkborre i närområdet studerats.

Larsson & Gustavsson 2020: Undersökningen genomfördes i fyra större skogsområden (1300 – 10000 ha) i östra Götaland under 2019 som vart och ett delades i två halvor. I den ena halvan sattes feromonbetade Trinetfallor ut på hyggen på 15 m avstånd från sydvända beståndskanter av gran och med 30 m inbördes avstånd mellan fallorna. På den andra halvan registrerades kontrollpunkter utan fallor på samma sätt. Totalt användes 116 Trinetfallor och 123 kontrollpunkter. På hösten räknades antal granbarkborredödade träd inom 100 m från fallorna och kontrollpunkterna. I ett av de fyra områdena var det ingen skillnad i antal dödade träd per ha mellan delen med respektive utan fallor, i ett var det fler dödade träd där fallor använts och i två områden var det flest dödade träd i delen utan fallor. Detta innebär att ingen statistiskt signifikant effekt av fallorna kunde påvisas.

Larsson, odaterad rapport: Försöket utfördes i sex kronoparker under 2008 och finansierades av Sveaskog och Södra Skogsägarna. Områdenas storlek varierade från 1700 till 2800 ha. Varje kronopark delades i två delar. Därefter slumpades det ut vilken del som skulle vara obehandlad kontroll och i vilken del man skulle använda sig av insekticidbehandlat fångstvirke. Totalt i de sex områdena användes 446 fångstvirkeshögar och 490 kontrollpunkter på hyggen med 8 – 12 m avstånd till beståndskant med gran och 25 m lucka emellan fångstvirkeshögar/kontrollpunkter på enskilda hyggen. Under hösten räknades sedan antalet granbarkborredödade träd inom 100 m från fångstvirkeshögar respektive kontrollpunkterna. Studien visade att åtgärden reducerade antalet dödade träd med i genomsnitt 31 % jämfört med områdena utan fångstvirke och att skillnaden var statistiskt signifikant. En förklaring till att man fick en viss reduktion av skadorna kan vara att studien utfördes på landskapsnivå. Eftersom att det fanns många fallor i landskapet kan mängden barkborrar ha reducerats något vilket kan ha bidragit till resultatet. Att så var fallet stöds av att fångsten i övervakningsfallor (en grupp med tre fallor i varje delområde) över tid minskade i områdena med fångstvirke jämfört med i kontrollområdena.

Larsson m.fl. 2021: Undersökningen utfördes i sydöstra Sverige under sommaren 2020 och innefattade följande tre försöksled: (1) Novefallor, (2) Trinetfallor (bägge fälltyperna betade med feromonbeten) och (3) kontrollpunkter utan fallor. Varje försöksled replikerades på 10 hyggen (sammanlagt 30 hyggen). Tre fallor sattes ut per hygge, med 30 m avstånd mellan dem, och på 20 meters avstånd från en sydvänd beståndskant av gran som riskerade att angripas av granbarkborre (barkborreangrepp från 2019 inom 150 m). På hösten räknades alla dödade träd inom 100 m från fallpositionerna/kontrollpunkterna. Resultaten visade inte på någon statistiskt signifikant skillnad mellan behandlingarna i antal dödade träd.

- Kuhn m.fl. 2022: Undersökningen utfördes i Belgien under 2020 och 2021 och innefattade följande tre försöksled: (1) feromonbetade fallor (barriärfällor, tre per lokal), (2) feromonbetade fångsträd behandlade med insekticid och (3) kontrollpunkter utan fallor eller fångsträd. Undersökningen utfördes på små hyggen där granbarkborreangripna träd blivit avverkade och innefattade totalt 126 hyggen (varav 40 utan fallor/fångsträd). Därefter mättes volymen angripna träd inom 100 m. Resultatet visade att det inte var någon statistiskt signifikant skillnad i dödad volym mellan de tre behandlingarna.
- Deganutti m.fl. 2023: Undersökningen utfördes i Italien under 2020 och 2021. Under våren 2020 valdes 24 icke upparbetade stormluckor ut (från en storm hösten 2018) för undersökningen som innefattade tre försöksled: (1) feromonbetade Theysonfällor, (2) feromonbetade Theysonfällor kombinerade med att beten med för granbarkborren avskräckande doftämnen sattes på de stående granarna längs stormluckans kant (var 6:e meter i tre parallella linjer längs luckans kant) och (3) stormluckor utan fallor och avskräckande beten (kontroll). Under våren 2021 valdes 20 stormluckor ut, där alla stormfällda träd forslats bort under föregående vinter, och de två försöksleden (2) och (3) nämnda ovan upprepades. Avståndet från fällorna till granskogskanten var 30 m. Antalet granbarkborredödade träd längs kanterna på stormluckorna och 10 m in i beståndet räknades sedan under sommaren och hösten 2020 och 2021. Under 2020 var det ingen signifikant skillnad i dödade träd mellan kontroll och feromonbetade fallor medan kombinationen av fallor och avskräckande beten resulterade i en statistiskt signifikant minskning av angreppen. Under 2021 var det ingen signifikant skillnad mellan kontroll och kombinationen av fallor och avskräckande beten.
- Faccoli & Stergulc 2008: Undersökningen utfördes i Italien på 24 små hyggen där fjolårsangripna träd avverkats. Tre olika försöksled ingick: (1) feromonbetade Theysonfällor, (2) stående och liggande insekticidbesprutat fångstvirke och (3) kontrollpunkter utan fallor eller fångstvirke med sex upprepningar av varje försöksled. Fällor, fångstvirke och kontrollpunkter placerade 15 – 20 m från beståndskant med gran. Resultat var att volymen dödade träd (uppskattat inom 300 m) minskade med drygt 80 % på platser med fallor/fångstvirke jämfört med förra året medan den var nästan oförändrad på platser utan fallor/fångstvirke och skillnaden var statistiskt signifikant. Det finns ingen självklar förklaring varför resultatet för denna studie skiljer sig från de två andra.



SCIENCE AND
EDUCATION **FOR**
SUSTAINABLE
LIFE