

Feromonbaserad övervakning som understöd av förvaltningsmodeller för skogsbiodiversitet

Mattias Larsson, Mikael Molander,
Björn Eriksson



Feromonbaserad övervakning som understöd av förvaltningsmodeller för skogsbiodiversitet

Författare Mattias Larsson, Mikael Molander, Björn Eriksson

NATURVÅRDSVERKET

Naturvårdsverket
Tel: 010-698 10 00 Fax: 010-698 10 99
E-post: registrator@naturvardsverket.se
Postadress: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm
Internet: www.naturvardsverket.se

© Naturvårdsverket 2023

Omslagsbild: författarna

Förord

Här presenteras resultaten från forskningsprojektet ”Feromonbaserade förvaltningsmodeller för skogsbiologisk diversitet”, ett av 3 projekt som genomförts inom forskningsområdet Förvaltning av värdefull natur.

Med forskningsområdet önskar Naturvårdsverket stödja forskning som ökar kunskapen om vilken skötsel som gör mest nytta på kort och på lång sikt i olika miljöer.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets Miljöforskningsanslag.

Rapporten har skrivits av Mattias Larsson, Mikael Molander och Björn Eriksson. Författarna svarar för rapportens innehåll.

Stockholm augusti 2023

Mats Andersson
Chef Forskningsenheten, Naturvårdsverket

Innehåll

1.	SAMMANFATTNING	6
2.	SUMMARY	8
3.	INLEDNING	10
4.	METODER	12
5.	RESULTAT	22
6.	DISKUSSION	56
7.	SLUTSATSER OCH FÖRSLAG	62
8.	PUBLIKATIONER, ÖPPNA DATA OCH KOMMUNIKATIONSINSATSER	64
9.	TACK	67
10.	KÄLLFÖRTECKNING	69

1. Sammanfattning

Vedlevande insekter utgör en stor och betydelsefull andel av den biologiska mångfalden i skogar och andra trädbärande miljöer. En förhållandevis stor andel av våra vedlevande insekter har påverkats negativt av landskapsförändringar knutna till modernt skogsbruk och omställningar av kulturlandskapet. De utgör därför ett viktigt fokus för flera av Sveriges miljömål, som Ett rikt växt- och djurliv och Levande skogar. En stor utmaning i arbetet med vedinsekters bevarande är att det ofta är svårt att övervaka förekomst och populationsstorlekar av många arter med en rimlig arbetsinsats. Det kan därför vara svårt att säkerställa arternas verkliga hotstatus och veta om insatser för deras bevarande verkligen har avsedd effekt. Syftet med detta projekt har varit att utveckla övervakningsmetoder för vedlevande insekter med hjälp av attraktiva feromonfällor, för att underlätta en mer systematisk övervakning av viktiga målarter. Vi har också genomfört principstudier för att studera hur feromonbaserad övervakning kan tillämpas i praktiken för bevarandeändamål. Detta innefattar bland annat storskalig övervakning av arters verkliga förekomst och abundans, i relation till viktiga substrat- och landskapsresurser, som fördelningen av habitat med deras värdträd och död ved på olika skalor i landskapet, samt effekterna av specifika bevarandeåtgärder. Dessa metoder kommer också att kunna användas systematiskt över tid för att avgöra hur insekter reagerar på habitat- landskaps- och klimatförändringar.

Inom projektet har vi provat metoder för systematisk, riktad insamling och identifiering av feromoner för dussintals olika insektsarter. Detta har resulterat i identifierade feromoner för 10 nya arter och pågående identifieringsarbete för åtskilliga fler, samt ytterligare tillämpningar av redan identifierade feromonsystem för ytterligare insektsarter.

Våra studier innefattar hur långhorningsarter knutna till klen ekved fördelar sig mellan olika bruksskogs- och naturvårdshabitat, som nyckelbiotoper och jätteträdslokaler. Arterna visade sig förekomma i såväl bruksskogs- som naturvårdshabitat i liknande omfattning. Tillförsel av färsk ved i form av avverkningsrester tycks ge tydliga positiva effekter på deras populationer.

Den starkt hotade långhorningen bredbandad ekbarkbock *Plagionotus detritus* är beroende av grov, färsk ekved. Arten har gått starkt tillbaka under 1900-talet och har endast funnits kvar på Djurgården i Stockholm. Inventeringar med artens nyligen identifierade feromon visade att populationen på Djurgården är mycket stark med tusentals individer. Feromoninventeringar har också visat att utplantering av arten i Båtfors i Uppland har lett till att nya individer har kläckts ut från lokalt vedmaterial

Raggbocken *Tragosoma depsarium* som är beroende av grova tallågor har inventerats i sydöstra Sverige med feromonfällor, och tycks nästan försvunnen i Östergötland och Kalmar län. För att de spridda populationerna ska överleva behövs förmodligen tillförsel av ytterligare vedresurser. En livskraftig population i Hornsö i Kalmar län var individfattig med strax över 100 hanar trots åtgärder för att skapa habitat i området. Däremot förekom arten i högt antal med mer än 1000

hanar i gamla brukade tallskogar i Norra Ny-området i Värmland, som undersöktes med samma metoder.

2. Summary

Saproxylic insects, or insects connected to deadwood habitats, constitute a large and important component of biological diversity in forests and other tree-clad habitats. A relatively large fraction of our saproxylic insects have been negatively affected by landscape changes connected to modern forestry and changes in the cultural or agricultural landscape. These insects therefore constitute an important focus for several of Sweden's Environmental Objectives, such as Sustainable Forests and A Rich Diversity of Plant and Animal Life. One important challenge for the conservation of saproxylic insects regards that it is often difficult to monitor the presence and population sizes of many species with reasonable effort. Thus it is often difficult to ascertain the true threat status for these organisms and to determine whether conservation efforts are truly useful and cost-effective.

The overall purpose with the present project has been to develop monitoring methods for saproxylic insects using attractive pheromone traps, in order to facilitate systematic monitoring of important model species. We have also performed model investigations to study how pheromone-based monitoring can be used in an applied conservation context. This includes determining the true distribution and abundance of species in large-scale studies, in relation to important substrate and landscape-based resources, such as the spatial distribution of habitats with their host trees and different types of dead wood over different scales in the landscape, and to study the effects of specific measures taken to support local populations. These methods will be useful for systematic studies over time to determine their responses to habitat- landscape- and climate change.

Within the project, we have explored methods for systematic, directed collection and identification of pheromones for dozens of insect species. This has resulted in identified pheromones for 10 new species and ongoing identifications for several more, along with applied studies with already identified pheromone systems for other insect species.

Our studies include how longhorn beetles associated with small-diameter oak wood distribute themselves between different forestry and conservation habitats, such as woodland key biotopes and veteran oak habitats. The species were present in similar amounts in both forestry habitats and conservation habitats. Addition of fresh oak wood from harvesting appeared to have a clear positive influence on their populations

The Endangered longhorn beetle *Plagionotus detritus* is dependent on thick-diameter, fresh oak wood. The species has declined severely during the 20th century and has remained only at Djurgården in Stockholm. Surveys with the species' newly identified pheromone demonstrated that the Djurgården population is very strong with thousands of individuals. Pheromone surveys have also shown that re-introduction of the species in Båtfors in Uppland has yielded new individuals that must have emerged from local deadwood material.

The tanner beetle *Tragosoma deparium*, which depends on very coarse, lying pine trunks, has been surveyed in South-east Sweden with pheromone traps, and appears

to be almost gone from Östergötland and Kalmar counties. In order for the sparse populations to survive, addition of more deadwood resources is probably needed. One viable population in Hornsö in Kalmar County had only just over 100 males in spite of efforts to create deadwood resources in the area. In contrast, pheromone surveys in old, harvested forests in the Norra Ny area in Värmland county, revealed that the species was found in high numbers with more than thousand males.

3. Inledning

Skogs- och trädmiljöer är en omistlig del av våra nationella resurser, med många viktiga parallella funktioner. De utgör en stor del av vårt landskap och bidrar till rekreation såväl som att producera förnybara resurser i form av trävaror och mat, och stora ekonomiska värden. Skötseln av skogen påverkar också vår nationella koldioxidbalans (Gamfeldt m.fl.2013). En stor del av vår biologiska mångfald är också beroende av dessa miljöer, inte minst vedlevande insekter och de djur som i sin tur är beroende av dessa. Vedlevande insekter utgör en stor andel av den totala mångfalden i skogen, och har stor betydelse för skogsekosystemen, bland annat genom ekosystemtjänster i form av nedbrytning av vedmaterial och genom att de utgör en viktig födoresurs i näringsväven för andra arter. En förhållandevis stor andel av våra vedlevande insekter har påverkats negativt av landskapsförändringar knutna till modernt skogsbruk och omställningar av kulturlandskapet. De utgör därför ett viktigt fokus för flera av Sveriges miljömål, som Ett rikt växt- och djurliv och Levande skogar, där bedömningen är att målen inte kommer att nås inom överskådlig tid (Andersson m.fl.2019). Den svenska skogsbruksmodellen har som mål att säkerställa både produktion och ekonomi och långsiktig hållbarhet och bevarande av biologisk mångfald. Detta är tänkt att ske genom en kombination av formellt skyddade områden, olika former av avsättningar, och hänsynstagande vid brukande av skogen. Det råder delade meningar om hur olika målsättningar bäst ska tillvaratas, och en viktig uppgift för naturvården är att utvärdera olika skogsbruksmodellers effekter på biologisk mångfald (KSLA 2012; Beland Lindahl m.fl.2017a, b)

En stor utmaning i arbetet med vedinsekters bevarande är att det ofta är svårt att övervaka förekomst och populationsstorlekar av många arter med en rimlig arbetsinsats. Det kan därför vara svårt att säkerställa arternas verkliga hotstatus och veta om insatser för deras bevarande verkligen har avsedd effekt.

Syftet med detta projekt har varit att utveckla och tillämpa övervakningsmetoder för vedlevande insekter med hjälp av attraktiva feromonfällor, för att underlätta en mer systematisk övervakning av viktiga målarter. Det övergripande syftet med projektet har varit principstudier för att utreda vilken roll övervakning med attraktiva feromoner kan spela i en aktiv förvaltning av skog och trädbärande miljöer, och i andra landskapstyper, med avsikt att gynna biologisk mångfald. Vi har också genomfört principstudier för att studera hur feromonbaserad övervakning kan användas i praktiken för bevarandemål. Detta innefattar bland annat att studera arters verkliga förekomst och abundans i storskaliga studier, och på kortare eller längre sikt kunna följa hur de reagerar på habitat- landskaps- och klimatförändringar. Det innefattar också att studera arternas förekomst i relation till viktiga substrat- och landskapsresurser, som fördelningen av habitat med deras värde och olika typer av död ved på olika skalor i landskapet, samt att studera effekterna av specifika åtgärder som utförs för att gynna dem.

Projektets olika studier har utförts med syfte att besvara ett antal specifika frågeställningar av största vikt för bevarandearbetet för projektets modeller:

- 1) Hur kan vi hantera praktik och logistik för omfattande systematisk identifiering av feromoner för utvalda naturvårdsarter, som ofta är både ovanliga och svåråtkomliga?
- 2) Hur förekommer olika modellarter i landskapet, och hur ser deras verkliga utbredningsmönster ut i relation till förväntad hotstatus?
- 3) Hur fungerar feromonövervakning för att studera populationsstorlekar, abundanser och spridning av modellarter för naturvård?
- 4) Hur fördelar sig olika modellarter mellan olika slags habitat; både med avseende på dessas ekologiska egenskaper och deras roller i skogsbruksmodeller?
- 5) Hur kan feromonbaserad övervakning hjälpa oss att relatera förekomst eller abundans av en art till specifika substrat, resurser och åtgärder?

4. Metoder

Identifiering av feromoner för olika modellarter

Inom ramen för projektet har vi genomfört omfattande studier för att samla in olika insektsarter och identifiera feromoner för dessa. Teknikerna för feromonidentifiering beskrivs detaljerat i flera av projektets publikationer (Molander 2019, Molander och Larsson 2019, Molander m.fl. abc), men omfattar i korthet ett antal specifika steg som beskrivs översiktligt nedan:

1. Insamling och hantering av insekter för studier
2. Uppsamling av feromoner
3. Selektion av troliga feromonkandidater
4. Kemisk identifiering.
5. Kemisk syntes av feromonsubstanser.
6. Bekräftelse av attraktionskraft genom fällfångst med syntetiska substanser.

Här beskrivs först steg 1-5 översiktligt nedan, medan metoder för fällfångst i olika sammanhang beskrivs under en separat rubrik.

Det är värt att notera, att hos insektsarter där honorna avger feromoner så avges dessa oftast i små mängder och lockar endast hanar. Dessa utgör klassiska sexualferomoner som brukar vara mycket attraktiva för hanarna. Honorna slutar ofta att avge feromon efter parning, vilket gör det nödvändigt att få tillgång till nyligen utkläckta individer för att kunna samla upp feromoner. De små mängderna som avges gör det ibland krävande att samla in tillräckligt mycket substans för identifiering. Å andra sidan krävs det ofta ganska små mängder syntetiskt feromon för att göra beten, vilket kan göra syntesen av feromoner relativt billig. Hos insektsarter där hanarna producerar feromoner så avges dessa ofta i anmärkningsvärt stora kvantiteter; troligen som ett sätt för hanar att konkurrera om honor. De lockar ofta också båda könen i viss grad, och inte endast det motsatta könet, och kallas därför ofta aggregationsferomoner eller sex-aggregationsferomoner. De ger ofta inte lika stark attraktion som sexualferomoner, men brukar dock vara fullt tillräckliga för inventeringsändamål. Dessa feromoner är ofta lätta att detektera och analysera på grund av den höga avgivningen. Det kan dock ofta krävas motsvarande höga doser av syntetiska substanser i beten för att attrahera insekterna, vilket kan göra syntesen komplicerad och ganska kostsam vid storskalig användning av feromonet.

Insamling och hantering av vedinsekter för studier

Insamling av försöksdjur för feromonstudier kan i princip ske genom eftersök av kläckta individer i fält. Detta kan göras särskilt med arter vars hanar producerar feromonet, då dessa ofta fortsätter producera feromon under hela parningssäsongen. Med arter där honorna producerar sexualferomoner är det ofta problematiskt, då parning vanligen sker mycket fort och parade honor ofta slutar producera feromon och istället övergår till äggläggning. Då kan det vara nödvändigt att kläcka fram djur från larvsubstrat för att kunna få tag på oparade

individer. Detta kan i de flesta fall rekommenderas i de flesta fall oavsett art, för att bättre kunna kontrollera förutsättningarna för studierna. Insamling av försöksdjur i vårt projekt har i huvudsak skett genom att ved av olika träslag, dimensioner och ålder har samlats in i fält för att kläcka fram insekter (Figur 1). Klenare eller grövre ekved har ofta placerats ut under sommarsäsongen på strategiska platser som hyser populationer av olika arter, och den koloniserade veden kan sedan tas in under vintern för utkläckning. GROT-högar placerade i rätt miljöer utgör också goda substrat för insamling av klenvedsarter – förutom att de tyvärr också ofta utgör dödsfällor för de koloniserade insekterna (Hedin m.fl. 2008). För andra träslag, som asp, sälg, björk eller gran, har nyligen döda eller skadade träd ofta noterats vid besök i fält under sommarsäsongen, och prover insamlats vid senare besök under vinterhalvåret.

Merparten av insamlingar av död ved har skett i Sveaskogs Ekopark Hornsö i Kalmar län och omgivande marker, där Sveaskog och en del andra markägare generöst har tillåtit insamling av betydande mängder vedprover av olika slag, och även upplåtit träd för försök med kontrollerade skador för att skapa lämpliga betingelser för vissa arter. I vissa fall har ved placerats på andra platser, som grövre dimensioner av ek donerade av Kährs sågverk, som har placerats på Öland för kolonisering av mindre ekbock, *Cerambyx scopolii*.

Insamlade vedprover har vanligen förvarats utomhus under vintern och tagits in vid specifika tillfällen under senvintern och tidig vår. Vedproverna har sågats upp och placerats i IKEA Samla-plastlådor av olika storlekar med nätförsedda lufthål (Figur 1). Lådorna har övervakats kontinuerligt och nykläckta individer plockats ut och separerats efter kön. De har placerats i lådor eller burkar med ved eller pinnar från värdräden, med en tuss med honungsvatten och vanligen placerats i kyl i väntan på doftuppsamlingar (se nedan).

Två av våra mest exklusiva modellarter: stora ekbocken *Cerambyx cerdo* och den bredbandade ekbarkbocken *Plagionotus detritus*, har inte samlats in i fält. Dessa mycket hotade arter omfattas av uppfödningprojekt för utplanteringsförsök, som hanteras av Nordens Ark. Feromonuppsamlingar från dessa arter har gjorts på individer i fångenskap, i samarbete med Nordens Ark.



Figur 1. Insamling av ved av olika dimensioner, samt framkläckning av insekter.

Uppsamling av feromoner

Den huvudsakliga metoden för att samla upp doftämnen från insekterna har under hela projektet utgjorts av luftfiltrering i doftuppsamlingskärl (Figur 2). Insekterna placeras i doftuppsamlingskärl av rätt dimensioner för arten, från en 250 ml Pyrex-flaska till en större låda som kan rymma både ved och många individer.

Doftuppsamlingen sker genom att luft sugs genom förvaringskärlet och ut genom ett doftuppsamlingsfilter med ett absorberande material (Porapak Q, Supelco), som sedan extraheras med ett lösningsmedel. I vårt projekt har i stort sett alla extraktioner gjorts med det opolära lösningsmedlet n-hexan.

Nästan alla doftuppsamlingar i projektet har gjorts vid SLU Alnarp, på djur insamlade från fält. Det huvudsakliga undantaget utgörs av doftuppsamlingar från stor ekbock och bredbandad ekbarkbock, vilka mestadels har hanterats av Jimmy Helgesson på Nordens Ark.



Figur 2. Uppsamling av doftämnen från insamlade vedskalbaggar, placerade i glasflaskor. Med hjälp av en luftpump sugs luft från flaskan genom ett filter som absorberar substanser från luften i flaskan. Ett likadant filter placerat i flaskans luftinsug renar den ingående luften från omgivningens doftämnen. Genom att göra parallella uppsamlingar från hanar, honor och en tom kontrollflaska kan man avgöra vilka kemiska substanser som avges av insekterna, samt vilket av könen som sänder ut eventuella doftsignaler. Foto: Björn Eriksson.

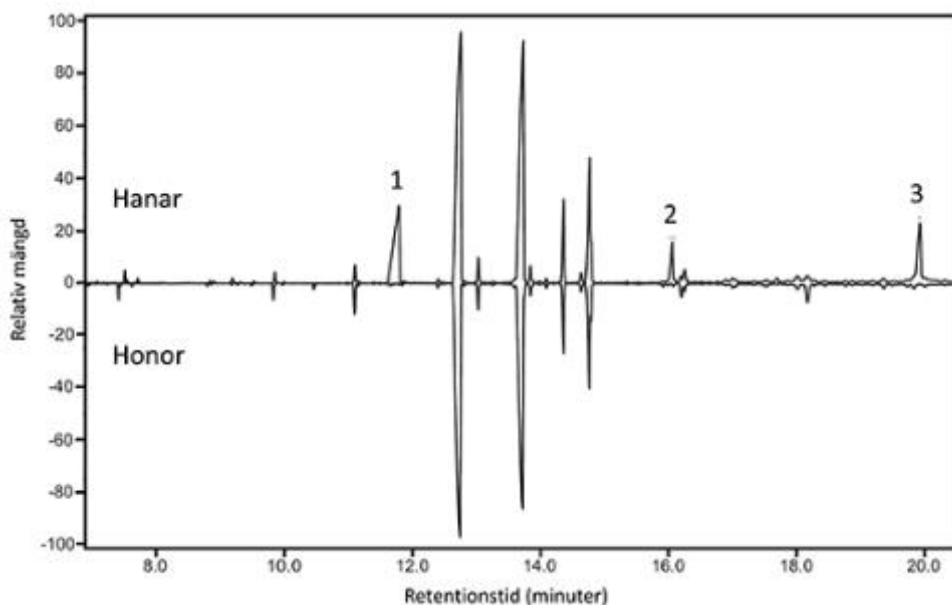
Selektion av troliga feromonkandidater

Doftuppsamlingar från levande organismer är ofta mycket komplexa med många olika ämnen som utgör en blandning av diverse allmänna doftämnen och olika kontaminerande substanser från omgivningen. En av de stora utmaningarna vid feromonidentifieringar är att veta vilka ämnen (ofta 1-3 stycken) i denna komplexa blandning som utgör feromonsignalen.

Proceduren börjar med att extraktet separeras på en gaskromatograf.

Gaskromatografen fungerar ungefär som en avancerad destillationsapparat där det komplexa extraktet injiceras på en tunn kolonn, där de olika ämnena hettas upp och övergår i gasfas. Beroende på kokpunkt och elektrostatiska interaktioner med kolonnens aktiva yta kommer olika ämnen att vandra genom kolonnen med olika hastighet och därigenom separeras. När de detekteras efter separering bildas ett gaskromatogram, som visar de enskilda ämnena som en serie toppar där varje ämne lämnar kolonnen efter en specifik retentionstid (Figur 3 och 4).

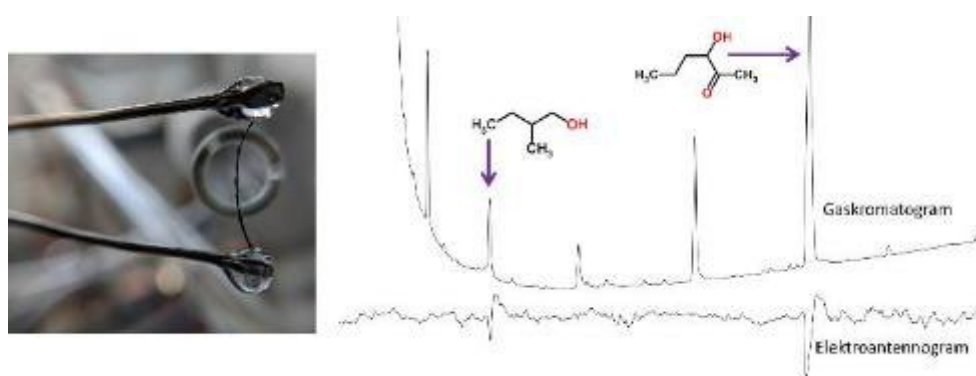
Efter att extraktet har separerats i sina beståndsdelar finns det två huvudsakliga alternativ för hur man kan hitta troliga feromonkandidater bland dessa toppar. Det första är genom att jämföra gaskromatogrammen från hanar och honor och leta efter toppar som tycks vara specifika för ett visst kön. Hos de flesta insektsarter är det primärt det ena könet, antingen hanen eller honan beroende på vilken insektsgrupp det handlar om, som sänder ut lockande feromoner för parning. Om man konsekvent finner att vissa ämnen produceras framför allt av det ena könet är det därför ett troligt tecken på att dessa ämnen har med sexuell kommunikation att göra (Figur 3).



Figur 3. Selektion av troliga feromonkandidater för identifiering, genom jämförande analys. Kromatografisk analys av doftuppsamlingar från hanar och honor av smalbandad ekbarkbock *Plagionotus arcuatus*. Kromatogram från hanar och honor är spegelvända vertikalt. Kromatogrammen visar ett stort antal ämnen i vardera extraktet, vilka syns som toppar i kromatogrammet. Flertalet av dessa återfinns hos både hanar och honor, men tre

markerade toppar återfinns bara i extrakt från hanar, och visade sig utgöra det hanproducerade feromonet. Modifierad från Imrei et al. (2019)

En annan vanlig metod att hitta feromonerna bland bruset av ämnen är att använda insekternas egna antenner som detektorer. Hos många insekter utgör antennen – insekternas näsa – en mycket känslig detektor specialiserad för att uppfånga artens egna sexuella lockdofter. Hos de flesta insektsarter kan man klippa av antennen och fästa den mellan två elektroder och mäta spänningen som uppstår när antennen registrerar ett doftämne. Genom att placera en antenn vid utblåset från en gaskromatograf kan man genom så kallad gaskromatografi-elektroantennografi - direkt registrera om antennen reagerar på något av ämnena i extraktet (Figur 4).



Figur 4. Selektion av troliga feromonkandidater för identifiering, genom gaskromatografi-elektroantennografi. Bilden till vänster visar en skalbaggsantenn placerad mellan två elektroder med hjälp av vanlig EKG-gel. Ämnen som separeras i en gaskromatograf blåses över antennen, som reagerar med en spänningsförändring på ämnena som antennen detekterar. Figuren till höger visar parallell registrering av gaskromatografi och antennsignaler, där antennen svarar med tydliga spänningsförändringar på två ämnen i extraktet. Dessa är 2-metylbutanol och 3-hydroxy-2-hexanon; två komponenter som är vanliga komponenter i feromonerna hos flera av studiens modellarter.

Kemisk identifiering av kandidatsubstanser

Metoderna för identifiering av kandidatsubstanser beskrivs ingående i flera av studiens publikationer (Molander m.fl. 2019 abc). Standardmetoden för identifiering av organiska ämnen är kombinerad gaskromatografi och masspektrometri (GC-MS). Ämnen som har separerats på en gaskromatograf sprutas in i en masspektrometer, där molekylerna slås sönder av en elektronstråle. Varje ämne sönderfaller i vissa specifika massfragment, och mönstret av dessa utgör i princip ett fingeravtryck som är karakteristiskt för varje ämne. Referensspektra för många ämnen finns i referensdatabaser som möjliggör en snabb identifiering. Om man har en aning om ungefär vilket ämne det handlar om kan man ofta identifiera ämnet genom jämförelser med syntetiska referenssubstanser, eller genom rekonstruktion av molekylens ungefärliga utseende från dess olika massfragment. Detta gör att vissa ämnen kan identifieras från

mycket små mängder i ett extrakt. Om man behöver mer detaljerad information om molekylens utseende kan man behöva göra mer specialiserade undersökningar som NMR (nuclear magnetic resonance spectra), som mer detaljerat visar positionen av olika atomer i molekylstrukturen. Detta kräver dock mer renframställda substanser i större mängd. Inom projektet har vi gjort vissa identifieringar själva på avdelningen för Kemisk Ekologi vid SLU Alnarp, genom kombinerad gaskromatografi och masspektrometri. I de flesta fall har kemisk identifiering av svårare ämnen utförts av någon samarbetande institution på andra universitet: Jocelyn Millar och Yunfan Zhu vid University of California Riverside; Erika Wallin, Joakim Bång och Erik Hedenström vid Institutionen för Kemiteknik på Mittuniversitetet i Sundsvall, samt Rikard Unelius vid Institutionen för Kemi och Biomedicin på Linnéuniversitetet i Kalmar.

Syntetiska feromonsubstanser

Inom projektet har vi kunnat köpa vissa vanligt förekommande ämnen som är allmänt tillgängliga hos kemiföretag som Merck/Sigma-Aldrich. Andra kan köpas av företag eller institutioner (Pherobank eller Synergy) som har specialiserat sig på att syntetisera och sälja feromoner och andra ämnen för feromonövervakning och tillämpningar framför allt för skadedjursbekämpning inom skogs- och jordbruk. Vissa företag, som Bedoukian Research, Inc (Danbury, Connecticut), kan göra skraddarsydda synteser av vissa feromoner på beställning om partierna är tillräckligt stora, och vi har kunnat göra en beställning av den vanligaste feromonkomponenten 3-hydroxy-2-hexanon från Bedoukian genom att gå samman med flera andra institutioner. Flertalet ämnen som har använts i projektet har dock syntetiserats av våra samarbetspartners vid olika kemiinstitutioner som också har identifierat ämnena (se ovan).

Metoder för fällfångst

Fällor: Alla fällfångster av insekter för test av feromonkandidatsubstanser och för landskapsstudier har genomförts med ungefär samma metoder (Figur 5). Fällan som används är en variant av egendesignad så kallad LS-fälla, som är sammansatt av olika delar inköpta från olika leverantörer och anpassade för fällbruk (Svensson och Larsson 2008; Larsson och Svensson 2011; Molander m.fl.2019b). Fångstytan utgörs av ett krysstag av två plastskivor (20x 25 cm) (måttbeställda från Nordic Plastic Groups AB, Trelleborg). Under dessa sitter en svart plasttratt med 20 cm diameter högst upp och avsågad pip med endast några cm av halsen kvar (Hall Miba, Avesta). Nedanför tratten sitter en plastburk med hål i locket genom vilket tratten sticks ned. Burken kan skruvas av från locket för att tömmas. Burkens format har varierats efter omständigheterna; den vanligaste sorten är en 1L burk i vit plast med blått plastlock (Corning Life Science, Stockholm, inköpt via VWR/Avantor, Stockholm). Som tak på fällan användes ett krukfät av plast (28 cm diameter) (Soparco, Chaingy, Frankrike, inköpt via Weibulls). Plastskivorna och trattens insida täcktes med ett tunt lager teflongranuler från en teflonlösning

(Fluon, Sigma-Aldrich) för att insekterna inte ska kunna sätta sig på plasten och undvika att trilla ned. Fällan sätts ihop med hjälp av buntband genom hål borrade i olika delar, och hängs upp med hjälp av bindtråd. I olika studier har fällorna fästs antingen i lågt hängande grenar eller på hållare gjorda av armeringsjärn böjda i 90 graders vinkel och nedstuckna i marken. I enstaka fall har fällorna hängts högre upp för att undvika boskap. Om fällorna har använts för levandefångst har fångstburkarna varit dränerade genom små hål eller nätförsedda större hål borrade i botten, och hållits fuktiga med hjälp av en bit Wettexduk eller mossor som fuktades. Om fällorna har använts för dödande fångst har burkarna varit hela utan dräneringshål och innehållit ca 250 ml propylenglykol.



Figur 5. Metod för fällfångst av insekter. Feromonbeten utgörs av plastpåsar placerade vid fällans plastskivor där insekterna slår emot och trillar ned i en uppsamlingsbehållare.

Feromonbeten: Alla beten för fällfångst har gjorts av små Grippie® ziplockpåsar ($5.5 \times 6.5 \text{ cm} \times 40 \mu\text{m}$, Grippie Light Nr-02, b.n.t. Scandinavia AB, Arlööv). Påsarna fylls med syntetiska ämnen som har lösts upp i 2-propanol till lämplig koncentration. Varje lösning kan innehålla ett eller flera ämnen i specifika proportioner, beroende på artens feromon. När betet aktiveras hålls 0,5 mL av propanol-lösningen ned i påsen, varefter den försluts. För fältbruk har färdiga lösningar för enskilda beten placerats i Eppendorff-rör som används för att fylla

påsarna i fält. Betena bestående av förslutna påsar hängs upp i krysstagen med hjälp av bindtråd. De syntetiska ämnena avges långsamt tillsammans med 2-propanol genom plasten, och ett bete brukar vanligen vara attraktivt under minst 2-3 veckor. Flertalet långhorningar och vissa andra skalbaggsarter i studien använder sex-aggregationsferomoner som avges av hanar, ofta i mycket stora mängder. För dessa arter behöver feromonbeten ofta innehålla ganska stora kvantiteter feromon. Standardmängden för huvudsubstanten har då utgjorts av 25 eller 50 mg per bete; ofta kompletterad med andra ämnen i mindre kvantiteter.

Test av feromonsubstanser: Inom studien har nya feromoner identifierats och syntetiserats för flera arter, och för dessa har specifika fångstförsök utförts för att bekräfta att de syntetiska ämnena attraherar respektive art. I varje försök har en serie behandlingar bestående av ett eller flera ämnen, ibland i olika proportioner, jämförts med varandra och med en kontroll bestående av endast 2-propanol. Replikat med identiska behandlingar har placerats på olika platser där arten förmodas förekomma i så stora numerärer som möjligt. Replikaten har besökts regelbundet och försetts med nya beten, samtidigt som fällorna har tömts och deras inbördes positioner flyttats om.

Studier som innefattar test av nya feromoner har i regel baserats på dödande fällfångster, och fångsterna har utförts på platser med starka populationer av arterna. Ett undantag utgörs av tester av feromonet för den bredbandade ekbarkbocken *Plagionotus detritus*, som utfördes på Djurgården i Stockholm. Här besöktes fällorna varje dag och fångade individer släpptes fria efter att ha märkts med märkpenna på samma sätt som vid fångst- återfångststudier av andra arter (se nedan).

Landskapsstudier: Flera studier i projektet har utförts med syftet att jämföra abundans av olika studiearter på många olika platser, för att kunna relatera deras abundans till varandra och till olika lokala faktorer. I dessa studier har fällor riktade mot en eller flera av studiearterna placerats på varje lokal, med avsikten att uppnå så jämförbara omständigheter som möjligt. I olika studier har antingen 1 eller 3 fällor använts per art och lokal. I de flesta fall har varje enskild art fångats med fällor med feromon riktade mot just denna art. Ett undantag utgörs av feromoner för långhorningsarterna rödhjon, kvistspegelbock och blank spegelbock, vilka attraheras av olika proportioner av de mycket vanliga feromonkomponenterna 3-hydroxy-2-hexanon och 2-metylbutanol (Molander et al. 2019 b). Dessa tre arter har fångats i samma fälla med en blandning som attraherar alla tre arterna. Dessutom attraherar denna blandning också betydande mängder av mörk spegelbock *Poecilium pusillum*, vilket gjorde att fyra olika arter kunde fångas med samma fälla vid studier i Hornsö 2014 (se nedan).

Fångst-återfångststudier: I flera studier har ett av huvudsyftena utgjorts av fångst-återfångststudier för att studera förflyttningsmönster i landskapet och för uppskattningar av det faktiska antalet individer i en population. I dessa studier har fällorna besökts med jämna mellanrum, vanligen med 1-3 dagars mellanrum.

Fångade individer har släppts fria efter att ha märkts med en individuell markering så att de har kunnat kännas igen vid kommande återfångster. I de flesta fall har markeringen utgjorts av unika mönster av prickar på täckvingarna, målade med olika slags täckande färgpenor (Figur 6). I fångst-återfångststudier av rödhjon *P. sanguineum* har varje individ fått en liten klisterlapp på halskölden med ett individuellt nummer (Figur 7). Dessa lappar fästes med Loctite superlim.



Figur 6. Individuell märkning av raggbockar *Tragosoma deparium* för fångst-återfångststudier. De olika färgerna representerar olika områden, för att lättare kunna avgöra med säkerhet att en individ som flyttar långa sträckor inte är en artefakt av en felavläsning. Foto: Björn Eriksson.



Figur 7. Fångst-återfångst av rödhjon. Märkning med nummerlapp, som klistras med superlim på halsskölden. Foto: Mikael Molander

5. Resultat

Identifiering av feromoner för tänkbara modellarter

Insamling av modellarter: Inom ramen för projektet har vi aktivt eftersökt och samlat in och på annat sätt studerat ett stort antal arter. Tabell 1 nedan visar att flertalet arter från olika trädslag har varit möjliga att finna i ganska stora antal, i princip fullt tillräckligt för att kunna genomföra uppsamlingar av potentiella feromonsubstanser.

Det har varit jämförelsevis okomplicerat att få tag på substrat och individer av arter som lever i olika typer av klen ekved, vars substrat ofta har kunnat samlas direkt i stor mängd i Ekopark Hornsö från färska vedhögar. I vissa fall har vi också lagt ut ved för kolonisering, eller aktivt skadat småväxta ekkratt-individer för att generera mycket klena dimensioner, följt av insamling under efterföljande år. Vi har specifikt eftersökt bland annat ett kollektiv av eklevande arter som lever i ett spektrum av olika veddimensioner från klen ved, upp till mycket grova grenar och stammar. De förra representeras bland annat av arter som omfattas av åtgärdsprogrammet för klen ek och hassel (Franc 2013), och flertalet av dessa har vi lyckats samla in och kläcka fram. Representanter för mycket grova ekdirimensioner utgörs i viss mån av mindre ekbock *Cerambyx scopoli*, vars kläcksubstrat har kunnat samlas in i fält, men framför allt av bredbandad ekbarkbock *Plagionotus detritus* och större ekbock *Cerambyx cerdo*, vilka har funnits tillgängliga tack vare uppfödningssystemen för båda dessa arter på Nordens Ark.

Ett antal asplevande arter har också kunnat samlas i betydande mängd, från nyligen genererade asplågor eller stående asphögstubbar av känd ålder.

Bland mer svåråtkomliga grupper har vi de båda sälglevande arterna myskbock *Aromia moschata* och i ännu högre grad sälggetingbock *Rusticoclytus panterinus*. I Ekopark Hornsö har vi kunnat samla in olika stadier av döende och nyligen död till mer murken ved från sälg, inklusive ett par hela träd som sågades i olika beståndsdelar. Trots detta har vi endast hittat ett begränsat antal av myskbock (dock tillräckligt för identifiering av feromonet, se tabell 1) och bara några enstaka exemplar av sälggetingbock. En annan problematisk grupp utgörs av vissa granlevande arter som inte angriper liggande död ved, utan vill ha stående, döda eller döende, grova eller senvuxna granstammar eller tjocka grenar som sitter på träden. För dessa arter har vi oftast inte lyckats samla in ved som innehåller larvangrepp, trots omfattande ansträngningar med eftersök och kläckningsförsök från betydande mängder substrat. Bokblombock *Stictoleptura scutellata* har utan framgång eftersökts genom insamling av grova stamdelar av bok, men några exemplar av honor och hanar har också insamlats från blommor.

Tabell 1. Modellarter av skalbaggar (och en fjärilsart), för vilka riktade insamlingar av individer eller tänkbara substrat har gjorts, och i de fall arten har hittats också försök till doftuppsamlingar, identifiering och attraktionstester av substanser.

Art	Hot	Träd	Substrat	Kläck	Kand	ID	Synt	Attrakt
Cerambycidae,								
Långhorningar,								
Cerambycinae								
Rödhjon	NT/	Ek	Gren 5 cm	Hög	EAG, Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Pyrrhidium sanguineum</i>	LC							
Vedspegelbock	LC	Ek,	Gren 5-10	Måttligt	Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Phymatodes testaceus</i>		(Löv)	cm					
Kvistspegelbock	LC	Ek	Gren 2-3	Hög	EAG, Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Poecilium alni</i>			cm					
Mörk spegelbock	VU	Ek	Gren 5 cm	Hög	EAG, Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Poecilium pusillum</i>								
Smalbandad ekbarkbock	LC	Ek	Gren 5-10	Hög	Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Plagionotus arcuatus</i>			cm					
Bredbandad ekbarkbock	EN	Ek	Uppfödd	Uppfödd	Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Plagionotus detritus</i>								
Mindre ekbock	NT	Ek	Grova	Måttligt	Komp	Nej	Nej	Nej
<i>Cerambyx scopoli</i>			grenar					
Större ekbock	CE	Ek	Uppfödd	Uppfödd	Komp	Nej	Nej	Nej
<i>Cerambyx cerdo</i>								
Rödbent ögonbock	VU	Hasse	Hasselgren	Måttligt	Komp	Ja	Ja	Mycket
<i>Ropalopus femoratus</i>		l, Ek	äldre					låg
Lövgetingbock,	LC	Ek,	Gren 5 cm	Hög	Komp	Ja	Ja	Låg
<i>Clytus arietis</i>		(Löv)						
Prydnadsbock	NT	Löv	Blandat	Måttligt	Komp	Ja	Ja	Ja
<i>Anaglyptus mysticus</i>								
Gråbandad getingbock	LC	Asp	Högstubbe	Hög	Komp	Ja	Ja	Låg
<i>Rusticoclytus rusticus</i>			, Låga					
Gulröd blankbock	LC	Asp	Högstubbe	Sporadisk	EAG, Komp	Nej	Nej	Nej
<i>Obrium cantharinum</i>			, Gren					
Rödbrun blankbock	NT	Gran	Grenar	Sporadisk	EAG, Komp	Nej	Nej	Nej
<i>Obrium brunneum</i>								
Kortvingad granbock	LC	Gran	Grenar	Rikligt	Komp	Nej	Nej	Nej
<i>Molorchus minor</i>			fallen gran					
Grönhjon	NT	Gran	Grova	Inget	Nej	Nej	Nej	Nej
<i>Callidium aeneum</i>			grenar					
Bronshjon	LC	Gran	Stamdellar	Enstaka	Nej	Nej	Nej	Nej
<i>Callidium coreaceum</i>								
Vågbandad barkbock	LC	Gran	Stamdellar	Inget	Nej	Nej	Nej	Nej
<i>Semanotus undatus</i>								

Sälggetingbock <i>Rusticoclytus pantherinus</i>	NT	Sälg	Stamdellar	Enstaka	Komp	Del vis	Ja	Nej
Myskbock <i>Aromia moschata</i>	LC	Sälg	Stamdellar	Fåtal	Komp	Ja	Ja	Ja
Cerambycidae,								
Lamiinae								
Molnfläcksbock <i>Mesosa nebulosa</i>	NT	Ek	Huggen	Rikligt	Nej	Nej	Nej	Nej
			kratt 2 år					
Kragbock <i>Anaesthetis testacea</i>	LC	Ek	Huggen	Rikligt	Nej	Nej	Nej	Nej
			kratt 2 år					
Ekgrenbock <i>Exocentrus adspersus</i>	NT	Ek	Huggen	Rikligt	Nej	Nej	Nej	Nej
			kratt 1 år					
Spindelbock <i>Aegomorphus clavipes</i>	LC	Asp	Högstubbe	Rikligt	Nej	Nej	Nej	Nej
			1 år					
Grön aspvadbock <i>Saperda perforata</i>	NT	Asp	Högstubbe	Rikligt	Nej	Nej	Nej	Nej
			Låga					
			1-2 år					
Björkvedbock <i>Saperda scalaris</i>	LC	Björk	Grenar	Rikligt	Nej	Nej	Nej	Nej
		, ek						
Cerambycidae,								
Lepturinae								
Bokblomböck <i>Stictoleptura scutellata</i>	EN/ VU	Bok	Grov stam, Blommor	Enstaka	Nej	Nej	Nej	Nej
Bostrichidae,								
Kapuschongbaggar								
Rödvingad kapuschongbagge <i>Bostrichus capucinus</i>	VU EN/ VU	Ek	Frilagda rötter	Låg	EAG, Komp	Ja	Ja	Ja
eltidae, Flatbaggar								
Större flatbagge <i>Peltis grossa</i>	NT	Gran/ Björk	Högstubbe	Måttlig	EAG, Komp	Del vis	Delvis	Nej
Lepidoptera, Psychidae								
(Fjärilar, Säckspinnare)								
Nätsäckspinnare <i>Whittleia retiella</i>	CR	Gräs	Våtmarks- ängar	Rikligt	EAG, Komp	Ja	Ja	Ja

Identifiering och testning av feromonsubstanser: I de flesta fall då vi har kunnat fånga in arter för analys, har vi också kunnat samla tillräckliga mängder substanser i doftuppsamlingar för att kunna peka ut troliga feromonkomponenter i de producerade extrakten. Här finns dock tydliga skillnader mellan de tre olika underfamiljer av långhorningar (Cerambycinae, Lamiinae och Lepturinae) som vi har studerat. Inom underfamiljerna Cerambycinae och Lamiinae produceras sex- eller aggregationsferomoner vanligen av hanarna, medan inom Lepturinae produceras de av honorna (Hanks och Millar 2016, Millar och Hanks 2017). Hos

alla insamlade långhorningsarter av underfamiljen Cerambycinae hittade vi distinkta substanser som endast återfanns i doftextrakt från det ena könet, vanligen som väntat från hanar men hos de båda arterna blankbockar *Obrium* återfanns de hos honor. (Figur 3; Tabell 1). I många fall har vi också kunnat registrera elektroantennografiska svar från arternas antenner till dessa specifika ämnen, vilket ytterligare stödjer deras roll som feromonsubstanser (Figur 4; Tabell 1).

De flesta arter från underfamiljen Cerambycinae som vi har studerat är daglevande och solälskande, och det har i allmänhet varit tämligen enkelt att få utkläckta individer av dessa att villigt producera betydande mängder feromonkomponenter när de placerades i uppvärmda och belysta klimatkammare utan speciella åtgärder. Den stora ekbocken *Cerambyx cerdo* är emellertid skymnings- eller nattaktiv, och visade sig betydligt mer svårövertalad. Genom tillgången till uppfödda individer från Nordens ark kunde vi emellertid genomföra många olika uppsamlingsförsök varav några resulterade i avgivning av hanspecifika substanser under nattliga uppsamlingar. Troligen är arten betydligt mera selektiv rörande under vilka omständigheter den producerar doftsignaler än de daglevande arterna.

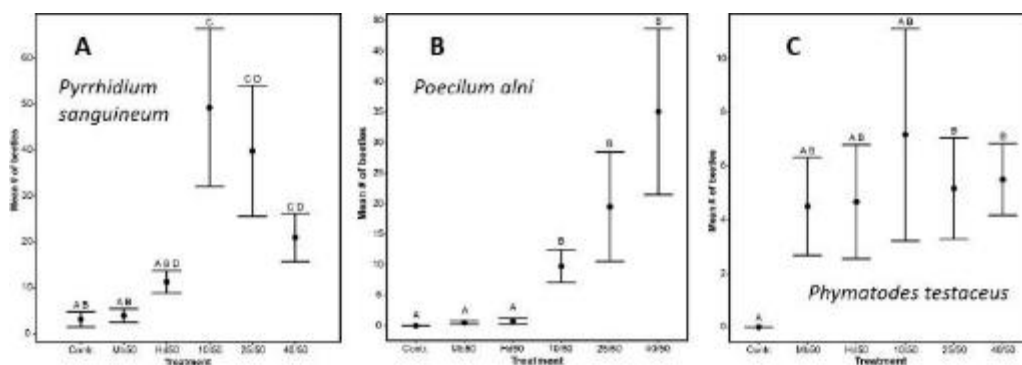
Gemensamt för alla arterna av underfamiljen Lamiinae som vi kläckte fram var att vi inte kunde hitta några tydligt distinkta substanser som tycktes vara specifika för någotdera könet, trots ett stort antal uppsamlingar från varje art, både under dagtid och under natten. Baserat på resultaten från andra arter från denna underfamilj (Hanks och Millar 2016) förväntar vi oss trots allt att arter från denna underfamilj också ska använda feromoner, företrädesvis producerade av hanar. Vi förmodar att arterna från denna underfamilj är ännu mer selektiva när det gäller vilka omständigheter som krävs för att de ska producera feromoner, men vi har inte hunnit utvärdera inom projektet hur metodiken skulle kunna varieras för att anpassas till deras behov. Våra metoder för feromonidentifiering har byggt på att djuren kläcks fram under vinterhalvåret och studeras i klimatkammare, och det är möjligt att dessa arter kräver annorlunda omständigheter för att aktivera feromonproduktionen. En framtida anpassning kan vara att låta utkläckningen ske under arternas naturliga utkläckningsperiod och hålla dem under mer naturliga förhållanden, kanske utomhus och med större möjligheter att interagera med sina respektive värdträd.

Hos bokblombeck *S. scutellata* hittade vi inte heller några könsspecifika substanser i doftuppsamlingar från ett antal honor och hanar. Detta var dock ganska väntat, då det tycks vara honor som producerar sexualferomon i denna familj. Vildfångade honor på blommor har troligen redan parat sig innan de fångas in, och därmed kan de förväntas producera små eller obefintliga mängder sexualferomon.

De två övriga arter skalbaggar som vi har studerat har båda producerat rikliga mängder av hanspecifika substanser, som också gett antenssvar från artens antenner.

När vi har pekat ut troliga feromonkandidater i extrakt har vi ofta också kunnat samarbeta för att identifiera och syntetisera de aktuella substanserna, och i flertalet fall har dessa också visat sig attraktiva vid fällfångst, och därmed kunnat bekräftas som goda replikeringar av artens feromon (se Figur 8 för exempel). Kompletta feromonidentifieringar för långhorningar har publicerats i internationella tidskrifter

(Molander och Larsson 2018, Molander et al. 2019a, b, c, Imrei et al. 2019, Molander et al. 2022). Många av långhorningarterna från underfamiljen Cerambycinae avger liknande feromonsubstanser, vilket har gjort att feromonkomponenter för dessa arter har kunnat identifieras och syntetiseras omgående, vilket underlättar processen. Antalet troliga komponenter i olika arters feromoner har varierat mellan en enda och upp till tre olika ämnen, för arten smalbandad ekbarkbock *Plagionotus arcuatus*. För några av dessa arter där troliga ”standardkomponenter” har identifierats och testats i fält, har fångsterna varit förvånansvärt låga. Det gäller arter som rödbent ögonbock, lövgetingbock, samt gråbandad getingbock och sälgetingbock. Här kan någon mindre komponent ha förbisetts i identifieringsprocessen, och ytterligare ansträngningar kan behöva göras för att samla in fler individer för kompletterande doftuppsamlingar. Möjligen behöver dessa arters feromon kompletteras med till exempel värds substratämnen för att bli ordentligt attraktiva; ett fenomen som förekommer hos en del långhorningar och andra växtätande insekter (Hanks m.fl.2012; Collignon m.fl.2016). För flera av de arter som inte producerar feromoner med tidigare kända substanser utgör identifieringen av substanser fortfarande en flaskhals i processen, och mer resurser behövs för att komplettera identifieringsprocessen för dessa. Detta gäller tyvärr fortfarande för åtgärdsprogramarter som större och mindre ekbock, och även den naturvårdsintressanta arten större flatbagge *Peltis grossa*, där en av tre troliga feromonkomponenter återstår att identifiera. Däremot har vi gjort en fullständig identifiering och attraktionstestning av feromonet för den rödlistade rödvingade kapuschongbaggen *Bostrichus capucinus* (VU). En beskrivning av feromonet för arten återfinns i en doktorsavhandling (Eriksson 2022) och kommer att publiceras snart.










Figur 8. Exempel på fällfångstresultat vid fångst av långhorningar under utprovning av feromoner. En kontroll testas mot substanserna 2-metylbutanol (Mb) respektive 3-hydroxyhexanon (Hd) samt olika förhållanden av de två komponenterna. Rödhjon *P. sanguineum* tycks mest attraherad av en 10/50-blandning av de två komponenterna, medan kvistspegelbock *P. alni* tycks mest attraherad av en 40/50-blandning (dock ej signifikant mer). Vedspegelbock *P. testaceus* verkar tämligen indifferent till huruvida betet innehåller den ena eller den andra substansen, eller någon blandning av de två.

Interaktioner mellan olika arters feromon: Metodutveckling och kemisk ekologi

För många olika insektsarter utgör närvaron av närbesläktade arters sexualferomon en stark stoppsignal som minskar eller helt eliminerar attraktionen till det egna feromonet; troligen för att undvika attraktion till fel art av misstag (Larsson m.fl.2002). Detta gör att man ofta måste vara mycket försiktig med att blanda beten från olika arter i samma fälla, för att undvika interaktioner mellan olika feromonbeten. Emellertid vore det mycket tids- och kostnadseffektivt om feromonsubstanser för många olika arter som övervakas parallellt kunde placeras i samma fälla, eller i samma bete. Långhorningar verkar generellt vara mindre känsliga än andra insektsgrupper för närvaron av artfrämmande feromonkomponenter (Hanks m.fl.2007, 2012) För de tre arterna rödhjon, kvistpegelbock och vedspegelbock, som avger och attraheras till något olika proportioner av samma två olika komponenter (se Figur 8 ovan), har vi använt en generisk mix på 50:12,5 mg per bete av de två olika komponenterna för att fånga alla tre arterna i samma fälla. För alla andra arter har fällor med arts specifika beten använts för alla landskapsstudier. Detta innebär att flera olika fällor ofta har behövt användas parallellt, även om vi vanligen har kunnat begränsa antalet något vid varje fångstillfälle, på grund av att arterna har delvis distinkta flygtider på säsongen.

Som ett led i arbetet med att utarbeta en praktiskt tillämpbar portfölj av arter som kan övervakas parallellt i naturvårdssyfte har vi emellertid också genomfört storskaliga studier av hur flera olika modellarter påverkas av varandras feromoner (Figur 9).

	3-hydroxy-2-hexanone	2-methyl-1-butanol	3-Hydroxy-2-decanone	2-hydroxy-3-octanone	1 - hexanol	2-nonanone
 <i>Anaglyptus mysticus</i>	50 mg		?		?	25 mg
 <i>Poecilium alni</i>	50 mg	25 mg				
 <i>Phymatodes testaceus</i>	(50 mg)	50 mg				
 <i>Phymatodes pusillus</i>		25 mg			50 mg	
 <i>Plagionotus arcuatus</i>	50 mg		10 mg		*	
 <i>Pyrrhidium sanguineum</i>	50 mg	10 mg				
 <i>Xylotrechus antilope</i>	?	?	?	50 mg	?	?
Full mix (mg)	50	12,5	10	50	50	25

Figur 9. Grafisk representation av hur de olika arternas attraktion till sitt eget feromon påverkas av närvaron av andra arters feromon i samma bete. De vågräta raderna visar hur arternas respektive feromon är komponerat i beten optimerade för enskilda arter. I kombinerade fällstudier har varje arts feromonbeten testats i enskilda fällor mot en fälla med en kombination av alla substanser (nedersta raden) och ibland också mot en blandning av det egna feromonet och vissa enskilda främmande feromonkomponenter. Grönt innebär att den främmande substansen inte alls eller i mycket begränsad utsträckning verkar

påverka attraktionen till det egna feromonet. Gult innebär att ämnet eventuellt tycks förstärka attraktionen, medan rött innebär en förmodat negativ påverkan. Smalbandad ekbarkbock *Plagionotus arcuatus* tycks påverkas mycket negativt av närvaron av 1-hexanol (asterisk), medan ekgetingbock *Xylotrechus antilope* generellt tycks vara negativt påverkad av främmande feromonkomponenter.

I kombinerade fällstudier har feromonbeten för de flesta cerambyciner i vår portfölj av modellarter testats i enskilda fällor mot en fälla med en kombination av alla substanser (Figur 9, nedersta raden) och ibland också mot en blandning av det egna feromonet och vissa enskilda främmande feromonkomponenter. Resultaten från dessa fällstudier visar att flertalet av dessa modellarter inte tycks påverkas nämnvärt av att olika arters feromon blandas i samma bete, jämfört med när de presenteras i olika fällor. Många arter skulle alltså kunna övervakas parallellt med en enda fälla och ett bete där alla komponenter var blandade tillsammans. Detta skulle spara ett stort antal fällor och även betydande mängder feromonsubstans, då många arter delar någon eller några komponenter som därmed inte behöver mångdubblas i flera olika beten.

Tillämpade landskapstudier i övervaknings- och bevarandesyfte

GROT-anknutna långhorningar: Lokal och regional fördelning 2014 och 2015

Den första landskapsstudien i projektet, beskriven i Molander 2019: paper VI, baserades på att de tre arterna rödhjon *P. sanguineum*, kvistspegelbock *P. alni* och vedspegelbock *P. testaceus*, samt mörk spegelbock *P. pusillum*, attraherades till olika blandningar av de tre första arternas gemensamma feromonkomponenter (Molander och Larsson 2018, Molander et al. 2019 a). Vi hade tidigt preliminära indikationer på attraktion till dessa feromonsubstanser, och de har därför valts ut för en preliminär övervakningsstudie för att studera deras verkliga fördelning i landskapet i mindre och större skala i relation till mängden ekskog. Dessa fyra arter förökar sig med 1-2-årig livscykel i nyligen döda grenar och kvistar framför allt av klen ek, av olika dimensioner från 2-3 cm (kvistspegelbock) till 5-10 cm och uppåt (rödhjon, vedspegelbock). Därför borde de kunna fungera som indikatorer på effekter av uttag av GROT (grenar och toppar) för biobränsle vid avverkning. Sådant sker i större omfattning med ökad efterfrågan på fossilfria energikällor, och har lyfts fram som ett tänkbart hot mot vedlevande skalbaggar som använder klen ved som larvsubstrat. Detta gäller i synnerhet vid flisning av GROT som lagts i hög under sommarsäsongen och sedan flisas innan nästa generation insekter kläckt ut (Hedin m.fl 2008).

Dessa fyra arter bildade tillsammans en intressant modellgrupp, med liknande nominella habitatkrav men olika förmodad känslighet för brist på vedsubstrat, baserat på deras dåvarande och tidigare hotklassificering på rödlistan och rapporterade förekomster i Artportalen (se tabell 1 och figurer i Resultat). Målsättningen med studien har varit landskapsstudier i två olika skalor, för att jämföra förekomst och abundans av dessa arter parallellt. Dels i en miljö med

relativt gynnsamma omständigheter inom ett begränsat, kontinuerligt område (Ekopark Hornsö), och dels i större skala med betydligt mer fragmenterade miljöer med mycket större kontraster (Skåne). Tillgången på effektiva fällor möjliggjorde för första gången storskaliga studier för att jämföra arternas relativa abundanser mellan olika platser och under olika omständigheter.

Studien har försökt besvara tre huvudsakliga frågeställningar:

- 1) Hur ser arternas verkliga förekomster ut, jämfört med vad som hittills har förmodats, baserat på rödlisteklassificering och kända förekomster?
- 2) Hur korrelerade är förekomsterna av dessa arter på olika platser, med tanke på att de har nominellt ganska likartade krav på substrat? Ser mönstret likadant ut i kontinuerliga och i kraftigt fragmenterade habitat?
- 3) Kan abundansen av någon av arterna förklaras med den generella tillgången på ek- eller lövskog i ett område på olika skalor?

Studien har baserat sig på mängden av arterna fångade i tre fällor per lokal, betade med en blandning av 3-hydroxyhexanon/2-metylbutanol som attraherar alla fyra arterna (Molander och Larsson 2018; Molander et al. 2019c). Fällorna har för det mesta suttit uppe under alla arternas huvudsakliga flygperioder som varierar från april-maj för rödhjon till juni-juli för vedspegelbock, och betena har förnyats med jämna mellanrum på ca 2 veckor under hela säsongen.

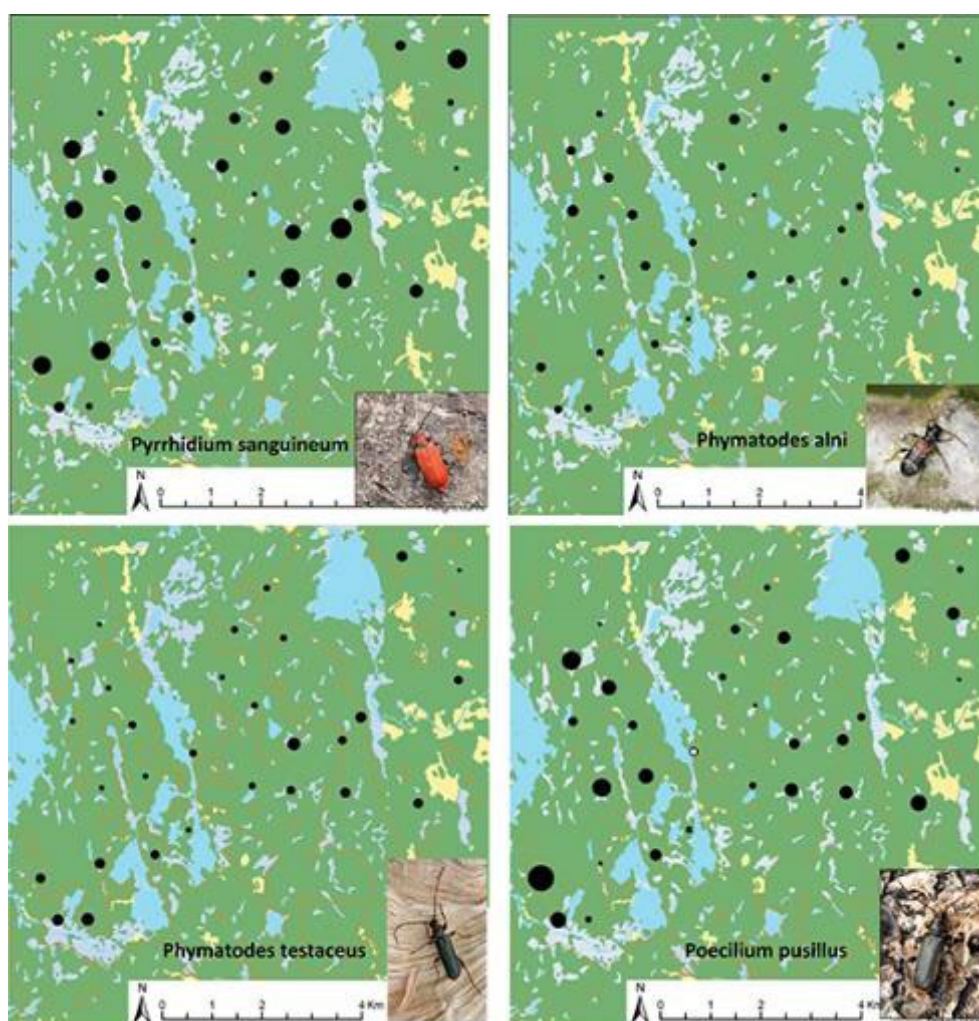
Fällfångster i Ekopark Hornsö 2014

Ekopark Hornsö som förvaltas av Sveaskog är den huvudsakliga kända förekomstplatsen för mörk spegelbock. Ekoparken har stor förekomst av klen ek på många platser, och frekventa avverkningar och naturvårdsåtgärder gör att det ofta förekommer mycket GROT och nyligen skadat ek-kratt spritt över stora delar av området. Sveaskog har under ganska många år genomfört insektsinventeringar i området med några års mellanrum med hjälp av fönsterfällor. Denna studie gjordes under ett år utan fönsterfällor, och utfördes på Sveaskogs 26 tidigare fällplatser i området, med komplettering av ytterligare fyra platser (Figur 10). På varje plats placerades 3 fällreplikor med 50-100 meters mellanrum runt den ungefärliga platsen för fönsterfällorna.



Figur 10. Placeringar av fällplatser i Ekopark Hornsö, baserat på systematiska inventeringspunkter med fönsterfällor utförda av Sveaskog. Fällplats 1-26 utgörs av Sveaskogs fällpunkter, och 27-30 utgör kompletterande platser som valts ut för detta projekt. För studier av GROT-anknutna långhorningar samt fångst-återfångststudier av raggbock *Tragosoma depsarium* (se nedan) har varje fällplats haft tre fällreplikater placerade ca 50-100 meter från varandra.

Alla fyra arterna fångades på alla 30 undersökta lokaler i Ekopark Hornsö, utom mörk spegelbock som var frånvarande på en lokal (Figur 11). Totala antalet individer av varje art som fångades, samt genomsnittliga antalet per fälla, var: rödhjon *Pyrrhidium sanguineum* 5289 (58,8), kvistspegelbock *Poecilium alni* 5511 (61,2), vedspegelbock *Phymatodes testaceus* 922 (10,2) och mörk spegelbock *Poecilium pusillum* 189 (2,1). Abundanserna av de fyra arterna varierade betydligt mellan olika lokaler inom Hornsö, och det var tydligt att samstämmigheten mellan de olika arternas förekomster var begränsad (se nedan).



Figur 11. Relativ abundans och total fångst av de fyra GROT-anknutna långhorningsarterna rödhjon *Pyrrhidium sanguineum* (5289 individer), kvistspegelbock *Poecilium alni* (5511 individer), vedspegelbock *Phymatodes testaceus* (922 individer) och mörk spegelbock *Poecilium pusillum* (189 individer) på 30 olika fångstplatser i Ekopark Hornsö. Prickarnas storlek visar de relativa fångsterna mellan fångstplatser för varje enskild art med 3 fällor per fångstplats över ekoparken. De totala fångsterna för varje art var mycket olika (se text). Alla arterna fångades på alla lokaler i ekoparken, utom mörk spegelbock som inte hittades på en plats (fylld vit punkt). Kartor © Lantmäteriet, Gävle

Fällfångster i Skåne 2015

Motsvarande undersökningar som i Ekopark Hornsö genomfördes också i Skåne 2015, på 78 olika platser spridda över länet. Platserna var utvalda för att spegla olika slags landskapstyper och ekmiljöer med allt från kratt-ekskogar på Kullabergs sidor till stora betesmarksekar och ekfattig sandtallskog (Molander 2019 paper VI; Backström 2016). Även här placerades 3 fällor per lokal, med varierande avstånd för att täcka olika delar av lokalen. Vissa platser, som Hallands väderö och Torups bokskog, omfattades av två eller fler lokaler med tre fällor vardera.

Av de fyra arterna som studerats i Hornsö återfanns inte mörk spegelbock i Skåne, varifrån arten inte heller är rapporterad. Övriga tre arter visade sig ha en omfattande utbredning på flertalet studerade skånska lokaler.

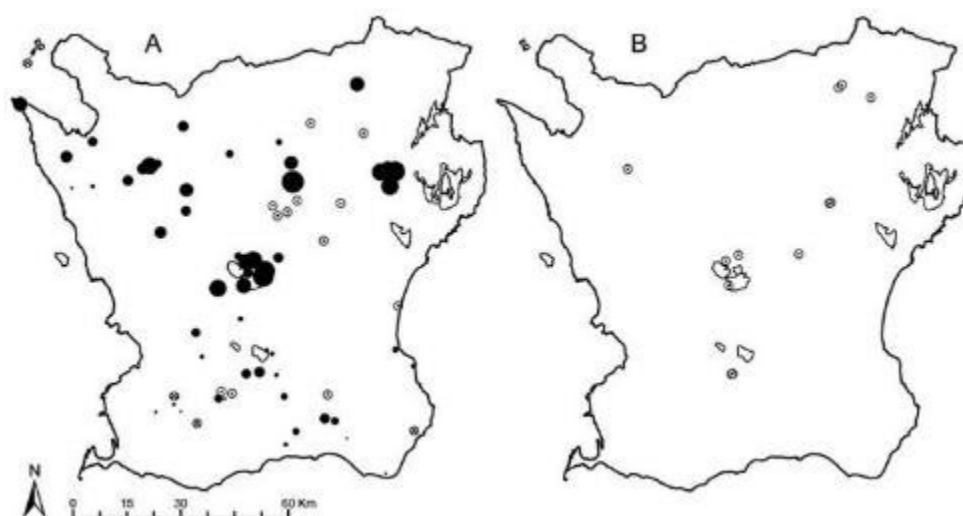
Rödhjon uppvisade den mest omfattande förekomsten i relation till våra tidigare förväntningar (Figur 12). Rödhjon var rödlistad (NT) vid tiden för undersökningen, med mycket begränsade fyndrapporter från Skåne i Artportalen (Figur 12B). I själva verket visade sig arten vara mycket vanligt förekommande över hela Skåne, inklusive på många mindre lokaler med ekskog som utgör ganska isolerade fragment i södra och västra Skånes jordbrukslandskap. Den saknades endast på tre platser inklusive Hallands väderö, och uppvisade ofta höga fållfångster.

Genomsnittligt antal fångade individer var 15,1 per fälla på lokaler som funnits uppe under större delen av fållsäsongen.

Kvistspegelbock hade tidigare varit rödlistad som NT till och med 2010 års rödlista, och hade också få rapporterade tidigare fynd, framför allt från Skånes centrala delar (Figur 13B), men visade sig emellertid också vara mycket vanligare än förväntat. Kvistspegelbock var dock den art som var minst vanlig bland de skånska arterna, och saknades på 25 lokaler inklusive Hallands väderö och flera eklokaler i det fragmenterade jordbrukslandskapet i södra och västra Skåne.

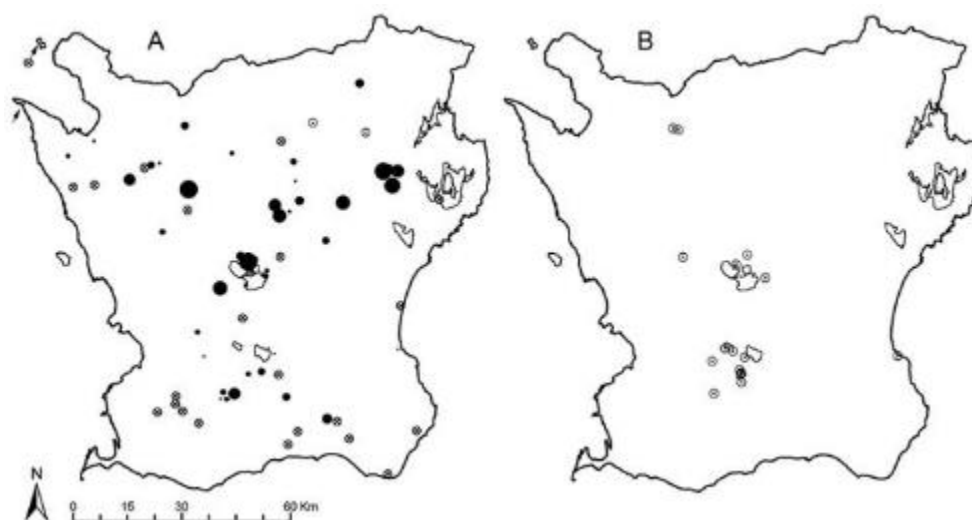
Genomsnittligt antal fångade individer per fälla där arten förekom var 2,9.

Vedspegelbock räknas som en mycket allmän art, med utbredda förekomster i Skåne rapporterad i Artportalen (Figur 14B). Våra fållstudier bekräftade denna bild, med förekomst på nästan alla studerade lokaler inklusive Hallands väderö, och saknades endast på tre platser, med genomsnittligt antal fångade individer 4,7 per fälla.

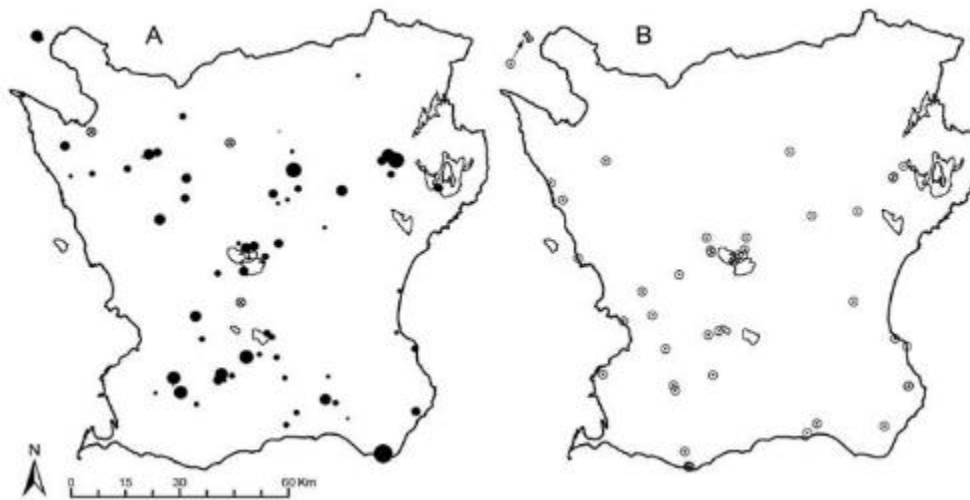


Figur 12. A) Förekomst och abundans av rödhjon *Pyrrhodium sanguineum* på 78 olika lokaler i Skåne, baserat på feromonfångster 2015. Fyllda cirklar representerar närvaro av

arten, med storleken på cirkeln proportionell mot det relativa antalet fångade individer per fälla per lokal. Cirklar med kryss (3 st) representerar lokaler utan fångster av arten. Cirklar med punkt (11 st) representerar lokaler där arten detekterades, men fällorna sattes upp så pass sent på säsongen att någon rättvisande abundans inte kunde uppskattas. B) Alla fynd av arten rapporterade mellan 1980 och 2014 i Artportalen; närvaro representerad av en cirkel med punkt. GSD-Översiktskartan, vektor © Lantmäteriet, Gävle



Figur 13. A) Förekomst och abundans av kvistspegelbock *Poecilium alni* på 78 olika lokaler i Skåne, baserat på feromonfångster 2015. Fyllda cirklar representerar närvaro av arten, med storleken på cirkeln proportionell mot det relativa antalet fångade individer per fälla per lokal. Cirklar med kryss representerar lokaler utan fångster av arten. Cirklar med punkt (2 st) representerar lokalen där arten detekterades, men problem med fällorna gjorde att någon tillförlitlig abundans inte kunde uppskattas. B) Alla fynd av arten rapporterade mellan 1980 och 2014 i Artportalen; närvaro representerad av en cirkel med punkt. GSD-Översiktskartan, vektor © Lantmäteriet, Gävle



Figur 14. A) Förekomst och abundans av vedspegelbock *Phymatodes testaceus* på 78 olika lokaler i Skåne, baserat på feromonfångster 2015. Fyllda cirklar representerar närvaro av arten, med storleken på cirkeln proportionell mot det relativa antalet fångade individer per fålla per lokal. Cirklar med kryss (3 st) representerar lokaler utan fångster av arten. B) Alla fynd av arten rapporterade mellan 1980 och 2014 i Artportalen; närvaro representerad av en cirkel med punkt. GSD-Översigtskartan, vektor © Lantmäteriet, Gävle

Arternas fördelning i förhållande till varandra och till mängden ek i landskapet

En grundläggande frågeställning var huruvida dessa långhorningsarter, med nominellt likartade substratkrav, skulle uppvisa likartade förekomster på olika platser. Om deras populationsdynamik styrs av liknande grundläggande tillgång på förökningssubstrat så borde förekomsterna av arterna på olika platser korrelera med varandra. I våra fällstudier i Hornsö var det för varje art betydande skillnader i antal fångade individer mellan de olika lokalerna (Figur 11). Emellertid uppvisade endast arterna kvistspegelbock och mörk spegelbock någon inbördes korrelation i antalet fångade individer mellan de 30 olika fångstlokalerna (Tabell 2). Övriga arters abundanser var inte korrelerade mellan fångstlokalerna i Hornsö, vilket tyder på att de uppvisar skillnader i substrat- eller habitatkrav som är tillräckligt stora för att deras lokalpreferenser ska skilja sig betydligt. Alternativt tenderar deras spridningsförmåga i denna begränsade skala att utjämna eller motverka skillnader i substrattillgång och habitatkvaliteter mellan olika fångstlokaler.

I jämförelser på den större skalan, mellan olika lokaler i Skåne, utgjorde lokalerna mer oberoende fångstplatser som var vitt spridda i landskapet. Kontrasterna mellan enskilda lokaler, med avseende på den generella förekomsten av ek och eksubstrat inom några kilometers avstånd från fällorna, var rimligen mycket större än vid jämförelser på de begränsade skalorna i Hornsö. I Skåne fanns endast tre av de fyra arterna, vilket gav tre ömsesidiga jämförelser mellan olika arter. Två av dessa korrelationer, mellan rödhjon och kvistspegelbock, samt mellan rödhjon och vedspegelbock, var signifikanta, medan kvistspegelbock och vedspegelbock inte uppvisade någon samvariation. Dessa två arter uppvisar troligen de största

kontrasterna i tänkbara förökningssubstrat, då kvistspegelbock är specialiserad på mycket tunna ekgrenar och kvistar, medan vedspiegelbock framför allt utnyttjar grövre substrat och även ett större urval av lövträdsarter.

Tabell 2. Korrelationer mellan abundanser av studiens fyra målarter på lokaler inom Ekopark Hornsö 2014 respektive Skåne 2015 (Kendall's Tau-b-korrelation baserat på rang. Signifikanta p-värden i fetstil). Från Molander 2019, Paper VI

Study	Species couplet	Tau-b	Z	<i>P</i>
Hornsö 2014	<i>P. sanguineum</i> / <i>P. alni</i>	0.23	1.77	0.077
	<i>P. sanguineum</i> / <i>P. testaceus</i>	<0.01	0.02	0.986
	<i>P. sanguineum</i> / <i>P. pusillus</i>	0.12	0.89	0.374
	<i>P. alni</i> / <i>P. testaceus</i>	0.02	0.16	0.872
	<i>P. alni</i> / <i>P. pusillus</i>	0.34	2.53	0.011
	<i>P. testaceus</i> / <i>P. pusillus</i>	0.10	0.74	0.460
Skåne 2015	<i>P. sanguineum</i> / <i>P. alni</i>	0.32	2.66	0.008
	<i>P. sanguineum</i> / <i>P. testaceus</i>	0.26	2.59	0.010
	<i>P. alni</i> / <i>P. testaceus</i>	0.06	0.54	0.596

Eftersom alla arterna är mer eller mindre knutna till ekvedssubstrat har vi också studerat om abundansen för några av arterna påverkades av den generella tillgången på ek i landskapet. Den stående volymen av ek uppskattades från SLU:s Skogskarta på olika avstånd från varje fångstlokal, och korrelerades med antalet fångade individer på varje lokal. Även dessa jämförelser gjordes över den mindre skalan med täta fångstlokaler i Hornsö, respektive på den större skalan med lokaler spridda över hela Skåne (Tabell 3).

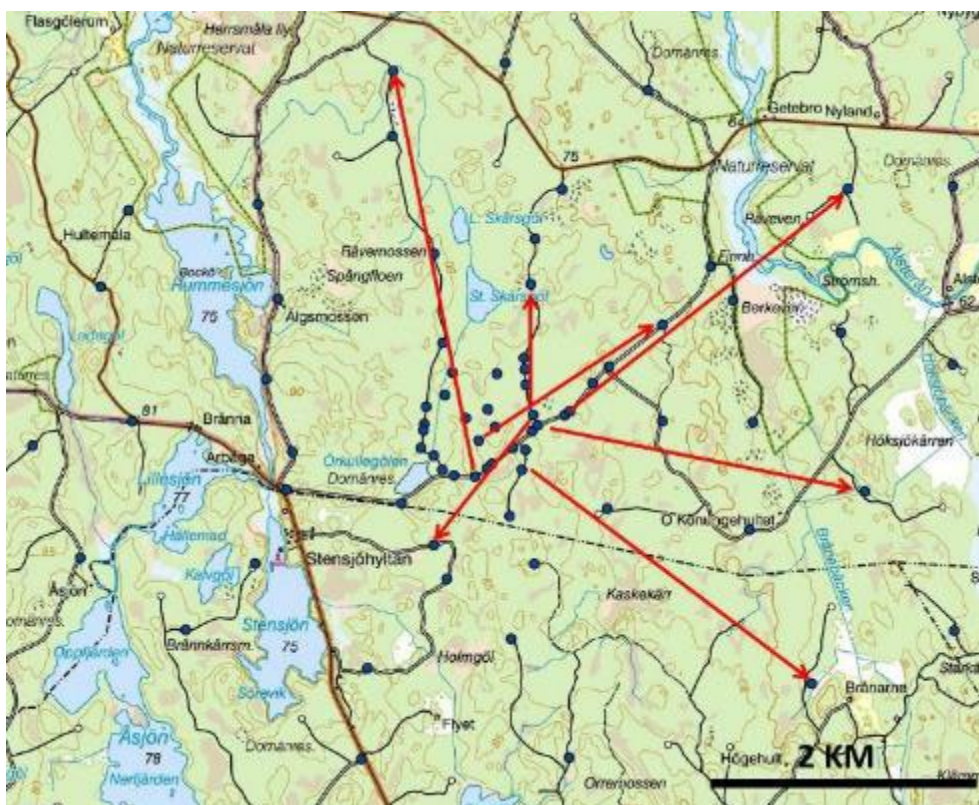
Ingen av arternas abundanser korrelerade med den generella förekomsten av ek i Hornsö, över avstånd på 100 respektive 300 meter från fångstlokalerna. Det var inte meningsfullt att uppskatta ekmängd över större avstånd än 300 meter, eftersom överlappen mellan olika beräkningsytor då blev för stora. I Skåne fanns det större kontraster i ekmängd mellan olika lokalområden, och ekmängden kunde uppskattas över flera olika skalor upp till 2700 m radie runt oberoende fångstlokaler. Även med dessa förutsättningar förblev de flesta korrelationer icke-signifikanta, med det enda undantaget att fångsten av kvistspegelbock *P. alni* var signifikant korrelerad ($p=0,031$) med ekvolymen inom den största skalan på 2700 m radie.

Tabell 3. Spearman-korrelationer mellan fällfångster av olika GROT-anknutna långhorningsarter och mängden av ekskog (m³) inom olika avstånd från fällorna inom Skåne respektive Hornsö. Avstånd över 300 m testades inte i Hornsö, p.g.a. omfattande överlapp mellan fällområden. Ett signifikant p-värde i fetstil.

Study	Scale	100			300			900			2700		
		S	r_s	P	S	r_s	P	S	r_s	P	S	r_s	P
Skåne 2015	Correlation												
	<i>P. sanguineum</i>	28017	0.09	0.496	24647	0.20	0.133	24744	0.20	0.140	26731	0.32	0.092
	<i>P. ulmi</i>	30807	0.01	0.991	24346	0.21	0.115	23586	0.23	0.077	21990	0.34	0.031
	<i>P. testaceus</i>	28490	0.08	0.571	26708	0.13	0.319	33662	-0.09	0.501	31060	-0.01	0.961
Hornsö 2014	<i>P. sanguineum</i>	4258.9	0.05	0.783	5148.1	-0.15	0.444						
	<i>P. ulmi</i>	5864.2	-0.31	0.102	5420.0	-0.21	0.274						
	<i>P. testaceus</i>	3979.4	0.12	0.546	3332.8	0.26	0.168						
	<i>P. psyllus</i>	4815.5	-0.07	0.709	5023.2	-0.12	0.526						

Fångst-återfångststudier av Rödhton *Pyrrhidium sanguineum* i Hornsö 2015

Under april-juni 2015 utfördes fångst-återfångststudier av rödhton med feromonfällor i Hornsö, med fällor av samma typ som året innan, men med levandefångster, för att få en uppfattning om artens spridningsavstånd. Placeringen av dessa fällor visas i Figur 15. En central grupp fällor inom ca 1,5 km radie besöktes varje dag och tömdes och djuren märktes, medan en annan grupp fällor i periferin besöktes mer sällan och användes för att försöka detektera spridningar på lite längre avstånd från centralgruppen.



Figur 15. Placering av levandefällor för fångst-återfångststudier av rödhton i Hornsö, samt detekterade förflyttningar långförflyttningar till perifera fällor markerade med röda pilar. GSD-Terrängkartan © Lantmäteriet, Gävle

I studien fångades och märktes ca 1200 individer av rödhjon, varav ca 40 återfångades, vilket innebär ca 3% återfångstfrekvens. En förhållandevis stor andel återfångster utgjordes av förflyttningar mellan fällor, med sex längre förflyttningar på 1,5-3,2 km mellan centralområdets fällor och mer perifera fällor. Maximalt uppmätta förflyttningar verkar ha begränsats av avståndet till de mest perifera fällorna snarare än att representera någon bortre gräns för artens flygbenägenhet. Detta geografiskt och temporalt mycket begränsade studium av rödhjon har uppmätt mycket längre förflyttningar än vad som har noterats till exempel för en hålträdslevande skalbagge som läderbaggen *Osmoderma eremita* (maximalt ca 500 m) med liknande metoder under flera års studier med större potentiellt detekterbara förflyttningar (Hedin och Ranius 2002; Hedin m.fl.2008; Svensson et al. 2011).

GROT-anknutna långhorningar: Habitatfördelning och effekter av åtgärder 2016-2018

Från och med 2016 har vi haft tillgång till preliminärt identifierade feromoner för sex långhorningsarter som alla är huvudsakligen knutna till färsk ekved av klenare dimensioner (Figur 16). Efter erfarenheterna med de inledande försöken 2014 och 2015 har vi velat göra en mer riktad studie där arternas förekomster och abundanser kunde knytas direkt till specifika habitattyper och resurser av relevans för skogsskötsel. Den huvudsakliga avsikten med detta försök har varit tvåfaldig: 1) Dels att jämföra abundansen av dessa arter i konventionellt brukad ekskog med motsvarande förekomster i lokaler med naturvärdesfokus, som nyckelbiotoper och traditionella jätteek-lokaler som traditionellt har uppmärksammats i samband med



Figur 16. De sex långhorningsarterna som studerats i en kombinerad habitats- och dynamikstudie i östra Småland och delar av Blekinge 2016-2018. Uppifrån och från vänster: rödhjon *Pyrrhidium sanguineum*, kvistspegelbock *Poecilium alni*, vedspegelbock *Phymatodes testaceus*, smalbandad ekbarkbock *Plagionotus arcuatus*, ekgetingbock *Xylotrechus antilope* och mörk spegelbock *Poecilium pusillum*.

hålträdslevande insekter. Flera av arterna är eller har varit rödlistade, varav mörk spegelbock som tidigare nämnts räknas som Sårbar, och är bara funnen i anslutning till Hornsö med närliggande områden.

2) Dels att studera kvantitativt om det går att detektera med feromonfällor hur vedlevande insekter med kort generationscykel på 1-2 år kan utnyttja de GROT-resurser som genereras i samband med skötselåtgärder som gallring och avverkning i konventionellt brukad skog.

I detta försök har vi genom kvantitativa fällfångster studerat abundansen av de sex långhorningsarterna inom olika slags lokaler (Figur 17, 18):

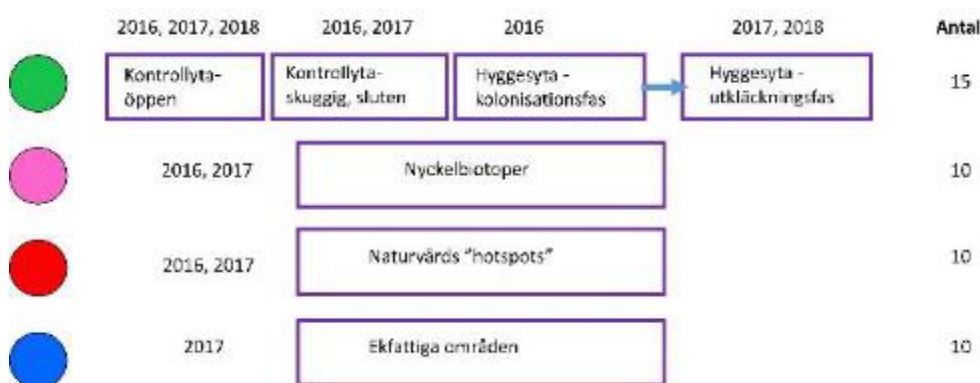
1) Ekdominerad, konventionellt brukad skog (15 platser x 3 lokaler). För att studera effekterna av åtgärder på fördelningen av våra modellarter inom konventionella skogsbruksmiljöer så jämfördes tre olika lokaliteter som låg inom samma område (mellan 1-3 km avstånd): a) En behandlingslokal som gallrats eller avverkats och där GROT lämnats kvar enligt Södras rekommendationer (ca 15%) (Figur 18). En kontrolllokal bestående av ett ekdominerat bestånd där inga åtgärder utförts under de senaste åren. Dessa lokaler delades upp i två delar där fällor placerades inne i det slutna beståndet för att studera miljön innan avverkning, respektive i ett soligt bryn utanför, för att studera en öppen miljö likt en avverkad yta men utan de GROT-resurser som tillkommit där.

2) Ekdominerade nyckelbiotoper (10 lokaler).

3) Traditionella "hotspots" för eklevande hålträdsinsekter som utgörs av jätteekdominerade lokaler (10 st).

Typ 1 och 4 valdes ut i samråd med Södra, med hjälp av deras databaser över ekskogsområden av olika kvaliteter och nyligen gjorda avverkningar (Figur 17 för schematisk översikt över lokaliteter):

En geografisk översikt över lokalernas placering finns i figur 19. Detaljerade uppgifter om vilka lokaler som studerats finns i Molander 2019, Paper VII.



Figur 17. En sammanställning av olika lokaliteter som studerades i en kombinerad habitat- och skogsdynamikstudie i östra Småland och Blekinge 2016-2018.

På varje lokal placerades 3 replikat av fällor med fyra olika beten. Rödhjon, kvistspegelbock och vedspegelbock fångades med samma bete, och de tre övriga

arterna med en fälltyp vardera med artens respektive feromon (Molander 2019; Molander och Larsson 2019; Molander m.fl. 2019a, 2019b).

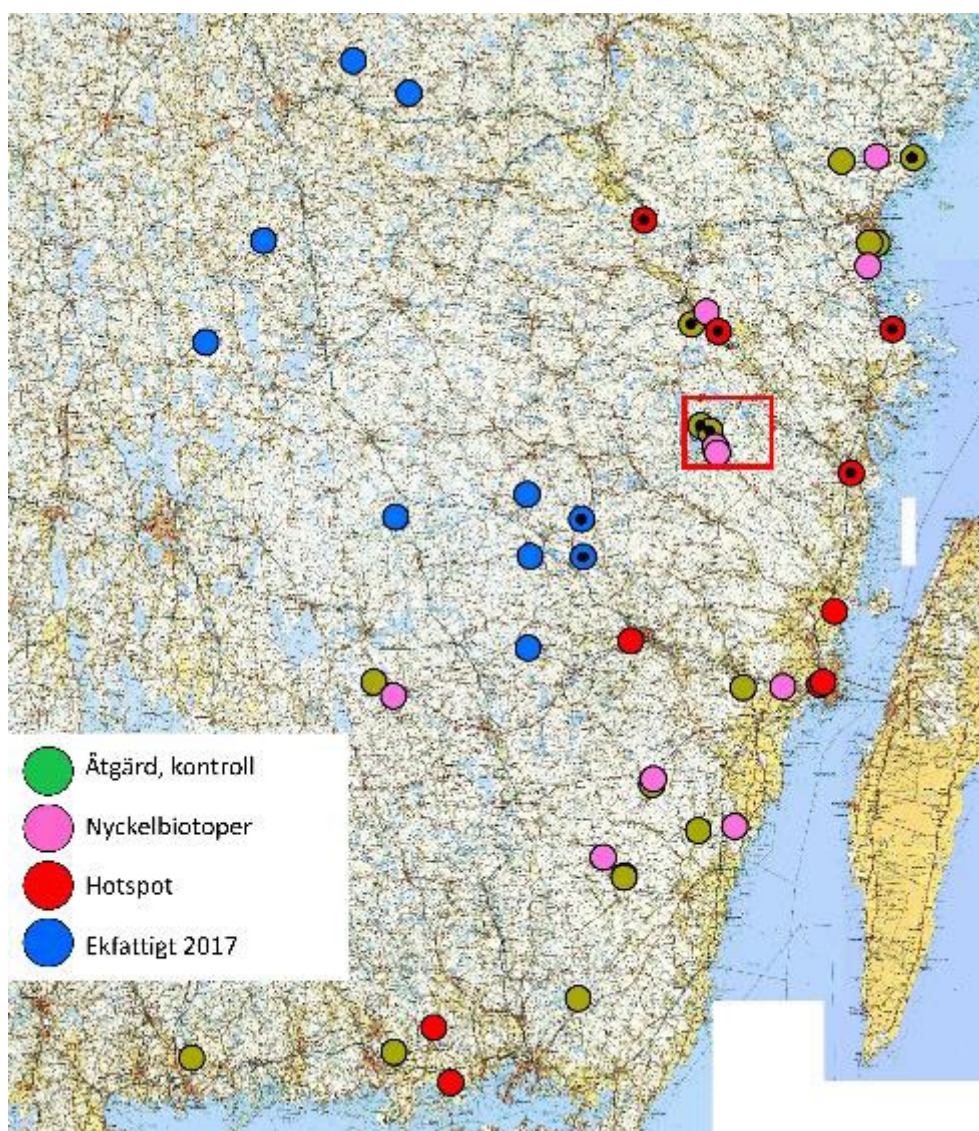
Arterna visade sig i många fall vara allmänt förekommande i hela försöksområdet, och de flesta arterna hittades på i stort sett varje försökslokal inklusive både kontrolltytor och behandlingsytor i ekproduktionsskog. Ett undantag var mörk spegelbock, som framför allt förekom på lokaler i Ekopark Hornsö med höga fångster, och några andra platser relativt nära med några få individer (se markeringar i Figur 19). Ett annat undantag var ekgetingbock, som inte fångades



Figur 18. Exempel på de fem olika huvudsakliga typerna av ekhabitat som studien 2016-2018 omfattar. Överst till vänster: Nyligen avverkat ekbestånd i produktionsskog, med färska grenar. Överst till höger: orört kontrollbestånd med en öppen yta som vetter mot söder. Mitten till vänster: inre delarna av ett kontrollbestånd. Mitten till höger: kanten på en ekdominerad nyckelbiotop. Nederst till vänster: typisk "hotspot"-lokal för eklevande rödlistade arter. Nederst till höger: Färskt eksubstrat koloniserar omedelbart av studiens målarter och blir snart förbrukat. Vedsubstraten på bilden var färska under våren 2016, men lite mer än ett år senare (juli 2017) faller barken av och de flesta av studiens målarter har redan kläckt ut från veden. Foton: Mikael Molander. Från Molander (2019)

någonstans i Blekinge, vilket stämmer ganska bra med det tidigare kända utbredningsområdet i sydöstra Sverige, som i stort sett är begränsat till östra Småland och Öland (Figur 20).

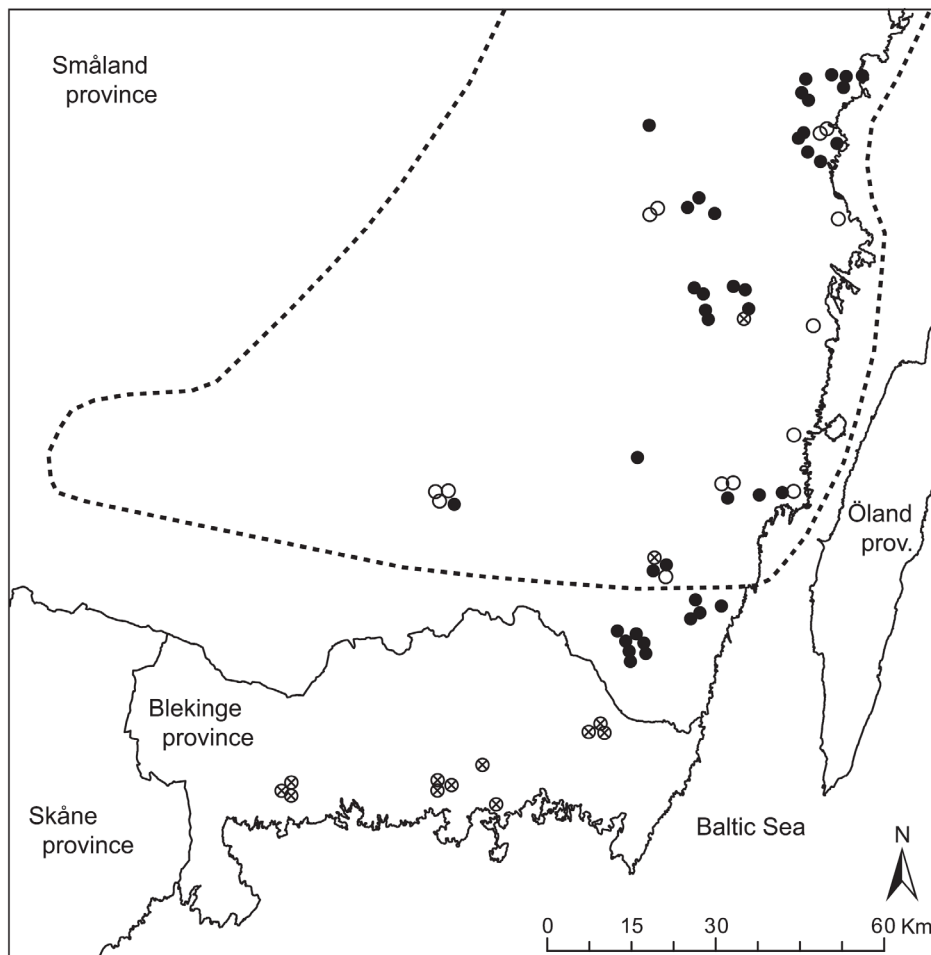
Fångsterna visade sig också vara anmärkningsvärt jämna mellan olika typer av habitat (Figur 21). Det fanns inga statistiska skillnader i abundans för någon art mellan de två olika typerna av naturvårdsintressanta lokaler: nyckelbiotoper respektive jätteträdslokaler som utgör hotspots för ekbiodiversitet, trots att de ofta har ganska olika prägel. Nyckelbiotoperna var generellt något slutnare och mindre solexponerade. Det fanns heller inga generella skillnader i abundans mellan produktionsskogslokaler (antingen bryn eller inre delarna) respektive nyckelbiotoper eller hotspotlokaler.



Figur 19. Den geografiska placeringen av olika lokaltyper i habitat- och dynamikstudien 2016-2018. Rektangeln visar placeringen av studieområdet i Ekopark Hornsö. Lokaler med svarta punkter i

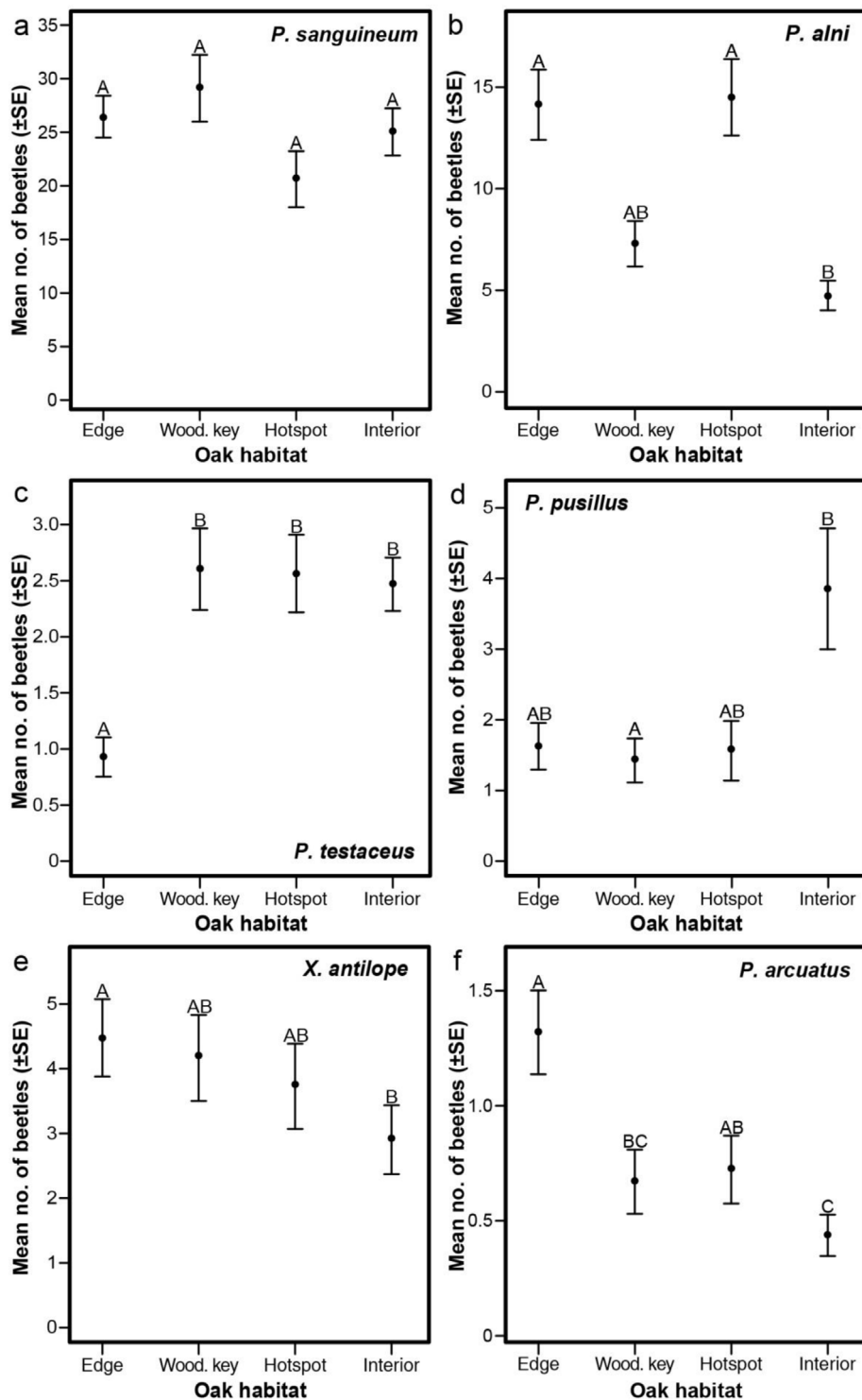
mitten visar de få platser där mörk spegelbock *Poecilium pusillum* fångades under studien. GSD-Översiktskartan, © Lantmäteriet, Gävle

När det gäller effekten av kvarlämnat GROT på åtgärdslokaler så jämfördes dessa med brynmiljöer på kontrolllokaler, som var likartade vad gäller öppenhet och solexponering (Figur 22). För alla arterna utom kvistspegelbock hade åtgärdslokalerna högre abundans under kolonisationsfasen år 2016, vilket indikerar att det färskt virket ledde till aggregationseffekter på platsen. De flesta arter hade också synbarligen högre, och vanligen signifikant högre, abundans på åtgärdslokaler även under 2017, vilket indikerar en effekt av det första årets utkläckning från det koloniserade virket på platsen. Under 2018 fanns det synbarligen en tendens för de flesta arter att åtgärdslokalerna närmade sig



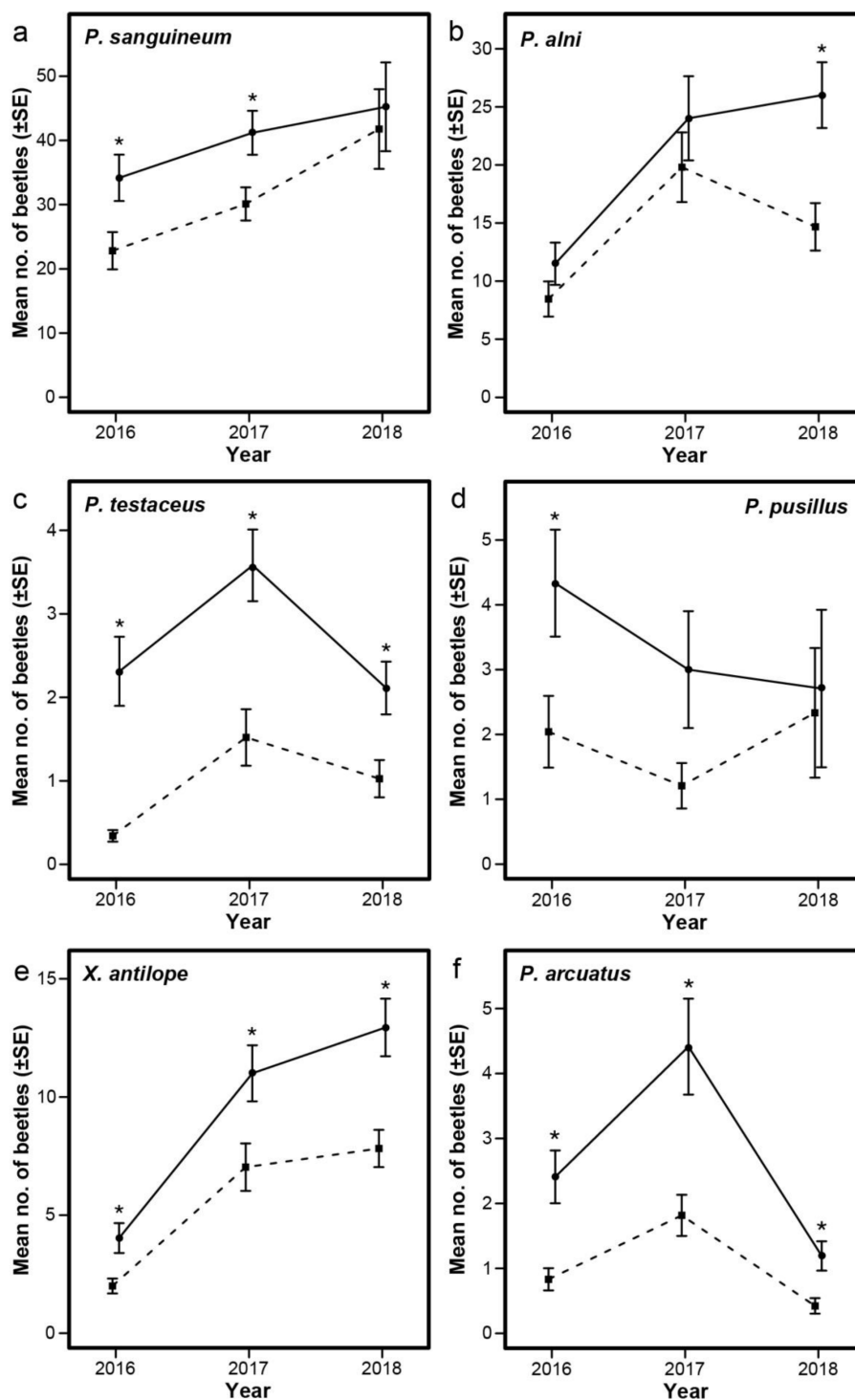
Figur 20. Karta över sydöstra Sverige med Blekinge och Kalmar län, med 68 lokaler där 3 replikat med fällor för ekgetingbock *Xylotrechus antilope* placerades ut 2017. Dessa lokaler representerar olika lokaltyper beskrivna ovan; alltså en blandning av ekrika nyckelbiotoper, "hotspot"-lokaler, samt skogsbrukslokaler med och utan avverkningar. Den streckade linjen representerar en uppskattning av artens kända utbredningsområde baserat på Lindhe m.fl. (2010) och Artportalen. Både fyllda och ofyllda cirklar representerar lokaler där ekgetingbocken fångades i åtminstone en feromonfälla under 2017, medan kryssade cirklar representerar lokaler där arten inte fångades. Arten återfanns alltså på alla lokaler utom en

inom Kalmar län, medan den inte fångades någonstans i Blekinge. Från Molander m.fl. 2019c. Karta: GSD-Översiktskartan, vektor © Lantmäteriet, Gävle.



Figur 21. Jämförelser mellan fångster av våra sex modellarter i olika habitattyper; sammanslagna värden från 2016 och 2017. Edge och Interior innebär brynmiljö respektive inne i ekskogen på orörda

kontrolllokaler. Wood. key innebär ekdominerad nyckelbiotop (kant) och Hotspot innebär jätteeklokal med naturvårdsvärden för hållrädslevande ekarter.



Figur 22. Jämförelser mellan fångster av våra sex modellarter i bryn på orörda kontrolllokaler (streckad linje) och brukade lokaler med kvarlämnat GROT (heldragen linje) under 2016 (kolonisationsfas), 2017 och 2018 (utklädningsfaser).

kontrolllokalerna i abundans, även om skillnaderna ofta fortfarande var signifikanta. Tydliga undantag från detta utgörs av ekgetingbock *X. antilope* som synbarligen uppvisar lika stora eller större skillnader under det andra utkläckningsåret, samt kvistspegelbock *P. alni* som endast uppvisar tydliga skillnader just under det andra utkläckningsåret. Dessa mönster stämmer tämligen väl med utkläckningsmönstren från vedprover av olika ålder som vi har samlat i Hornsöområdet. De flesta arter som vi har studerat har sin huvudsakliga kläckningsfas ett år efter kolonisationsfasen, medan just ekgetingbock och kvistspegelbock tycks uppvisa lika höga eller högre kläckningsaktivitet under andra året efter kolonisationen.

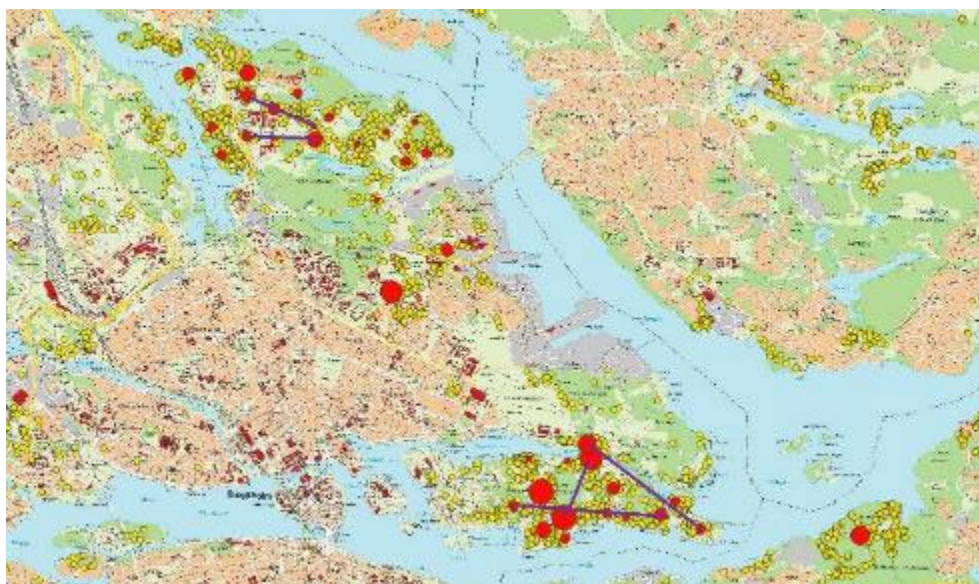
Bredbandad ekbarkbock *Plagionotus detritus* – Populationsövervakning och återplantering

Ett av de mest glädjande och uppseendeväckande resultaten av projektet är att vi i samarbete med Nordens Ark har kunnat identifiera feromonet för den starkt hotade bredbandade ekbarkbocken *P. detritus* (se Resultat). Bredbandad ekbarkbock har funnits på ett antal ekrika lokaler i södra Sverige, men har försvunnit från flertalet lokaler under senare hälften av 1900-talet och anses nu finnas kvar huvudsakligen på Djurgården. Med hjälp av feromonfällor för bredbandade ekbarkbocken har vi också kunnat tillämpa feromonfångst av arten för att göra en storskalig inventering av dess förekomst på Djurgården och fyra andra lokaler i Stockholmsområdet, med fångst- återfångststudier. Vi har också kunnat bidra till att följa utplanteringsförsöken i Uppland vid nedre Dalälven vid Båtfors med hjälp av feromonfällor.

Under 2016 satte vi upp 24 feromonfällor för bredbandad ekbarkbock i området runt Båtfors, för att följa hur individer som kläcktes från utplanterade stockar rörde sig i området. Samma år gjorde vi ett storskaligt fångst-återfångststudie på Djurgården i Stockholm. Efter inledande goda fångster på Djurgården under 2016 så slutade fällorna fånga individer, även efter ombetning. Resultaten därifrån visas inte här, då vi misstänker att något har gått fel av okänd orsak och de torde vara kraftigt missvisande.

Under 2020 försåg vi Länsstyrelsen i Uppland med en ny omgång fällor för studier av den bredbandade ekbarkbocken i Båtfors efter flera års nya utplanteringar. Då passade vi också på att göra om försöken med fångst- återfångststudier med 35 fällor spridda över norra och södra Djurgården, samt lade till fyra andra stockholmslokaler med bistånd av länsstyrelsen i Stockholm: Ulriksdal i Solna, Sticklinge på Lidingö, Nyckelviken i Nacka, samt Ekbacken i Åkersberga. De tre första lokalerna ligger över vattnet på olika sidor om Djurgården, och det är svårt att veta om de är självständiga lokaler eller regelbundet utbyter individer med Djurgården. Ekbacken i Åkersberga ligger däremot ca 17 km fågelvägen från

Djurgården, och detta representerar med största sannolikhet en helt självständig lokal.



Figur 23. Fångst av bredbandad ekbarkbock *Plagionotus detritus* i Stockholm på Norra och Södra Djurgården, samt två platser i mellanliggande stadsmiljöer med stora ekar (gula prickar på kartan). Vid varje punkt användes en fälla, och fångsterna anges som totalfångst av individer per fälla; 1-39 fångster, med storleken proportionell mot fångsten. Några lokaler utanför Djurgårdshalvön är också synliga i figuren. Totala antalet individer fångade i alla fällor på Djurgården och mellanliggande områden var 507 stycken, med 12 återfångster. Fem förflyttningar mellan olika fällor i området är utmarkerade med blå streck. Karta © Lantmäteriet, Gävle

Fångsterna i Stockholmsområdet blev mycket omfattande, med populationer detekterade på alla dellokaler och fångst i alla fällor. Inom alla Stockholmslokaler fångades totalt 562 individer med 17 återfångster, varav på Djurgården och mellanliggande lokaler 507 individer med 12 återfångster, vilket ger ca 2-3% återfångstandel. Djurgårdspopulationen skulle kunna betraktas som en sluten population, vilket enligt Craigs (1953) modell ger en populationsuppskattning på ca 9700 individer.

Fångster i Båtforsområdet 2016 utgjordes av 13 individer som förmodligen härstammar från det årets utsättningar av kläckmaterial från Nordens ark.

Fångsterna gjordes i huvudsak vid utsättningsplatsen vid Båtforstorpet.

Fångster i Båtforsområdet 2020 utgjordes av 17 individer som med största säkerhet har kläckt fram i området och inte härrör från utsatt kläckved eller utsatta individer från Nordens Ark, vilka har placerats där under perioden 2017-2019 (Figur 24, blå prickar). Fångsterna kommer från ett större område än 2016, på längre avstånd från utsättningsplatserna. Detta visar att arten åtminstone kan föröka sig i området i lokalt producerade dödvedsresurser, vilket är en gynnsam förutsättning för en återetablering i Båtfors.



Figur 24. Fångst av bredbandad ekbarkbock *Plagionotus detritus* i Båtfors naturreservat vid nedre Dalälven, 2016 och 2020. Blå punkter motsvarar utsättningsplatser för arten 2016, respektive under perioden 2017-2019. Varje övrig punkt motsvarar en individuell fälla. Vita punkter innebär inga fångade individer. Gula punkter innebär från 1-8 fångade individer per fälla och säsong, med storleken proportionell mot antalet fångade individer. Alla individer fångade 2020 bör vara utkläckta från ekvedsresurser som var koloniserade på lokalen och utgörs inte av utsläppta individer. Karta © Lantmäteriet, Gävle

Raggbocken *Tragosoma depsarium* som modellart för substrat med långsam dynamik

5.1.1. Raggbocken *Tragosoma depsarium* är en stor långhorning inom underfamiljen Prioninae, som använder gamla, grova, solexponerade tallågor som larvsubstrat. Tillgången på sådana lågor är liten och minskande inom det kommersiella skogsbruket, och raggbocken är ovanlig och klassad som Sårbar på rödlistan. Raggbocken omfattas som en av flera hotade, tallevande vedskalbaggar av åtgärdsprogrammet för skalbaggar på äldre död tallved (Wikars 2014). Vi har tidigare gjort preliminära studier med fångst av raggbock med feromoner framtagna för amerikanska *Tragosoma*-arter (Ray m.fl.2012) och funnit att en substans är attraktiv för den europeiska *Tragosoma depsarium*. Anmärkningsvärt är att hos raggbocken och andra stora långhorningar inom underfamiljen Prioninae (inklusive taggbocken nedan) är det honorna som avger sexualferomoner och hanarna som attraheras, liksom nattfjärilar, och de skiljer sig på det sättet från de flesta andra modellarterna i projektet. Inom ramen för detta projekt har vi gjort landskapsstudier för att studera hur raggbockens abundans och populationsstorlekar kan

karacteriseras i ett landskapsperspektiv med hjälp av feromonfällor. Vi har också studerat hur abundansen av arten kan knytas till landskapsresurser i form av tallågor som har en dynamik som är helt annorlunda än de 1-2-åriga substrat som karakteriserar de GROT-anknutna långhorningarna i andra av projektets studier. Raggbockens substratdynamik sträcker sig flera decennier från tillkomsten av vedsubstratet till kolonisation tills veden är förbrukad. Lågorna som utgör artens substrat kan ofta vara utspridda och svårfunna i ett vidsträckt skogslandskap, och de blir ofta utskuggade i uppväxande vegetation och därmed oanvändbara som larvsubstrat. Inom projektet har vi gjort flera olika studier för att detektera artens närvaro på olika landskapsnivåer, i relation till lokaltyp och substrat. Två av dessa studier innefattar storskaliga fångst-återfångststudier som finns beskrivna i doktorsavhandlingen Eriksson 2022.

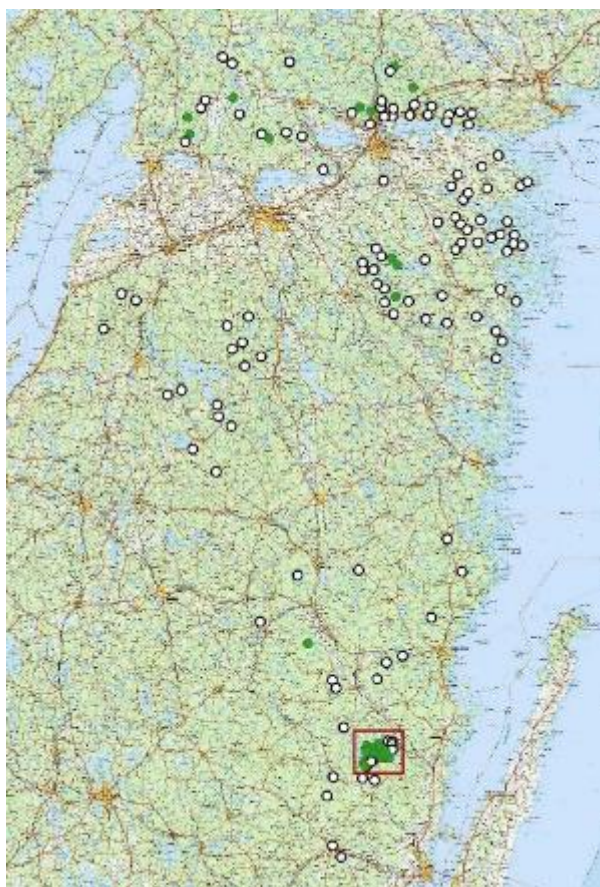
Raggbock *Tragosoma depsarium*: Studier av lokaltyper i Östergötland och östra Småland 2014

Denna studie finns delvis publicerad som ett examensarbete som utfördes vid Linköpings Universitet (Nilsson, 2015) och omfattar förekomststudier i relation till olika kriterier. (Figur 25)

I Östergötland gjordes bedömningar av potentiell lämplighet för förekomst av raggbock på ett stort antal enskilda lokaler, genom förekomst av rikligt med tall på blockig mark. I denna delstudie användes en fälla per lokal, och fällorna satt upp 1-2 veckor och vittjades ett par gånger för att konstatera närvaro eller frånvaro av arten innan de flyttades för att täcka nya lokaler. På lokalerna gjordes också inventeringar av grova tallågor, med respektive utan kläckhål av okänd ålder från raggbock, inom 30 m från fällorna.

I denna studie hittades raggbock endast på 10 av 100 tallokaler, trots att lokalerna utgjordes av nyckelbiotoper som bedömts som på förhand principiellt lämpliga för arten. Sannolikheten att hitta arten på en lokal påverkades inte av förekomsten av grova tallågor nära fällan, men var positivt korrelerad med närvaron av kläckhål (även om det inte kunde bedömas om dessa var färska eller mycket gamla).

I östra Småland studerades närvaron och abundansen av raggbock i 20 olika naturreservat med dominans av tall, för att avgöra om dessa reservat i praktiken utgjorde habitat för arten. I denna studie placerades tre fällor per lokal, och fällorna satt upp större delen av säsongen (juli) och vittjades med jämna mellanrum. I dessa reservat hittades raggbock endast med ett exemplar i en enda fälla, medan övriga förblev tomma. Sammantaget vittnar dessa resultat om att raggbocken generellt tycks vara nästan helt utgången från merparten av dessa landskap.



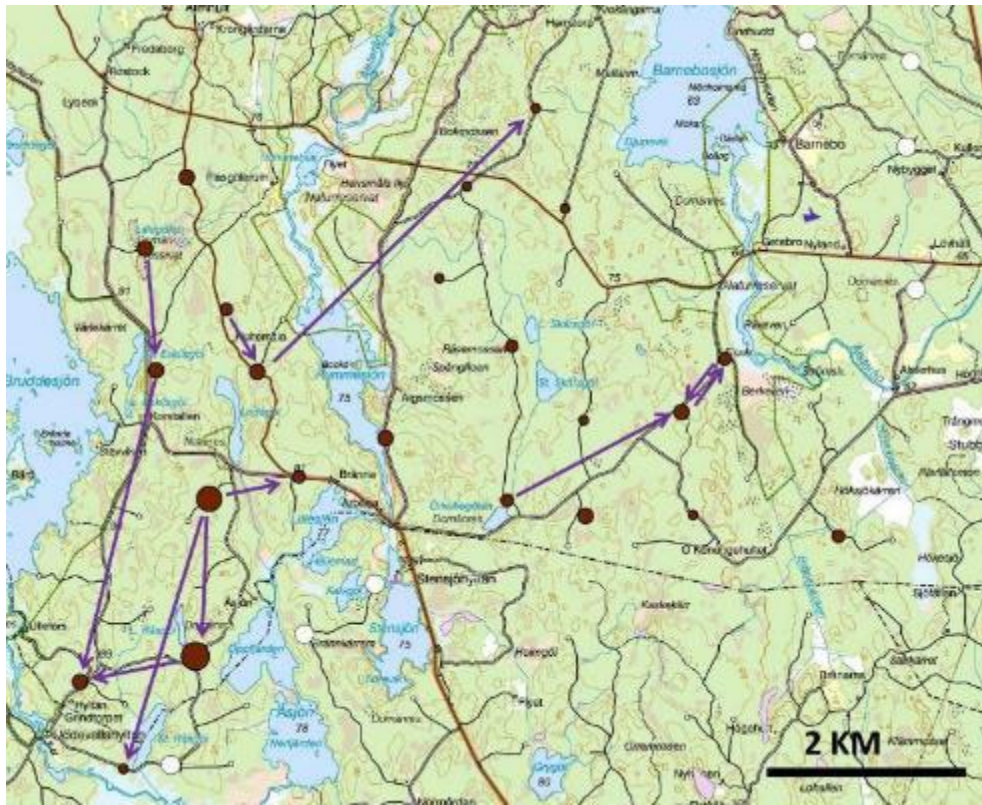
Figur 25. Studier av raggbock på olika platser i Kalmar och Östergötlands län, 2014. Fyndplatser representeras av gröna punkter och platser utan fynd av vita. Rektangeln med många fynd utgörs av Ekopark Hornsö. Karta © Lantmäteriet, Gävle

Raggbock *Tragosoma depsarium*: Fångst-återfångststudier i Ekopark Hornsö 2014

Parallellt med försöken i naturreservat i östra Småland så gjordes en fångst-återfångststudie i Ekopark Hornsö för att uppskatta faktiska populationsstorleken i ekoparken, och artens fördelning mellan olika platser. Fällor placerades ut med 3 replikat per plats på samma 30 platser som tidigare samma år använts för att studera GROT-anknutna långhorningsarter (se ovan). (Figur 26).

Under säsongen fångades 97 individer (alla hanar, eftersom det är ett honproducerat sexualferomon) med 52 återfångster (ca 54%), vilket är en mycket högre andel än vi ser med de hanproducerade aggregationsferomonerna i underfamiljen Cerambycinae. Den höga återfångstandelen indikerar i en populationsmodell att det totala antalet hanar under perioden bör vara ca 115 st (Eriksson 2022).

Återfångster av hanar mellan olika fällor visade på flera ganska långa förflyttningar inom området (Figur 26) med den längsta uppmätta förflyttningen ca 3850 m.

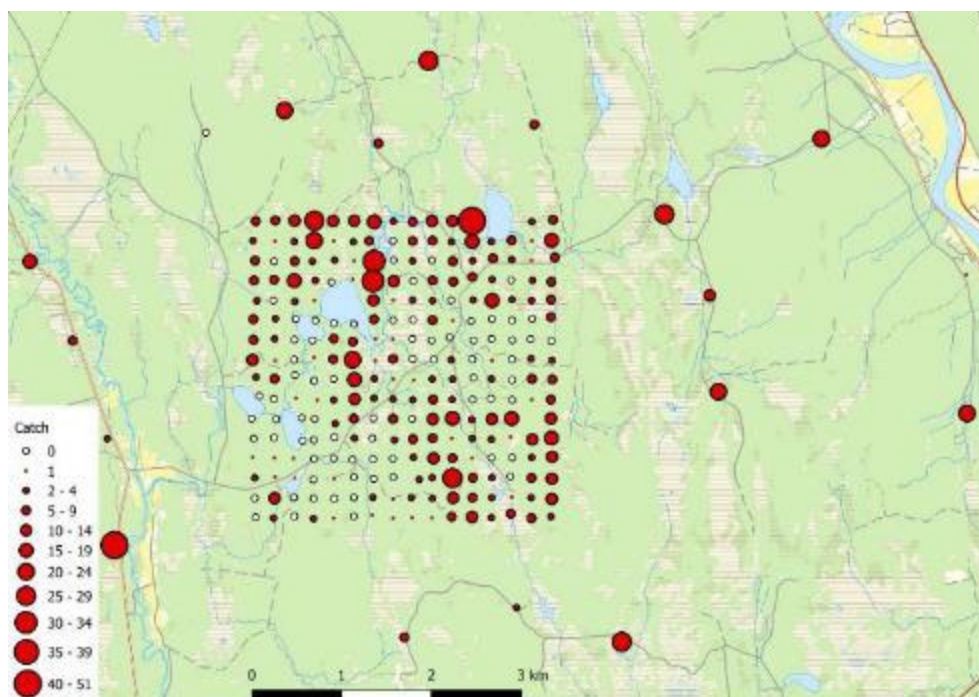


Figur 26. Abundans av raggbock på 30 olika fångstplatser i Ekopark Hornsö. Varje punkt visar totalfångsten av raggbock i 3 fällreplikat. Vita punkter saknar fångster. Storleken på övriga punkter är proportionerlig mot antalet fångade individer, från 1-21 individer per punkt. Totalt fångades 97 individer 149 gånger. Pilarna visar återfångster med förflyttningar av individer mellan olika punkter. Den längsta förflyttningen mellan två punkter är 3850 m.

Raggbock *Tragosoma deparium*: Fångst-återfångststudier i Sågtjärn, Norra Ny, Värmland 2019

Denna studie utgörs av en fångst-återfångststudie för att studera fördelningen av raggbock i landskapet i mycket större detalj än studien från 2014, i direkt relation till kända tallågor med utkläckning av arten. Området kring Norra Ny i Värmland har i många år använts som modellytor för att följa utvecklingen av larvsubstrat för raggbocken, och Lars-Ove Wikars har regelbundet inventerat lågor och kläckhål på ett antal försöksytor (Wikars 2004; Wikars 20??). I denna studie sattes fällor för raggbock upp med 200 meters mellanrum i ett rutnät som täckte totalt ca 3 x 3 km med ytterligare 200 meters buffertzonen med fällor runtomkring. Dessutom sattes ett antal fällor upp i perifera områden långt utanför undersökningsområdet, för att studera den generella abundansen av raggbock i närområdet.

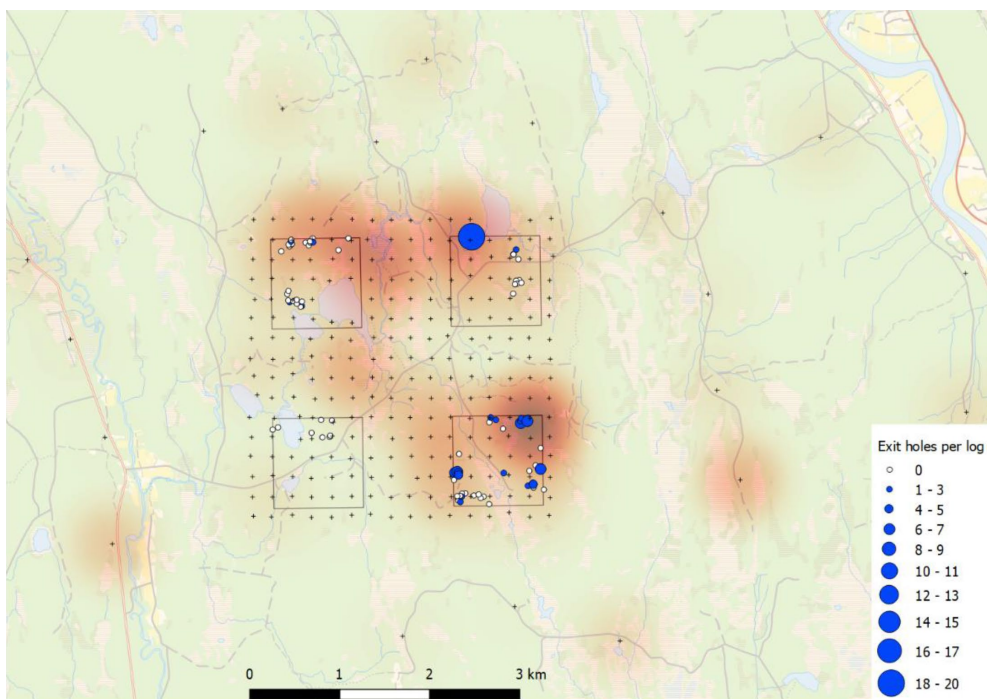
Fällfångsten pågick i juli och en tid in i augusti. Under hösten 2019 inventerade Lars-Ove Wikars kläckhål i lågorna på försöksytorna, och fångsterna i feromonfällor har jämförts med antalet kläckhål.



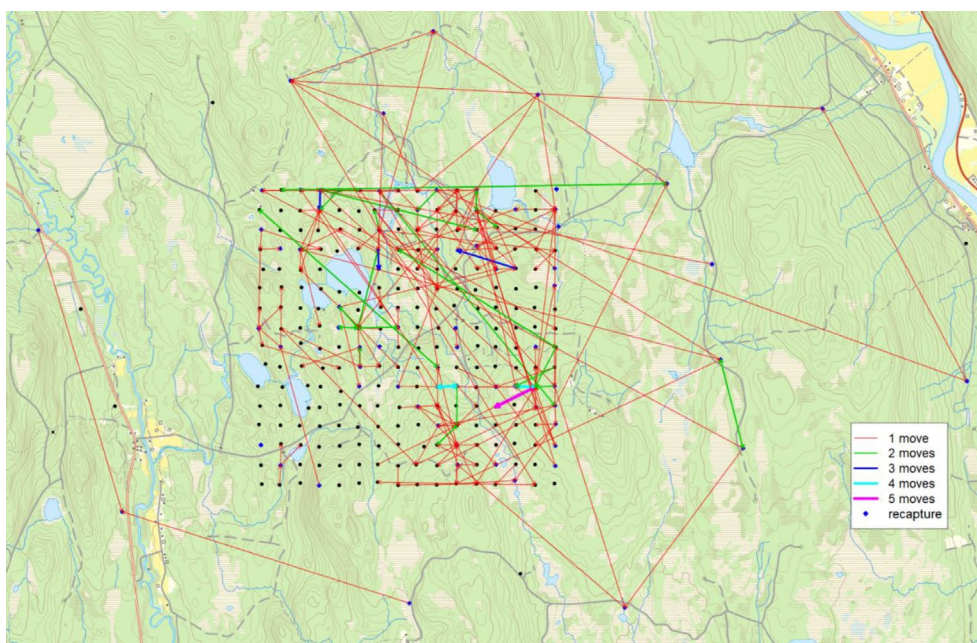
Figur 27. Fångster av raggbock i ett systematiskt utlagt system av 252 feromonfällor under en säsong, samt ett antal perifera fällor för att uppskatta den generella abundansen av raggbock i närområdet. Vita punkter saknar fångster. Storleken på övriga punkter är proportionerlig mot antalet fångade individer, från 1-51 individer per punkt. Totalt fångades 1038 individer med 476 återfångster.

Under säsongen fångades ett stort antal raggbockar över större delen av försöksområdet, med endast 76 fällor som förblev tomma. Totalt fångades 1038 individer (hanar) med 476 återfångster (ca 46%) under en period från juli till augusti. Under den mest representativa fångstperioden i juli 2019 uppskattades antalet hanar till 1038 (Eriksson 2022) att jämföra med den relativt låga populationsstorleken tidigare uppskattad i Hornsö på ett betydligt större område. I området har 218 tallågor hittats under innevarande och tidigare säsonger och deras position noterats. Efter säsongen hittades totalt 106 kläckhål i 85 av dessa lågor, fördelade ojämnt över området (Figur 28). Nuvarande modeller för beräkning av populationsstorlekar från kläckhålsinventeringar antar mer än en utkläckt individ per kläckhål, men det förefaller ändå som om antalet individer i området är mycket större än vad som kunde förmodas baserat på existerande modeller. Däremot verkar den generella fördelningen av raggbockar i området stämma ganska bra överens med fördelningen av kläckhål i lågor (Figur 28). Med så många totala återfångster har vi kunnat registrera ett stort antal förflyttningar mellan olika fällor, både inom det systematiskt utlagda fällområdet och till och från avlägsna perifera fällor (Figur 29). Som figuren visar har många enskilda förflyttningar sträckt sig över flera kilometer, och flera individer har

förflyttat sig sammanlagt ca 6000 m under försöksperioden. Trots att många individer uppenbarligen rör sig över ganska långa sträckor är det stor skillnad i abundans mellan olika delområden, med starka aggregationer nära områden med mycket koloniserat substrat. Det är dock oklart om detta är en effekt av lokala utkläckningar eller av att flyttande individer har god förmåga att lokalisera goda substrat.



Figur 28. Heatmap som visar den lokala abundansen av raggbockar i relation till antalet kläckhål (blå punkter) funna i lågor över området.



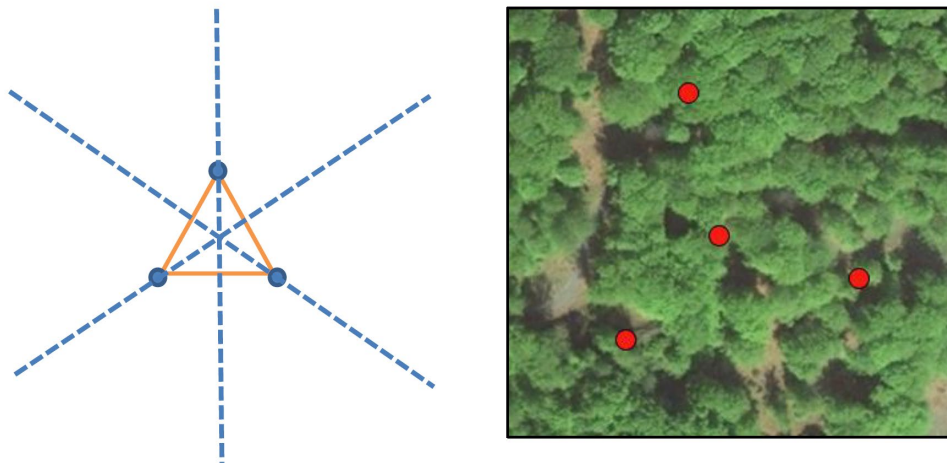
Figur 29. Förflyttningar av raggbock mellan enskilda feromonfällor i området. De längsta totala förflyttningarna som har uppmätts var ca 6000 m.

Taggbocken *Prionus coriarius* – populationsstorlek i relation till substratmängd

Taggbocken *Prionus coriarius*, är en mycket intressant parallell studieart till raggbocken. Liksom raggbocken lever taggbocken i grova vedsubstrat med långsam dynamik i omsättningen. Men olikt den förra utgörs substratet för taggbocken av underjordiska rötter av döda träd av framför allt grova lövträd som bok och ibland ek, även om tallrötter också kan utgöra substrat. Till skillnad från raggbocken verkar inte taggbocken vara känslig för att leva i skuggiga miljöer. Detta gör den uppenbarligen mycket resilient med hög förmåga att hänga kvar på en plats med tät skog så länge det finns substrat med grova, underjordiska rötter som kan utnyttjas. Våra tidigare studier (Larsson m.fl. opublicerat) tyder emellertid på att taggbocken är mycket stationär och har svårt att kolonisera nya lokaler, så det är viktigt att kunna identifiera artens substratbehov för att kunna säkerställa dess fortlevnad på existerande lokaler.

I denna studie har vi också utnyttjat möjligheten att använda feromonfällor i stor skala för att uppskatta taggbockens abundans på många olika lokaler, och relaterat artens abundans till den lokala tillgången på vedsubstrat. Vedsubstraten kvantifierades med transekter (Figur 30) och klassificerades i olika trädslag, grovlekar och nedbrytningsstadier (Figur 31) (Sarac 2016).

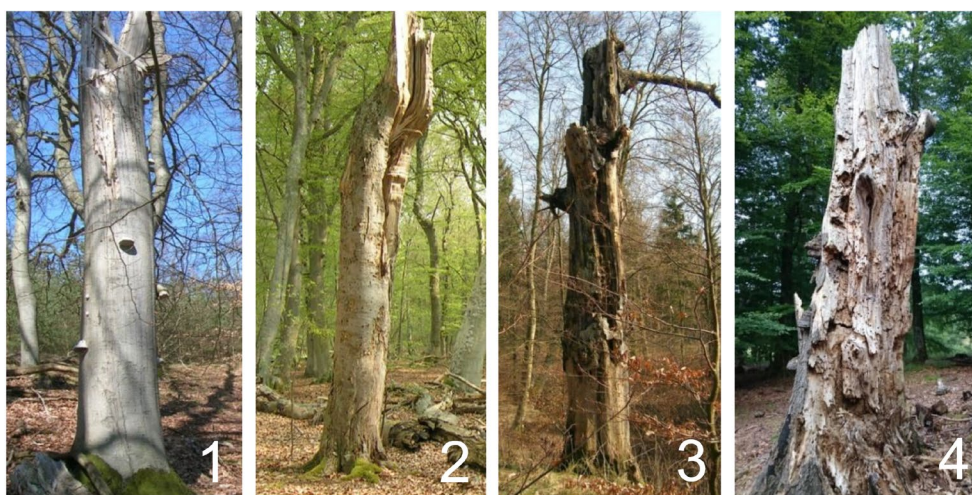
Taggbocksfällor placerades ut på 51 lokaler i Skåne, med god uppskattad potential för att hysa arten; ofta känt genom tidigare fällfångster. På 8 lokaler fångades inga



Figur 30. Placering av taggbocksfällor och transekter för att uppskatta mängden stubb-substrat på varje lokal. Tre transekter, 500 m långa och 20 m breda, löper i ett stjärnformigt mönster genom en fällpunkt och de tre fällornas gemensamma centroid.

individer av taggbock, medan på de övriga fångades mellan 1 och 605 individer under hela säsongen (Figur 32).

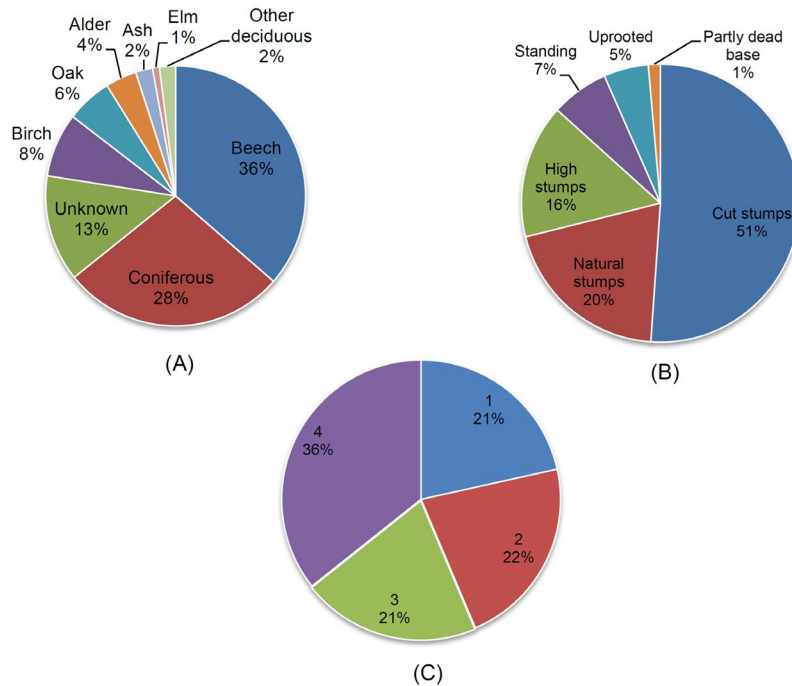
Inventeringar av högstubbar visade ett brett urval av stubbtyper på olika lokaler, med bokstubbar och barrträdsstubbar vanligast medan övriga utgjordes av okända stubbar eller små andelar av olika andra trädslag. Ca hälften av stubbarna utgjordes av låga avverkningsstubbar, medan övriga var av blandade typer från naturliga låga stubbar till högstubbar (endast 16%). (Figur 33). Nedbrytningsgrad 4 var den vanligast förekommande typen, medan de övriga stadierna var tämligen jämnt fördelade mellan stubbarna.



Figur 31. Alla potentiella substrat klassificerades enligt typ av stubbe, art och framför allt nedbrytningsstadium i fyra klasser som representeras med exempel här.

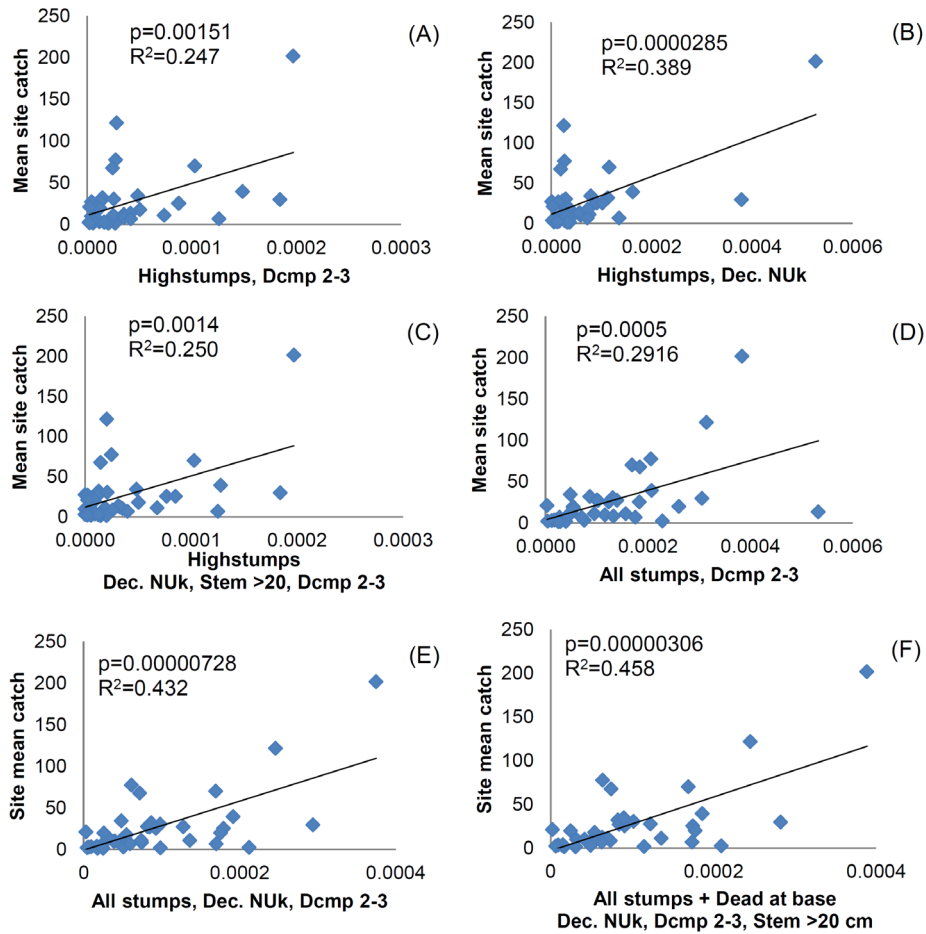


Figur 32. Totalfångster av taggbock *Prionus coriarius* på 51 lokaler i Skåne. Fångsterna varierar från noll (vita cirklar) till 605 individer på Hallands Väderö.



Figur 33. Fördelning av olika slags dödvedsresurser på olika lokaler för taggbock, uppdelade i trädslag (A), stubbtyp (B) och nedbrytningsgrad (C). Från Sarac 2016

Korrelationer mellan mängden stubbar av olika slag och antalet fångade taggbockar på varje lokal visade signifikanta samband mellan många olika vedtyper och abundans av taggbock (Figur 34). Resultaten utgör ett viktigt steg för att kunna anpassa skogsskötsel och tillgången till lämpliga stubbsubstrat för arten.



Figur 34. Analys av förhållandet mellan dödvedssubstrat i form av stubbar av olika slag och abundans av taggbock på 38 olika lokaler.

6. Diskussion

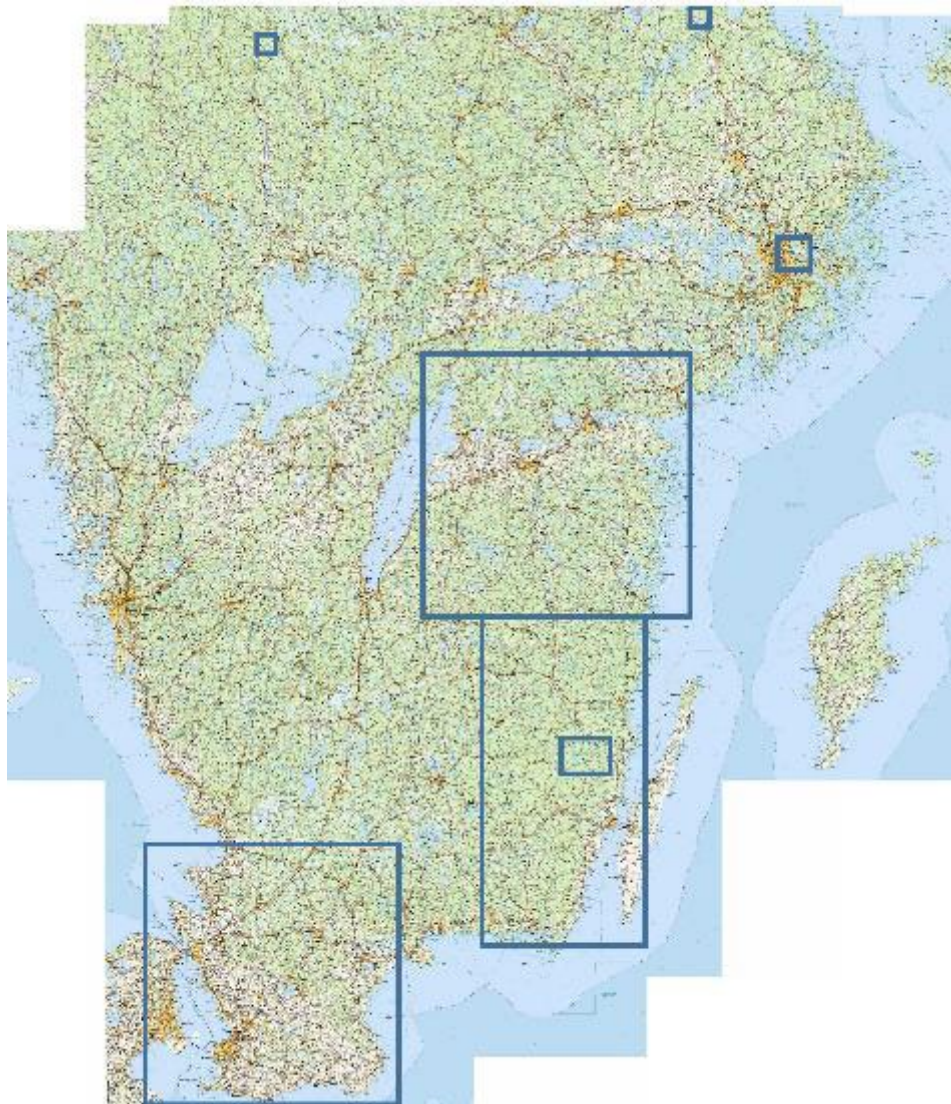
Inom projektet har vi demonstrerat resurseffektiva identifieringar av feromoner för övervakning av naturvårdsintressanta insektsarter. Projektets kontinuitet har möjliggjort en långsiktig planering över flera säsonger med regelbundna besök i fält. Därigenom har vi kunnat samla in betydande mängder även av sällsynta och svårfunna arter, genom att identifiera redan koloniserade vedsubstrat eller förbereda dessa för kolonisation av specifika arter följt av senare insamling. Inom projektet har vi väsentligt utökat antalet identifierade feromoner för naturvårdsarter och potentiella indikatorarter. Många av modellarterna som har studerats i projektet är specialiserade på GROT och annan färsk ved med kort varaktighet och snabb dynamik (Molander 2019) och kompletterar därmed tidigare modellarter för feromonövervakning, vilka ofta är knutna till senare successionsstadier av träd och död ved (Larsson m.fl.2003; Svensson m.fl. 2012). Sammantaget finns nu en grundläggande portfölj, med viss ekologisk bredd, av modellarter för systematisk feromonövervakning inom naturvården. Det gäller särskilt insektsarter knutna till ek, för vilka identifiering av feromoner har varit mest framgångsrik.

Inom projektet har vi emellertid också behandlat många fler arter, vars feromoner bara delvis eller ännu inte alls har hunnit identifieras kemiskt.

Identifieringsprocessen har utgjort en begränsande faktor i projektet, bland annat eftersom antalet arter som projektet har kunnat studera har blivit mycket mer omfattande än beräknat. Samarbetspartners inom kemisk identifiering och syntes har till stora delar arbetat med egna medel inom ramen för angränsande verksamheter, med begränsad tillförsel av extra resurser från projektet.

Projektet har också innefattat omfattande landskapsstudier av våra olika modellarter (Figur 35), som demonstrerar vilken viktig roll en bredare tillämpning av feromonbaserad övervakning skulle kunna få inom naturvården. Studierna demonstrerar att feromonbetade fällor har hög potential att följa både storskaliga och lokala populationsvariationer och populationsförändringar av utvalda modellarter med mycket hög precision.

En faktor som har aktualiserats i projektet är svårigheten att bedöma vedlevande arters verkliga förekomst, abundans och hotstatus med hjälp av allmänna fynddata och information om förmodade habitatresurser (jämför Lindhe m.fl. 2010; Jeppsson m.fl. 2010; Musa m.fl. 2013; Andersson m.fl. 2014). Bland våra modellarter knutna till GROT och annan färsk ekved har till exempel rödhjon *P. sanguineum* visat sig vara enormt mycket talrikare och mer allmänt förekommande än man kunnat förvänta sig. När vi påbörjade studien var arten rödlistad som Nära Hotad, och baserat på fynd i Artportalen tycktes dess förekomst till exempel i Skåne vara mycket sparsam och begränsad i huvudsak till spridda lokaler i Skånes inland (Figur 12 A). Efter våra ganska omfattande landskapsstudier i detta projekt, och även vidare studier i södra Sverige (Celander 2020), så framstår rödhjon snarare som en av södra Sveriges vanligaste långhorningsarter. Rödhjon har fångats på nästan varje lokal där feromonfällor för arten har placerats (med



Figur 35. Geografisk placering av projektets olika landskapsstudier av vedinsekter med feromonfällor. Taggbock har studerats i hela Skåne, liksom klenvedsarterna rödhjon, kvistspegelbock och vedspegelbock. De senare har också studerats tillsammans med mörk spegelbock, ekgetingbock och smalbandad ekbarkbock i östra Småland och Blekinge. I östra Småland och Östergötland har vi studerat förekomst av raggbock, liksom i Sågtjärnsområdet vid Norra Ny i Värmland. Bredbandad ekbarkbock har studerats på Djurgården i Stockholm och Båtforsområdet vid nedre Dalälven i Uppland. I Hornsöområdet i östra Småland strax norr om Kalmar har vi bedrivit mycket insamlingar av modellarter samt fällfångst för att identifiera feromoner. Här har vi också bedrivit detaljerade landskapsstudier av raggbock, samt klenvedsarterna rödhjon, kvistspegelbock, vedspegelbock och mörk spegelbock.

Hallands Väderö som ett anmärkningsvärt undantag); ofta i stora antal. Oberoende av våra studier har arten också tagits bort från rödlistan i den senaste versionen från 2020. En liknande situation har uppstått för den rödvingade kapuschongbaggen *B. capucinus*, vars feromon vi identifierade i detta projekt. I efterföljande landskapsstudier har vi visat att denna rödlistade art är vanligt förekommande i stora delar av Östergötlands och Kalmar län (beskrivet i Eriksson 2022).

Sammantaget visade våra storskaliga landskapsstudier av långhorningar knutna till klen ekved att det är svårt att göra förutsägelser om deras förekomst baserat på enkla prediktorer som generell tillgång på ekskog i landskapet. Dynamiken i generation av själva vedsubstratet (Figur 36) är troligen beroende av många lokala faktorer rörande ekarnas ålder, hur fristående de är, och landskapets öppenhet. Våra förväntningar rörande dessa klenvedsanknutna långhorningar var ofta för lågt ställda rörande deras förekomst och fördelningar mellan olika habitat. Men den geografiskt begränsade utbredningen av särskilt mörk spegelbock och ekgetingbock understryker också vissa betydande kontraster i förekomst mellan olika arter, trots deras nominellt ganska likartade krav på vedsubstrat. I arternas gemensamma kärnområde i Kalmar län förekom alla arterna utom mörk spegelbock på flertalet lokaler. De uppvisade inga generella skillnader i abundans mellan ekbestånd skötta för skogsbruksändamål respektive ekdominerade nyckelbiotoper och jätteeks-hotspots för biodiversitet. Det är möjligt att den generella tätheten av ekhabitat och tillgången på klenvedssubstrat i dessa områden i Kalmar län är tillräckligt hög för att möjliggöra en relativt jämn fördelning av arternas populationer i landskapet. Våra fångst-återfångststudier av rödhjon och studier av de dynamiska effekterna av tillfört klenvedsmaterial vid avverkning och gallring tyder på att arterna har god lokal rörlighet och förmåga att snabbt exploatera dynamiska förändringar i substrattillgång. Kanske skulle utökade studier i miljöer med generellt lägre och mer fragmenterad tillgång på ekhabitat och klenvedssubstrat ge högre kontraster mellan olika slags habitat. Vår placering av studieområdet styrdes av behovet att kunna inkludera alla sex modellarterna, vilket begränsade dess möjliga geografiska omfattning. För den mörka spegelbocken förutsåg vi en möjlighet att det begränsade kända utbredningsområdet kring Hornsö kunde vara en effekt av undersökningsbias. Vår systematiska inventering med feromonfällor bekräftade snarare att arten tycks ha ett mycket begränsat geografiskt utbredningsområde, även om den hittades på en del nya lokaler. För ekgetingbocken bekräftade vi en liknande skarp begränsning av utbredningsområdet gentemot Blekinge, där den generella tillgången på ek i landskapet är god och där arten trots detta inte fångades ens på mycket rika eklokaler. Orsaken till dessa skillnader i förekomst mellan arterna är inte känd, men kan vara relaterat till känslighet för makro- eller mikroklimatiska variationer eller vedens beskaffenhet. Våra möjligheter att besvara sådana frågeställningar ökar väsentligt med de utökade möjligheterna till detaljerade kunskaper om arternas verkliga utbredning som feromonbaserad övervakning erbjuder. Till skillnad från de ovan nämnda långhorningarterna har den bredbandade ekbarkbocken *Plagionotus detritus* haft en mycket dramatisk tillbakagång under 1900-talet, på grund av försämrad tillgång på grövre färsk ekved. Vår identifiering av artens feromon sammanföll mycket lägligt med att man har påbörjat försök med uppfödning och återinplantering av arten på lokaler där den tidigare har förekommit. Vår inventering av arten på Djurgården och omgivande lokaler har visat att det finns en mycket stark population på det som har betraktats som artens kanske sista förekomstlokaler i Sverige. Våra fångst-återfångstförsök har gett möjligheter till absoluta populationsuppskattningar och inte bara relativa

abundanser, och lägger en god grund för kommande studier för att följa effekterna av återinplanteringsförsök på andra platser med djur från Nordens Ark. Genom feromonbaserad inventering har man redan kunnat följa de inledande försöken med återinplanteringar i Båtfors, och vi har också gått vidare med liknande försök i Kalmar län. Länsstyrelsen i Stockholm har också under 2022 initierat en mer omfattande studie av artens förekomst i Stockholms län, baserad på inventering med våra feromonfällor, vilket borde ge en mer fullständig överblick över artens förekomst i dess nuvarande kärnområde.

Långhorningarna raggbock *Tragosoma depsarium* och taggbock *Prionus coriarius* är två andra modellarter vars feromoner inte identifierats inom ramen för projektet, men som har varit föremål för storskaliga landskapsstudier i tallskog respektive lövskog. Till skillnad från de övriga arterna långhorningar använder dessa arter i underfamiljen Prioninae honproducerade klassiska sexualferomoner, och det är generellt endast hanar som lockas till fällorna. De skiljer sig också från de övriga arterna genom sin anknytning till vedsubstrat med mycket långsammare dynamik, med lång leveranstid på substrat från gamla och grova träd, och en varaktighet hos enskilda substrat som kan sträcka sig över perioder av decennier snarare än 1-2 år. Därför kan det vara mer relevant och överkomligt att systematiskt dokumentera och kartlägga enskilda substratresurser för dessa arter (i form av lågor respektive större döda träd), än för arter vars larvsubstrat utgör en efemär resurs vars tillgänglighet i princip förändras från ett år till ett annat. Eftersom leveranstiden på dessa substrat kan vara lång, är det angeläget att fastställa arternas minimikrav för att inte hamna i situationer med brist på kontinuitet genom dålig framförhållning. Det kan också vara lättare att etablera en direkt överensstämmelse mellan förekomsten och abundansen av enskilda arter och den lokala tillgången på substrat för arter som begagnar mer varaktiga substrat för sin larvutveckling. Studier av hålträdslevande arter som läderbagge, mulmknäppare och andra arter har ofta visat god överensstämmelse mellan arternas förekomst och fördelningen av gamla, ihåliga träd i landskapet (Ranius m.fl. 2011; Musa m.fl. 2013).

Våra feromonbaserade studier av taggbockens abundans på olika lokaler visade mycket riktigt god generell överensstämmelse med fångsten av taggbock och mängden högstubbar av ganska varierande ålder på samma lokal. Taggbocken är uppenbarligen starkt knuten till lokaler med kontinuitet av trädbärande marker som genererar grova (hög)stubbar, men tycks annars vara mycket resilient så länge det finns tillgång till rätt substrat. Arten verkar inte alls vara beroende av solbelysta miljöer, så skuggning av markytor med underjordiska vedsubstrat tycks inte vara något större problem.

För raggbocken, som omfattas av ett nationellt åtgärdsprogram, utgör inventeringar av angripna lågor och färska kläckhål en viktig del av arbetet med att uppskatta populationsstorlekar och bedöma effekterna av åtgärder som syftar till att skapa substrat för arten (Wikars 2004, 2014, 20??).

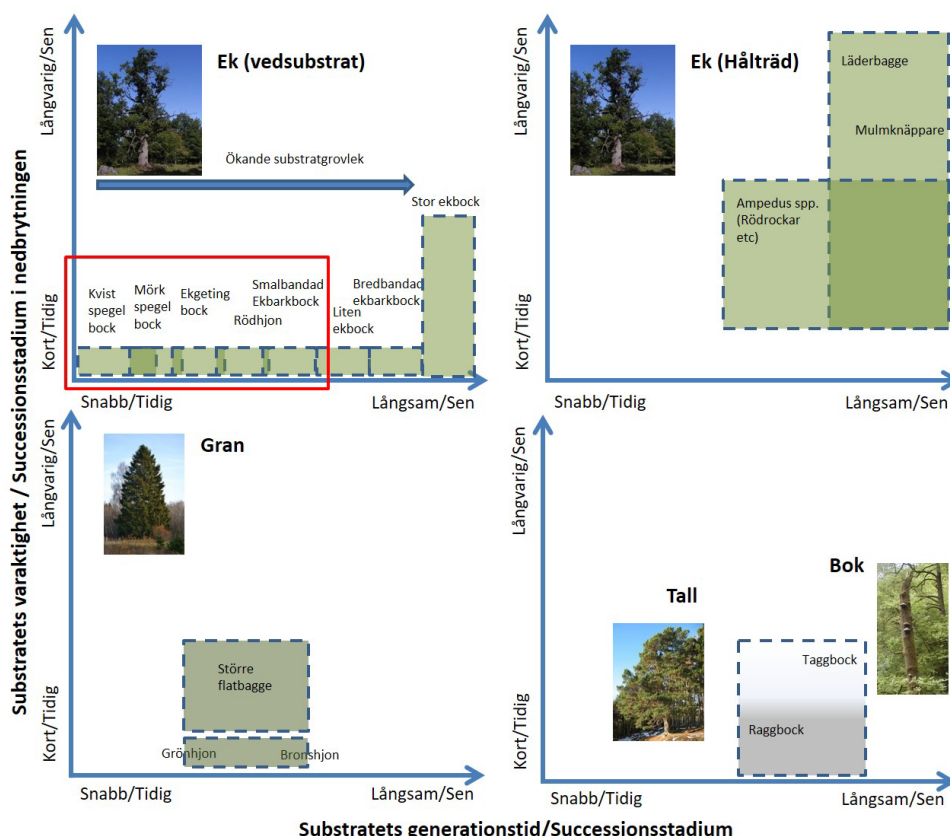
Våra första inventeringar av raggbock med feromonfällor i Östergötland och östra Småland utgjorde en allmän kartläggning av artens förekomst för att utvärdera förutsättningarna för vidare studier i området, och en principstudie för att utvärdera feromonfällornas effektivitet. Det övergripande resultatet tyder på att arten i dessa

områden generellt har mycket sporadiska och individfattiga populationer, och att dessa i mycket liten utsträckning förekommer inom talldominerade naturreservat i Kalmar län. För att bli livskraftiga på lång sikt skulle sådana populationer troligen behöva aktiv tillförsel av lämpliga substrat i form av grova, solexponerade tallågor. I Hornsö finns uppenbarligen en livskraftig population av arten, men fångst-återfångststudien 2014 tyder på att den åtminstone vid det tillfället fortfarande var ganska liten, trots åtgärder för att skapa substrat för arten. Leveranstiden för sådana åtgärder kan emellertid vara mycket lång, så situationen kan ha förändrats sedan dess. Det är angeläget att följa upp inventeringsstudien med fler feromoninventeringar i Hornsö för att följa utvecklingen.

Feromoninventeringarna av raggbock vid Sågtjärn i Norra Ny i Värmland gjorde det möjligt för oss att direkt jämföra situationen i sydöstra Sverige med ett större produktionsskogslandskap som anses ha relativt gynnsamma förutsättningar för arten. Här kunde vi också utvärdera hur feromoninventering fungerar i relation till inventeringar av lågor och kläckhål. Populationstätheten av raggbock i Sågtjärnsområdet, beräknad på fångst med feromonfällor, visade sig vara många gånger högre än i Hornsöområdet, och betydligt större än beräkningar baserade på lokala kläckhålsinventeringar. Skogsbruk med avverkningar i dessa relativt gamla skogar på blockig mark har uppenbarligen varit gynnsamt för raggbocken under de senaste decennierna och genererat relativt mycket användbart substrat som inte snabbt skuggas ut av igenväxande vegetation.

För det framtida arbetet med inventering och bevarandeåtgärder för raggbock i produktionsskog och naturvårdsskog torde feromonbaserad fällfångst vara en mycket kostnadseffektiv metod för att få jämförbara populationsuppskattningar mellan områden och utvärdera effekterna av åtgärder. Efter studierna i detta projekt har vi genom ett anslag från Skogssällskapet kunnat utöka arbetet med kartläggning av raggbockens förekomst och abundans till storskaliga nationella studier på ett stort antal lokaler från Småland till Lappland. Avsikten är att i samarbete med länsstyrelser och större skogsägare göra jämförbara studier av olika lokaliteter, med varierande tillgång på vedsubstrat och olika slags skötsel, för att kunna fastställa nyttoeffekterna av olika åtgärder på raggbockens populationer. Sammanfattningsvis kan man säga att vi har väsentligt utökat den tillgängliga portföljen av insektsarter som kan inventeras med feromoner i bevarandesyfte. Vissa av dessa arter är rödlistade och för dessa kan feromonbaserad övervakning vara ett viktigt verktyg i en bevarandestrategi för dessa specifika arter. Andra arter skulle genom sina substratkrav kunna utgöra goda indikatorer på den allmänna tillgången på specifika typer av död ved i landskapet. Med ytterligare insatser skulle feromoner kunna identifieras för fler arter som redan är studerade. Dessa innefattar fler rödlistade arter och åtgärdsarter, och tänkbara indikatorarter för andra typer av vedsubstrat än de modellarter som redan finns tillgängliga. Feromonbaserade inventeringsmetoder erbjuder en oöverträffad precision och kostnadseffektivitet för de enskilda arter som studeras. Det faktiska värdet för naturvården av kunskaper om enskilda arter beror på om dessa arter är mycket högt prioriterade i sig, eller vilken information de kan erbjuda som biodiversitetsindikatorer eller allmänna naturvärdesindikatorer. För arter i

nationella åtgärdsprogram, eller från EU:s habitatdirektiv, torde värdet av feromoninventeringsmetoder vara enormt, då behovet är stort av detaljerad information om dessas förekomster och populationsförändringar över tid.



Figur 36. Konceptuell bild som visar olika vedlevande arters nischer i relation till dynamiken i skapandet och varaktigheten hos deras vedsubstrat. Den horisontella axeln visar hur lång leveranstid det är innan träden är tillräckligt gamla eller grova för att kunna producera substrat av rätt kvalitet. Den vertikala axeln visar substratets varaktighet för en specifik art, dvs hur länge substratet förblir lämpligt för kolonisation efter att det har genererats. För de flesta långhorningar som angriper färskt virke har substratet mycket kort varaktighet, vilket gör arterna beroende av ständig tillförsel av nytt vedmaterial. För de flesta klenvedsarterna i vår studie (se röd rektangel) är detta sällan ett problem, eftersom ved av klenare dimensioner skapas i tillräckligt hög grad. För arter som kräver grövre dimensioner har det blivit ett akut problem, eftersom tillgången på grova, solbelysta ekar har minskat i landskapet generellt. Arter som utnyttjar substrat med lång varaktighet, som trädhåligheter, kan ibland ha ganska hög resiliens även då leveranstiden för substratet är lång, men är känsliga för kontinuitetsbrott som kan vara svåra att åtgärda om inga lämpliga ersättningsträd finns att tillgå i miljön. Med begränsade möjligheter att identifiera feromoner för alla naturvårdsintressanta arter vore det angeläget att prioritera arter som kan utgöra indikatorer på nya typer av vedsubstrat med annan dynamik.

7. Slutsatser och förslag

1) Genom planering och kontinuitet över flera säsonger är det genomförbart att göra effektiva och systematiska identifieringar av feromoner även för ganska sällsynta och svårfunna vedinsekter. Förutsättningarna är att deras kläckningssubstrat kan identifieras eller manipuleras för kolonisation och samlas in i tillräckliga mängder. Förutsättningarna varierade dock mellan olika träslag i vår studie, och gransubstrat utgjorde generellt ett svårhanterligt substrat när det gällde att hitta pågående angrepp.

2) Feromonbaserad inventering av sällsynta och svårfunna insekter utgör en mycket effektiv metod med överträffad precision för att fastställa deras verkliga utbredning och abundans, inklusive dessas förändringar över tid. Därmed erbjuder de ett mycket ändamålsenligt verktyg för att fastställa insektsarters verkliga hotstatus och utvärdera effekterna av bevarandeåtgärder.

3) För insektsarter som är särskilt prioriterade inom naturvården, och för vilka det råder skyldighet eller ett behov av kontinuerlig inventering, borde feromonbaserad inventering utgöra en standardmetod på grund av sin stora kostnadseffektivitet, om det finns identifierade och tillgängliga feromonsubstanser för arten.

4) Det förekommer en betydande risk för att insektsarters verkliga förekomst och abundans inom deras utbredningsområde är underskattade, baserat på rapporterade fynd av arten. I våra studier har emellertid avgränsningen av själva utbredningsområdet som helhet förblivit tämligen konstant, även med de utökade detektionsmöjligheter som feromonfällor erbjuder.

5) Studiens olika långhorningsarter som utnyttjar klen ekved för sin förökning förekom i jämförbar omfattning i olika slags ekhabitat inom det studerade området i sydöstra Sverige: brukad, avverkningsmogen ekskog, ekdominerade nyckelbiotoper, samt jätteeeksmiljöer. Denna slutsats är begränsad till det studerade området, och det är inte självklart att det kan generaliseras till mer ekfattiga områden. Flertalet arter var mycket allmänt förekommande inom studieområdet. Det enda tydliga undantaget utgjordes av mörk spegelbock *Poecilium pusillum*, som endast fångades på ett begränsat antal lokaler kring Hornsöområdet. Feromonfällor dokumenterade signifikant högre fångster av alla arterna på lokaler med färsk avverkningsrester (GROT) av ek, jämfört med kontrolllokaler. Detta innebär att arterna vid behov troligen skulle gynnas av vanligt förekommande tillförsel av GROT genom gallringar och avverkningar.

6) Feromonbaserad fällfångst av åtgärdsarten (EN) bredbandad ekbarkbock *Plagionotus detritus* visade att arten har en mycket stark population på och kring Djurgården i Stockholm, som troligen omfattar tusentals individer. Motsvarande

fällfångster i Båtfors i Uppland visade att arten troligen har lyckats föröka sig på egen hand i vedmaterial i Båtfors efter utplantering av uppfödda individer.

7) Feromonfångster av raggbock *Tragosoma depsarium* i sydöstra Sverige 2014 visade att arten i Östergötland och Kalmar län tycks vara försvunnen i många områden och annars ofta förekommer i mycket små och sporadiska populationer, som rimligen behöver aktiv tillförsel av rätt substrat för att långsiktigt livskraftiga. Detaljerade studier i Hornsö Ekopark i Kalmar län tydde på en livskraftig men ännu ganska individfattig population (uppskattad till strax över 100 hanar kläckta under säsongen), trots åtgärder för att gynna arten. Motsvarande studier i brukstallskogar Norra Ny i Värmland 2019 påvisade en mycket starkare population på över tusen hanar i ett jämförelsevis mindre område. Fördelningen av individer i Norra Ny stämde väl med förekomsten av kläckhål i lokala tallågor, men antalet individer som beräknades i populationen baserat på fångster i feromonfällor var mycket högre än beräkningar baserade på kläckhål.

8) Fångster av taggbock *Prionus coriarius* över hela Skåne i denna och tidigare studier visar att arten är allmänt spridd men knuten till kontinuitetsskog. I denna studie kunde vi visa att mängden fångade taggbockar på ett stort antal lokaler är direkt relaterat till mängden vedsubstrat i form av lövträdsstubbar (vars rötter utgör larvernas föda) på lokalen.

8. Publikationer, öppna data och kommunikationsinsatser

Doktorsavhandlingar:

Molander MA. 2019. A pheromone-based toolbox of longhorn beetles (Cerambycidae) for monitoring biodiversity in ephemeral deadwood substrates of oak. Doctoral Thesis. Department of Plant Protection Biology. SLU, Alnarp

Eriksson, B. 2022. Spatiotemporal monitoring of rare and elusive saproxylic beetles – A pheromone based approach. Doctoral Thesis. Department of Plant Protection Biology. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp

Internationella publikationer:

Larsson MC. 2016. Pheromones and other semiochemicals for monitoring rare and endangered species. *Journal of Chemical Ecology* 42 (9): 853-868

Molander MA, Larsson MC. 2018. Identification of the aggregation-sex pheromone of the cerambycid beetle *Phymatodes pusillus ssp pusillus* and evidence of a synergistic effect from a heterospecific pheromone component. *Journal of Chemical Ecology* 44:987-998

Molander MA, Helgesson J, Winde IB, Millar JG, Larsson MC. 2019. The male-produced aggregation-sex pheromone of the cerambycid beetle *Plagionotus detritus ssp. detritus*. *Journal of Chemical Ecology* 45:28-36

Imrei Z, Molander MA, Winde IB, Lohonyai Z, Csonka EB, Fail J, Hanks LM, Zou YF, Millar JG, Toth M, Larsson MC. 2019. Identification of the aggregation-sex pheromone of *Plagionotus arcuatus ssp. arcuatus* (Coleoptera: Cerambycidae) from two geographically separated European populations. *Science of Nature* 106:9

Molander MA, Eriksson B, Winde IB, Zou Y, Millar JG, Larsson MC. 2019. The aggregation-sex pheromones of the cerambycid beetles *Anaglyptus mysticus* and *Xylotrechus antilope ssp. antilope*: new model species for insect conservation through pheromone-based monitoring. *Chemoecology* 29:111-124

Molander MA, Winde IB, Burman J, Nyabuga FN, Lindblom TUT, Hanks LM, Millar JG, Larsson MC. 2019. Common cerambycid pheromone components as attractants for longhorn beetles (Cerambycidae) breeding in ephemeral oak substrates in Northern Europe. *Journal of Chemical Ecology* 45:537-548

Rahmani R, Carrasco D, Svensson GP, Roweck H, Ryrholm N, Larsson MC, Hedenstrom E. 2020. Identification and synthesis of putative pheromone components of the threatened salt marsh bagworm moth, *Whittleia retiella* (Lepidoptera: Psychidae). *Journal of Chemical Ecology* 46:115-127

Molander MA, Eriksson B, Arriola K, Richards AB, Hanks LM, Larsson MC and J. G. Millar JG. 2022 (in press). p-Mentha-1,3-dien-9-ol: A novel aggregation-sex pheromone for monitoring longhorn beetles (Cerambycidae) in Eurasia and North America. *Journal of Applied Entomology* DOI: 10.1111/jen.13059

Populärvetenskapliga publikationer:

Ryrholm N, Larsson MC, Molander M, Eriksson B. 2019. Hotade insekter med lockande dofter. Yrfån nr. 2

Examensarbeten:

Nilsson A. 2015. Trapped in the forest: The longhorn beetle *Tragosoma depsarium* L. in south-east Sweden. Masters Thesis. Linköping University, Linköping

Backström L. 2016. Förekomst av långhorningarna *Pyrrhidium sanguineum*, *Poecilium alni* och *Phymatodes testaceus* (Coleoptera: Cerambycidae) inom Skåne län: vilka faktorer i landskapet påverkar habitatval för *P.sanguineum*, *P. alni* och *P. testaceus*? Kandidatuppsats. SLU, Alnarp

Ponsonby C. 2016. Saproxylics in Space and Time: spatiotemporal habitat continuity and the influence of scale in measuring the abundance and distribution of a species of Longhorn beetle using sex pheromones in Skåne, Sweden. BSc Thesis. University of East Anglia, Norfolk

Sarac I. 2016. Explaining population size of the saproxylic beetle *Prionus coriarius* as a function of available dead wood resources. Master's thesis. SLU, Alnarp

Svensson F. 2016. Behavioural studies and collection of volatiles to identify the pheromone(s) of the great Capricorn (*Cerambyx cerdo*). Bachelor thesis, SLU, Alnarp

Vestlund M. 2017. Feromonbaserad inventering av eklevande långhorningsarter i fem habitattyper i sydöstra Sverige. Kandidatuppsats. SLU, Alnarp

Rönqvist I. 2020. Improving cerambycid monitoring utilizing host plant volatiles and pheromone blends. Master's thesis. SLU, Alnarp

Internationella konferenser:

Mattias C. Larsson 2015. Pheromone monitoring as a game changer in insect biodiversity and conservation research. "31st conference of the International Society of Chemical Ecology (ISCE)" Stockholm, Sweden (Oral presentation).

Mattias Larsson, Mikael A. Molander, Lars Westerberg, Inis Winde, Joe Burman, Franklin Nyabuga, Jocelyn Millar, Larry Hanks, Erik Hedenström, Karl-Olof Bergman, Per Milberg. 2016. Standardized toolboxes of saproxylic insect indicator species guiding pan-European long-term conservation efforts? "9th European Saproxylic Beetle Conference", Genk, Belgium. Oral presentation.

Mikael A. Molander, Mattias C. Larsson. 2016. Pheromone based sampling of threatened saproxylic longhorn beetles (Cerambycidae): a promising new tool in insect conservation biology. "9th European Saproxylic Beetle Conference", Genk, Belgium. Oral presentation.

Mattias Larsson, Mikael Molander, Björn Eriksson, Caroline Ponsonby, Isak Sarac, Louise Backström, Inis Winde, Joe Burman, Franklin Nyabuga, Lars Westerberg, Larry Hanks, Jocelyn Millar, Erik Hedenström. 2018. Conservation status of saproxylic insects in relation to the spatiotemporal dynamics of their oviposition substrates: Lessons from pheromone monitoring of an expanding array of model species "XI European Congress of Entomology, Naples, Italy. Invited speaker.

Mikael A. Molander, Marcus Vestlund, Björn Eriksson, Jocelyn G. Millar, Mattias C. Larsson. 2018. Quantifying the short-term effects of logging in oak dominated

forests on threatened longhorn beetles (Cerambycidae) with a pheromone-based trapping system. Oral Presentation. “XI European Congress of Entomology, Naples, Italy. Invited speaker.

Larsson Mattias C. et al. 2018. Pheromone monitoring turn cryptic click beetles into regional conservation indicators. “34th Annual Meeting of the International Society of Chemical Ecology”, Budapest, Hungary. Oral presentation

Mikael A. Molander, Björn Eriksson, Marcus Vestlund, Yunfan Zou, Jocelyn G. Millar, Mattias C. Larsson. 2018. Quantifying the short-term effects of logging in oak dominated forests on threatened longhorn beetles (Cerambycidae) with a pheromone-based trapping system. “34th Annual Meeting of the International Society of Chemical Ecology”, Budapest, Hungary. Oral presentation

Björn Eriksson, Alexander Nilsson, Mattias Larsson. 2018. Pheromone-based sampling for conservation: determining the habitat requirements of *Tragosoma depsarium*. “34th Annual Meeting of the International Society of Chemical Ecology”, Budapest, Hungary. Oral presentation.

Mattias Larsson, Mikael Molander, Björn Eriksson, Caroline Ponsonby, Isak Sarac, Louise Backström, Larry Hanks, Jocelyn Millar, Erik Hedenström 2018 When landscape data rather than survey data limit management recommendations for the conservation of saproxylic beetles. “10th European Saproxylic Beetle Conference”, Bayerischer Wald, Germany. Oral presentation.

Björn Eriksson, Mikael A. Molander, Marcus Vestlund, Jocelyn G. Millar, Larry M. Hanks, Mattias C. Larsson. 2018. Quantifying the short-term effects of logging in oak dominated forests on threatened longhorn beetles (Cerambycidae) with a pheromone-based trapping system. “10th European Saproxylic Beetle Conference”, Bayerischer Wald, Germany. Oral presentation.

Avnämärkommunikation:

Projektets resultat har förmedlats i separata IRL- eller webbseminarier tillsammans med representanter för Södra, Sveaskog, Stora Enso, Holmen, SCA, FSC

Öppna data:

Fältfångster av insekter i projektet rapporteras i Artdatabankens observationsdatabas Artportalen allt eftersom fångstdata har kontrollerats.

9. Tack

Detta projekt ”Feromonbaserad övervakning som understöd av förvaltningsmodeller för skogsbiodiversitet” har finansierats av ett anslag från Naturvårdsverket inom utlysningen Förvaltning av värdefull natur.

Vissa studier i detta projekt har också genomförts och ibland kunnat slutföras genom koordination med Formas-projektet ”Substratdynamik och ekologiska anpassningar som nyckelfaktorer i bevarandet av skogsbiodiversitet”

Kompletterande medel för vissa studier i projektet har erhållits från: Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien, Skogssällskapet, Ekfrämjandet med Erik Stenströms stiftelse, Stina Werners stiftelse, WWF Sverige, Kungliga Vetenskapsakademien, Larsénska fonden (Lunds Entomologiska Sällskap), Tranemålastiftelsen (Erik och Ebba Larssons och Thure Rignells stiftelse), Stiftelsen Lars Hiertas Minne, Helge Axelsson Johnssons stiftelse

Många samarbetspartners har bidragit vetenskapligt till projektet eller dess förarbeten:

Postdocs och andra anslutna forskare: Inis Winde, Joe Burman, Franlin Nyabuga, Tobias Lindblom

Kemisk analys och syntes av substanser: Jocelyn Millar och Yunfan Zhou (UC Riverside), Erica Wallin, Erik Hedenström, Joakim Bång (Mittuniversitetet, Sundsvall), Rickard Unelius (Linnéuniversitetet, Kalmar)

Generell information om kemi och analys: Göran Birgersson, Marie Bengtsson (SLU), Frank Schröder

Jimmy Helgesson, Mats Niklasson (Nordens Ark)

Biologisk information och fältkunskap:

Gunnar Isacson (Skogsstyrelsen), Jörg Brunet (SLU) Team Banka Bock: David Andersson och Freddy Persson

Större markägare och deras representanter som har deltagit i utformning av försök, upplåtit mark för försök, omfattande fällfångster, insamling eller donering av död ved i stora kvantiteter och ibland kontrollerade skador av stående träd: Södra Skogsägarna (Therese Lindström och Anders Ekstrand) Sveaskog (Per Petersson, Ellen Nordström, Louise Åkerstedt, Jan Dahl), Kährs sågverk (John Ahlgren), Stora Enso, Helgesson Trädjänst AB (Jonas Helgesson), Nationalstadsparkförvaltningen Djurgården (Henrik Niklasson). Dessutom har ett oräkneligt antal enskilda markägare upplåtit mark för fällfångst.

Examensarbetare:

Alexander Nilsson, Louise Backström, Ida Rönnqvist, Caroline Ponsonby, Isak Sarac, Marcus Vestlund, Fredric Svensson

Ovärderlig assistans i fält:

Sunniva Farbu, Janne, Shilpi Kundu, Adam Nunn, Simon Jacobsen, Emma Johansson, Sandra Åhlén Mulio, Jan Haikara, Stefan Ekroth, Bengt Lundberg, Anna Borgström Schlumpf, Mikael Ståhlberg, Lina Leksell, Benjamin Forsmark, Alicia Josefsson

Länsstyrelser som har samarbetat aktivt i projektet, bidragit med information eller gett tillstånd för försök i skyddade områden:

Skåne, Stockholm, Blekinge, Kalmar, Östergötland, Uppland, Värmland, Västernorrland.

10. Källförteckning

- Andersson K, Bergman KO, Andersson F, Hedenström E, Jansson N, Burman J, Winde I, Larsson MC, Milberg P. 2014. High-accuracy sampling of saproxylic diversity indicators at regional scales with pheromones: the case of *Elater ferrugineus* (Coleoptera, Elateridae). *Biological Conservation* 171: 156-166
- Andersson C, Andersson E, Blomqvist S, Eriksson A, Eriksson H, Karlsson S, Roberge J-M. 2019. Fördjupad utvärdering av Levande skogar 2019. Skogsstyrelsens rapport 2019:2
- Backström L. 2016. Förekomst av långhorningarna *Pyrrhidium sanguineum*, *Poecilium alni* och *Phymatodes testaceus* (Coleoptera: Cerambycidae) inom Skåne län : vilka faktorer i landskapet påverkar habitatval för *P.sanguineum*, *P. alni* och *P. testaceus*? Kandidatuppsats. SLU, Alnarp
- Beland Lindahl K, Sandström C, Sténs A. 2017a. Alternative pathways to sustainability? Comparing forest governance models. *Forest Policy and Economics* 77:69-78
- Beland Lindahl K, Stens A, Sandstrom C, Johansson J, Lidskog R, Ranius T, Roberge JM. 2017b. The Swedish forestry model: More of everything? *Forest Policy and Economics* 77:44-55
- Celander P. 2020. Longhorn beetles in lesser spotted woodpecker habitat - a pheromone-based inventory of longhorn beetles in southern Sweden. Masters thesis. SLU, Alnarp
- Collignon RM, Swift IP, Zou YF, McElfresh JS, Hanks LM, Millar JG. 2016. The influence of host plant volatiles on the attraction of longhorn beetles to pheromones. *Journal of Chemical Ecology* 42(3): 215-29.
- Craig CC. 1953. On the utilization of marked specimens in estimating populations of flying insects. *Biometrika* 40(1-2): 170-6.
- Eriksson, B. 2022. Spatiotemporal monitoring of rare and elusive saproxylic beetles – A pheromone based approach. Doctoral Thesis. Department of Plant Protection Biology. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp
- Franc N. 2013. Åtgärdsprogram för långhorningar i hassel och klen ek, 2013-2017. Naturvårdsverkets rapport 6548. Naturvårdsverket, Stockholm
- Gamfeldt L, Snäll T, Bagchi R, Jonsson M, Gustafsson L, Kjellander P, Ruiz-Jaen MC, Froberg M, Stendahl J, Philipson CD, Mikusinski G, Andersson E, Westerlund B, Andren H, Moberg F, Moen J, Bengtsson J. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications* 4:8
- Hanks LM, Millar JG, Moreira JA, Barbour JD, Lacey ES, McElfresh JS. 2007. Using generic pheromone lures to expedite identification of aggregation pheromones for the cerambycid beetles *Xylotrechus nauticus*, *Phymatodes lecontei*, and *Neoclytus modestus modestus*. *Journal of Chemical Ecology* 33(5): 889-907.
- Hanks LM, Millar JG, Mongold-Diers JA, Wong JCH, Meier LR, Reagel PF, Mitchell RF. 2012. Using blends of cerambycid beetle pheromones and host plant volatiles to simultaneously attract a diversity of cerambycid species *Canadian Journal of Forest Research* 42(6): 1050-1059.
- Hanks LM, Millar JG. 2016. Sex and aggregation-sex pheromones of cerambycid beetles: basic science and practical applications [Review]. *Journal of Chemical Ecology*, 42 (7): 631-654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10886-016-0733-8>

- Hedin J, Ranius T. 2002. Using radio telemetry to study dispersal of the beetle *Osmoderma eremita*, an inhabitant of tree hollows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002 (2-3):171-80.
- Hedin J, Ranius T, Nilsson SG, Smith HG. 2008. Restricted dispersal in a flying beetle assessed by telemetry. *Biodiversity and Conservation* 17(3): 675-84.
- Hedin J, Isacson G, Jonsell M, Komonen A. 2008. Forest fuel piles as ecological traps for saproxylic beetles in oak. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23:348-357
- Imrei Z, Molander MA, Winde IB, Lohonyai Z, Csonka EB, Fail J, Hanks LM, Zou YF, Millar JG, Toth M, Larsson MC. 2019. Identification of the aggregation-sex pheromone of *Plagionotus arcuatus ssp. arcuatus* (Coleoptera: Cerambycidae) from two geographically separated European populations. *Science of Nature* 106:9
- Jeppsson T, Lindhe A, Gärdenfors U, Forslund P. 2010. The use of historical collections to estimate population trends: A case study using Swedish longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *Biological Conservation* 143(9): 1940-1950.
- Larsson MC, Hallberg E, Kozlov MV, Francke W, Hansson BS, Löfstedt C. 2002. Specialized olfactory receptor neurons mediating intra- and interspecific chemical communication in leafminer moths *Eriocrania spp.* (Lepidoptera : Eriocraniidae). *Journal of Experimental Biology* 205(7): 989-98.
- Larsson MC, Hedin J, Svensson GP, Tolasch T, Francke W. 2003. Characteristic odor of *Osmoderma eremita* identified as a male-released pheromone. *Journal of Chemical Ecology* 29(3):575-587.
- Larsson MC, Svensson GP. 2011. Monitoring spatiotemporal variation in abundance and dispersal by a pheromone-kairomone system in the threatened saproxylic beetles *Osmoderma eremita* and *Elater ferrugineus*. *Journal of Insect Conservation* 15:891-902
- Lindhe A, Jeppsson T, Ehnström B. 2010. Longhorn beetles in Sweden - changes in distribution and abundance over the last two hundred years. *Entomologisk Tidskrift* 131:241-508
- Millar JG, Hanks LM. 2017. Chemical ecology of cerambycids. In Q. Wang (Ed.), *Cerambycidae of the world: Biology and pest management* (pp. 161-208). CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Molander MA, Larsson MC. 2018. Identification of the aggregation-sex pheromone of the cerambycid beetle *Phymatodes pusillus ssp. pusillus* and evidence of a synergistic effect from a heterospecific pheromone component. *Journal of Chemical Ecology* 44:987-998
- Molander MA. 2019. A pheromone-based toolbox of longhorn beetles (Cerambycidae) for monitoring biodiversity in ephemeral deadwood substrates of oak. Doctoral Thesis. Department of Plant Protection Biology. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp
- Molander MA, Eriksson B, Winde IB, Zou Y, Millar JG, Larsson MC. 2019a. The aggregation-sex pheromones of the cerambycid beetles *Anaglyptus mysticus* and *Xylotrechus antilope ssp. antilope*: new model species for insect conservation through pheromone-based monitoring. *Chemoecology* 29:111-124
- Molander MA, Helgesson J, Winde IB, Millar JG, Larsson MC. 2019b. The male-produced aggregation-sex pheromone of the cerambycid beetle *Plagionotus detritus ssp. detritus*. *Journal of Chemical Ecology* 45:28-36

- Molander MA, Winde IB, Burman J, Nyabuga FN, Lindblom TUT, Hanks LM, Millar JG, Larsson MC. 2019c. Common cerambycid pheromone components as attractants for longhorn beetles (Cerambycidae) breeding in ephemeral oak substrates in Northern Europe. *Journal of Chemical Ecology* 45:537-548
- Molander MA, Eriksson B, Arriola K, Richards AB, Hanks LM, Larsson MC and Millar JG. 2022 p-Mentha-1,3-dien-9-ol: A novel aggregation-sex pheromone for monitoring longhorn beetles (Cerambycidae) in Eurasia and North America. *Journal of Applied Entomology* DOI: 10.1111/jen.13059
- Musa N, Andersson K, Burman J, Andersson F, Hedenström E, Jansson N, et al. 2013. Using sex pheromone and a multi-scale approach to predict the distribution of a rare saproxylic beetle. *PLoS ONE* 8(6):e66149.
- Nilsson A. 2015. Trapped in the forest: The longhorn beetle *Tragosoma deparium* L. in south-east Sweden. Masters Thesis. Linköping University, Linköping
- Ranius T, Johansson V, Fahrig L. 2011. Predicting spatial occurrence of beetles and pseudoscorpions in hollow oaks in southeastern Sweden. *Biodiversity and Conservation* 20(9): 2027-2040.
- Ray AM, Barbour JD, McElfresh JS, Moreira JA, Swift I, Wright IM. 2012. 2,3-Hexanediols as sex attractants and a female-produced sex pheromone for cerambycid beetles in the genus *Tragosoma*. *Journal of Chemical Ecology* 38(9):1151-1158.
- Rönnqvist I. 2020. Improving cerambycid monitoring utilizing host plant volatiles and pheromone blends. Masters thesis. SLU, Alnarp
- Sarac I. 2016. Explaining population size of the saproxylic beetle *Prionus coriarius* as a function of available dead wood resources. Masters thesis. SLU, Alnarp
- Skogsskötselkommitté Ks. 2012. Dags att utvärdera den svenska modellen för brukande av skog. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 151:1-52
- Svensson GP, Larsson MC. 2008. Enantiomeric specificity in a pheromone-kairomone system of two threatened saproxylic beetles, *Osmoderma eremita* and *Elater ferrugineus*. *Journal of Chemical Ecology* 34:189-197
- Svensson GP, Sahlin U, Brage B, Larsson MC. 2011. Should I stay or should I go? Modelling dispersal strategies in a threatened saproxylic beetle, *Osmoderma eremita*, based on pheromone capture and radio telemetry. *Biodiversity and Conservation* 20: 2883-2902.
- Svensson GP, Liedtke C, Brestein P, Bång J, Hedenström E, Larsson MC. 2012. Chemical ecology and insect conservation: optimising pheromone-based monitoring of the threatened saproxylic click beetle *Elater ferrugineus*. *Journal of Insect Conservation* 16:549-555
- Wikars L-O. 20?? Raggbocken i norra Värmland, återkommande övervakning av en hotad vedskalbagge och dess livsmiljö. Opublicerad rapport? Länsstyrelsen i Värmland
- Wikars L-O. 2004. Habitat requirements of the pine wood-living beetle *Tragosoma deparium* (Coleoptera: Cerambycidae) at log, stand, and landscape scale. *Ecological Bulletins* 51:287-294
- Wikars LO. 2014. Åtgärdsprogram för skalbaggar på äldre död tallved, 2014-2018. Rapport 6629. . Naturvårdsverket, Stockholm