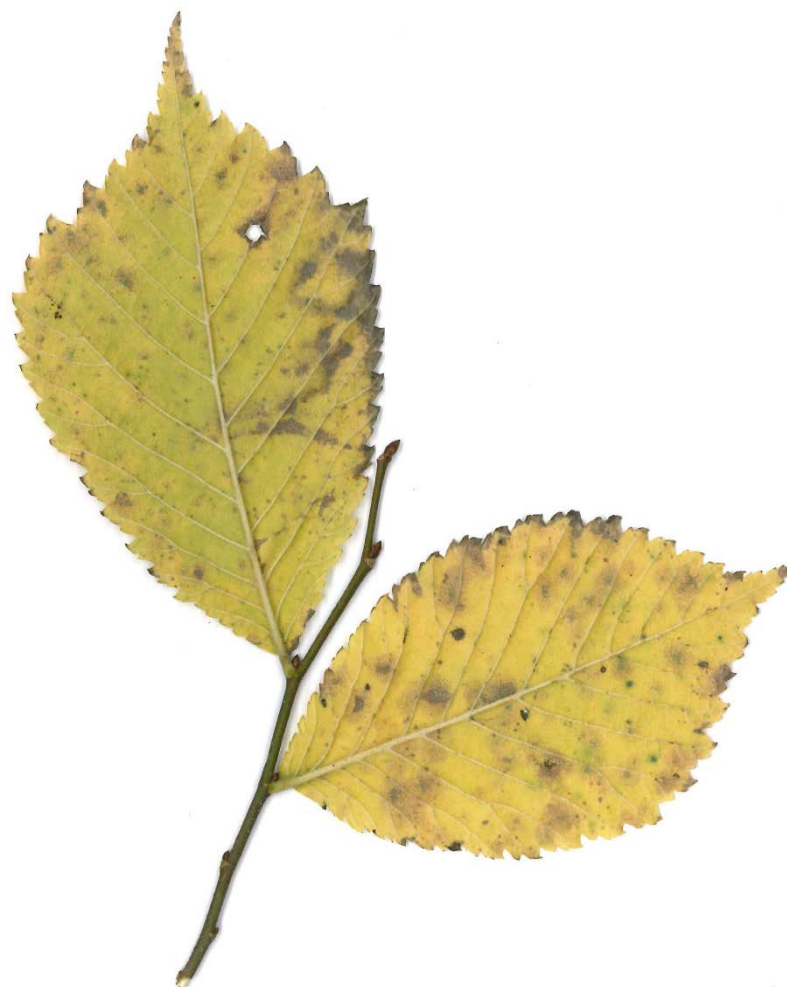


Vetenskaplig utvärdering av åtgärdseffekter mot almsjukan inom projektet LifeELMIAS.



Rapport till Naturvårdsverket 2017-10-31

Annie Jonsson
Inst. för Biovetenskap
Högskolan i Skövde



SAMMANFATTNING

EU-projektet ”LifeELMIAS - Saving wooded Natura 2000 habitats from invasive alien fungi species on the Island of Gotland, Sweden” startade i augusti 2013 och avslutas under 2018. Projektet har haft sitt fokus på att bekämpa och i bästa fall utrota almsjukan på Gotland, samt långsiktigt skydda och bevara den biologiska mångfalden som är speciellt knuten till alm och även ask. Projektet drivs av Skogsstyrelsen med flera samarbetspartners bland annat Naturvårdsverket. Från 2013 har bekämpningsåtgärderna finansierats i projektet LifeElmias och det kostar i medeltal 5 miljoner kronor per år. För att kunna ta ställning till hur almsjukan ska hanteras på Gotland efter projektavslut har Naturvårdsverket beställt följande utvärdering. I uppdraget har det ingått att sammanställa vad som genomförts i LifeElmias och vilka slutsatser man kan göra, samt en diskussion om framtida möjligheter.

Så snart almsjukan upptäcktes på Gotland 2005 sattes bekämpningsåtgärder in som har pågått fram till idag. Till och med 2009 spred sig sjukdomen mycket snabbt på ön. Därefter har den stoppats upp och dess spridningstakt har inte ökat signifikant sedan dess. Det finns tyvärr inget som tyder på att det skulle vara möjligt att utrota sjukdomen på Gotland. Ett uppehåll i bekämpningen kommer att innebära att almsjukan återigen går in i en starkt växande fas. Då skulle upp till 90% av almbeståndet kunna slås ut på bara några år. Fram till idag har endast 3% av beståndet på 1 miljon almar insjuknat. Almarterna dör inte ut helt om man slutar med bekämpningen men förekomsterna kommer till största delen bestå av unga träd och buskartade bestånd. Vilken total effekt det har på den biologiska mångfalden generellt går inte att förutsäga. Artsammansättningen kommer dock att förändras och populationsstorlekar påverkas i både negativ och positiv riktning.

Den hittills mest effektiva metoden att bekämpa almsjukan har varit att upptäcka sjuka träd och destruera dem. Nya möjligheter med fjärranalys för att inventera finns inom räckhåll och med hjälp av ekologisk geografisk modellering skulle man kunna finna strategier för att effektivisera kontrollen eller upprätta skydds zoner för specifikt bevarande av almbestånden inom Natura 2000-områdena. Både fjärranalys och ekologisk modellering kräver dock ett utvecklingsarbete med anpassningar för de specifika situationerna med almsjuka, Gotlands geografi, klimat med flera faktorer. Men dessa metoder skulle långsiktigt kunna effektivisera arbetet och minska kostnaderna för ett fortsatt kontrollprogram.

INNEHÅLL

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUKTION | 5 |
| 1.1 Almsjukans biologi | 6 |
| 1.2 Almsplintborrens spridning och livscykel | 8 |
| 1.3 Almsjukan och biologisk mångfald | 9 |
| 1.4 Projektet LifeELMIAS mål | 10 |
| 1.5 Utvärdering av projektet LifeELMIAS | 11 |
| 2. RESULTAT | 12 |
| 2.1 Inventering av almsjukans utbredning | 12 |
| 2.2 Studier av almsjukans dynamik | 15 |
| 2.3 Metoder som testats i LifeELMIAS för att bekämpa almsjukans spridning | 17 |
| 2.4 Litteraturstudie kring bekämpning av almsjuka i världen | 19 |
| 2.5 Olika åtgärders kostnader | 24 |
| 3. DISKUSSION | 25 |
| 3.1 Har projektet lyckats stoppa eller begränsa spridningen av almsjuka? | 25 |
| 3.2 Har ett alarm- kontrollprogram etablerats? | 26 |
| 3.3 Kan friska almbestånd i Natura 2000 områdena säkras? | 26 |
| 3.4 Vad kostar bekämpningen av almsjukan? | 27 |
| 3.5 Vad händer om bekämpningen upphör helt? | 27 |
| 3.6 Hur påverkas den biologiska mångfalden av almsjukan och dess bekämpning? | 27 |
| 4. SLUTSATS | 28 |
| 5. REFERENSER | 29 |

1. INTRODUKTION

Alm har en naturlig härkomst i blandlövskogar i Europa men är idag allvarligt hotad. Genom mänsklig aktivitet har de naturliga habitaterna under lång tid reducerats för de tre arterna vresalm, *Ulmus laevis*, lundalm, *Ulmus minor* och skogsalm, *Ulmus glabra*. Idag är det största hotet mot almarna svampsjukdomen Holländsk almsjuka, *Ophiostoma novo-ulmi* (Ghelardini 2007).

I Sverige är alla landets tre almarter, skogsalm, lundalm och vresalm, rödlistade, till största delen på grund av almsjukans framfart. Rapporter om att almsjukan drabbat kommuner finns från stora delar av landet. Gotland hyser den största naturliga populationen av almar i Europa, en population på drygt en miljon träd (Menkis m.fl. 2016a). Här växer två almarter vilt, lundalm och skogsalm. Lundalm är den vanligast förekommande. Almen finns över hela Gotland, men är mest frekvent i ett bälte mitt på ön och i ett mindre område på södra Gotland. I parker och alléer förekommer även andra arter av alm. År 2005 upptäcktes almsjukan för första gången på Gotland. Då befann den sig på den nordöstra sidan av ön men sjukdomen spred sig snabbt i flera olika riktningar.

Åtgärder mot almsjukans spridning på Gotland sattes in omedelbart (Menkis m.fl. 2016a). Under de två första åren, 2005-2007, undersöktes och kartlades alla träd över 10 cm i diameter inom det infekterade området och närgränsande områden. Sjuka träd fälldes och destruerades. Från 2008 och framåt har inventeringar av alla alm-förekomster på hela ön gjorts och kartlagts. Sjuka träd fälldes och destruerades årligen även fortsättningsvis mellan oktober och april månad. Från 2009 fälldes även alla friska almar som stod inom rotspridningsavstånd till sjuka träd och stubbarna behandlades med bekämpningsmedlet glyfosat för att döda rotsystemet och förhindra risken att sjukdomen får spridning via nya skott från rötterna.

I augusti 2013 startade projektet LifeELMIAS - Saving wooded Natura 2000 habitats from invasive alien fungi species on the Island of Gotland, Sweden (Skogsstyrelsen 2017) med fokus på att fortsätta bekämpa och i bästa fall utrota almsjukan på Gotland, samt långsiktigt skydda och bevara den biologiska mångfalden som är speciellt knuten till alm och även ask. Projektet avslutas under 2018.

1.1 Almsjukans biologi

Almsjuka (Dutch Elm disease - DED) kan orsakas av tre närbesläktade svamparter av släktet *Ophiostoma*; *O. ulmi*, *O. novo-ulmi* och *O. himal-ulmi* (Kiritis 2013). Arterna *O. ulmi*, *O. novo-ulmi* introducerades till Europa för drygt 100 år sedan, troligen från Asien, och har svag till mycket hög virulens. Symptomen som orsakas är likartade för de båda svamparterna men en infektion av *O. ulmi* har en hög grad av överlevnad och återhämtning medan en infektion av *O. novo-ulmi* är mycket dödlig (Peace 1960). Den mer virulenta arten, *O. novo-ulmi*, har gradvis tagit över från den mindre virulenta, *O. ulmi*, som till och med har dött ut på områden där den tidigare förekom. Det är den aggressiva arten av almsjuka *O. novo-ulmi* som drabbat träden på Gotland.

Almsjukan har slagit till i Europa och Nordamerika med två storskaliga pandemier (Brasier 1991, 1996). Det första utbrottet uppträdde från 1910 och startade troligen i nordvästra Frankrike eller Belgien och spred sig österut mot centrala och södra Europa och västerut till England och Nordamerika. Det andra utbrottet i Europa och Nordamerika började troligen under 1940-talet men upptäcktes först under 1970 i England. I Storbritannien hade drygt 80% av almarna dött ut fram till 1990, 25 av 30 miljoner träd (Brasier 1996). Det har dock visat sig att almarna här hinner föröka sig naturligt i mängd via rotskott och fröförökning och att de nya träden lyckas nå fram till frö-stadium. Almsjukan har också spridits till Nya Zeeland och Japan (Gadgil m.fl. 2000, Masuyaa m.fl. 2010). Den tredje svamparten *O. himal-ulmi* är endemisk på Himalaysisk alm (*Ulmus wallichiana*). Denna svampart verkar inte orsaka några mätbara sjukdomsskador på almarten.

Alla almarter i Europa och Nordamerika är starkt mottagliga för svampangreppen (Santini m.fl. 2010). Ophiostomarter har också hybridiserat och snabbt anpassat sig till nya miljöer med nya subarter. Den höga virulensgraden är typisk för introducerade arter där det inte hunnit ske en samevolution mellan parasiten, dess värd och eventuella konkurrerande arter som kan påverka almsjukans spridning och utbredning (Brasier 1996). Lundalm och dess hybrider med skogsalm kan dock uppvisa viss resistens. I Asien är däremot är flertalet almarter mer eller mindre resistent, men med stor geografisk variation (Smalley & Guries 2000).

Under våren har almen vanligtvis en ökad mottaglighet mot almsjukessvamparna då bladen och vårveden bildas och tillväxten är maximal (Kiritis 2013). Den ökade mottagligheten beror på

almens vedegenskaper enligt Black-Samuelsson och Ghelardini (2007). I vårveden sker tillväxten snabbt och kärnen är stora och jämnt spridda. Vatten och näring transporteras effektivt i den yttersta årsringen som gör att svampen lätt sprider sig i trädet. Svampen får svårare att infektera under senare delen av vegetationssäsongen då den sena veden har trängre och grupperade kärn. Trädets mottaglighet för almsjukan minskar därför om den sena veden hinner bildas innan almsplintborrarna söker föda i trädkronorna. Det kan därför vara variationer mellan åren i hur effektivt sjukdomen sprids beroende på klimatet.

Almsjukan har flera olika typer av spridningsvägar. Dess största spridning sker via födosökande skalbaggar (Webber 2004). Skalbaggarna kan sprida sig från några hundra meter till fler kilometer (Meurisse & Pawson 2017). Beroende på skalbaggnas preferens för olika almarter och hur effektiva de är på att ta med sig svampsporer drabbas almarter i varierande grad av almsjukan. Almsjukessvampen har dock inte några långlivade vilosporer utan övervintrar i sina värdar (Lea & Brasier 1983). Den överlever heller inte särskilt länge på de döende eller döda almarna utan det sker en succession där dess utbredning i trädet minskar och andra arter tar över. Skalbaggsarten *Scolytus scolytus* pekas ut som den mest effektiva spridaren i Europa generellt. På Gotland är det dock skalbaggsarten tandad almsplintborre (*Scolytus multistriatus*) som sprider almsjukan (Menkis m.fl. 2016b). Den kan leva på träd av mindre storlek (Brasier 1996). Almsplintborrens biologi och livscykel har följaktligen stor betydelse för förståelsen av almsjukans utbredning på Gotland. Almsjukessvampen har inte några långlivade sporer utan övervintrar i sina trädvärdar (Lea & Brasier 1983).

Almsplintborren är i hela sin livscykel knuten till alm (Webber 2004). Skalbaggen infekterar nya träd som vuxen när de äter, framförallt, unga skott. De vuxna individerna för med sig svampsporer från smittade träd de levte i som larver. Svampens sporer är klibbiga och fastnar lätt på sin spridarvärd (vektor). När de unga skotten skadas av skalbaggen så kan svampen komma in och etablera sig i träden (Kiritis 2013). Svampen växer till med celltrådar (hyfer) i trädets vattentransportkärn (xylem) och celler, och sprider sig på detta sätt vidare i trädet. Svampen producerar giftiga ämnen och trädet reagerar med produktion av olika ämnen som bland annat täpper till kärnen. Trädet dör därmed gradvis. Vissna löv och döda grenar uppträder först, vanligtvis från mitten av trädkronan och uppåt, och sedan vidare tills hela kronan har påverkats, och så småningom även huvudstammen. Förloppet kan gå mycket snabbt och en alm kan dö inom några veckor från infektionens start, särskilt om det skett i början på

vegetationssäsongen. Om smitta däremot sker senare på säsongen kan förloppet gå långsammare och symptomen kan visa sig först på våren efter.

Svampen kan också sprida sig från ett smittat träd till närliggande träd via trädens rötter (Brasier 1996). Almarter med stor förmåga till vegetativ förökning med rotskott, såsom lundalm (*Ulmus minor*), den vanligaste arten på Gotland, drabbas därmed extra mycket genom snabbare spridning. De smittade trädindividerna uppvisar direkt symptom i hela kronan. Bladen börjar hänga och ändrar färg från ljusgrönt över gult till brunt, krymper och krullar ihop sig och torkar och delvis faller av. Senare böjer sig också skotten inåt och dör.

Spridning av almsjuka sker även med människans hjälp genom förflyttning av obarkad ved som är infekterad av svampen, samt med redskap som varit i kontakt med smittade träd, till exempel sågar. Denna spridning kan bli riktigt långväga, som mellan kontinenter.

1.2 Almsplintborrens spridning och livscykel

Almsplintborren, på Gotland arten tandad almsplintborre (*S. multistriatus*), har en livscykel som är starkt knuten till alm. Honan lägger sina ägg i sjuka, döende almar eller liggande ved. Hon gnager en rak gång längs fibrerna i träet där hon placerar dem. Hon kan ta sig igenom både tunn och grov bark. När äggen kläckts gnager sig larverna rakt ut åt sidorna. Larverna övervintrar sedan under barken och förpuppas under våren. De kläcks som färdiga skalbaggar och flyger ut i maj till juni för att äta främst på friska almskott. Då är skalbaggen som mest aktiv (Jacobi m.fl. 2007). I övrigt är den relativt stationär i sitt levnadssätt, men när den söker ägglägningsplats eller lämpliga träd för näringsgnag så kan de förflytta sig genom flygning många kilometer (Hannunen & Marinova-Todorova 2016, Meurisse & Pawson 2017).

Skalbaggarnas starka beroende av döende och döda almar spelar stor roll för deras populationstillväxt i samverkan med almsjuka. När almsjukan uppträder på en ny lokal sprider sig svampen först långsamt för att sedan öka kraftigt. Det är den ökade mängden döende ved hos infekterade almar som ger goda förutsättningar för skalbaggens äggläggning, som i sin tur bidrar till att almsjukan sprids snabbare (Brasier 1996). Med minskande tillgång på döende och döda almar att föröka sig i kommer skalbaggspopulationerna att minska och därmed också sjukdomsspridningen. När de överlevande almarna lyckats regenerera sig och träden vuxit till kan sjukdomen återigen slå till. Cykler med ökande och minskande populationer av värdar,

vektorer och svampsjukdomen har observerats i Storbritannien (Brasier 1996, Harwood m.fl. 2011).

1.3 Almsjukan och biologisk mångfald

En ny invasiv sjukdom, som almsjukan, kan åstadkomma stora förändringar i ekosystemet (Crooks 2002). Fotosyntes och produktion av trädbiomassa minskar, ljusinsläpp ökar och mikroklimatet förändras på kort sikt. Nedbrytning av död ved tillför mer näring som inte tas upp på en gång. Detta leder till att naturtypens struktur och artsammansättning gradvis förändras. På artnivå kan förändringar ske med både ökning och minskningar av populationer och att nya arter tillkommer eller försvinner (Smith m.fl. 2009). I England har man t ex sett att almsjukan orsakade minskning av vissa fågelarter men en ökning av andra. På grund av ökad tillgång på skalbaggs-larver i den ökade mängden död ved fick vissa fågelarter mer födoresurser (Osborne 1985). De sammantagna effekterna av en invasiv sjukdom behöver inte alltid betyda att den biologiska mångfalden generellt minskar.

Effekterna av almsjukan i det korta perspektivet leder till att många trädindivider försvagas och dör vilket påverkar den biologiska mångfalden direkt då almen bidrar med föda, skydd och boplatser för ett stort antal organismer. Almen är i sig en art som då minskar kraftig. Men almen utgör också en resurs för framförallt en mängd svampar, lavar och mossor men även tvåvingar, fjärilar, steklar, skalbaggar och fladdermöss, och det finns minst 259 rödlistade arter i Sverige som almen har stor betydelse för (Höjer & Hultengren 2004, Fritz 2008, Ahlén & Ahlén 2015, Sundberg m.fl. 2015). Lundalmen som är den vanligaste alm-arten på Gotland kan dock snabbt föröka sig vegetativt med en mängd rotskott. Dessa nya unga träd kan ändå drabbas relativt tidigt av almsjukan vilket innebär att de inte kan ersätta behovet för de organismer som är beroende av de grövre äldre almträden.

Om man lyckas bevara äldre grövre almar så kommer effekterna av sjukdomsbekämpningen betala sig bra för de arter som är beroende av denna miljö. Men med en extra effektiv bortstädning av döende och döda träd samt död ved för att förhindra ytterligare spridning av almsjuka skulle kunna påverka den totala biologiska mångfalden negativt. Det finns en mängd organismer, framförallt insekter och svampar som är beroende av döende eller död ved. Genom den noggrannare städningen så kommer en hel del resurser att försvinna för dessa arter.

1.4 Projektet LifeELMIAS mål

Sedan Gotland drabbades av almsjukan 2005 har den spridit sig på i stort sett hela ön (Menkis m.fl. 2015). Denna sjukdomsspridning utgör ett allvarligt hot mot de stora sammanhängande almskogarna, till största delen bestående av arten lundalm (*U. minor*) men även skogsalm (*U. glabra*). Dessa skogar har starkt bevarandevärde då de utgör den största vilda populationen av alm i Europa och bidrar till den biologiska mångfalden via de organismer som är beroende av almen på olika sätt. Flera Natura 2000 områden på Gotland har drabbats och för att skydda och bevara skogslokalerna med alm har bland annat projektet LifeELMIAS startats (Skogsstyrelsen 2017).

Ett högt satt mål i projektet, som pågår mellan 2013 till 2018, är att helt utrota almsjukan på ön. I och med att den har brutit ut relativt nyligen, att Gotland är en isolerad ö, och att det redan innan projektet startades gjordes olika åtgärder, finns det en teoretisk möjlighet att uppnå detta mål. Om det visar sig att sjukdomen inte går att utrota är målet att hålla den på så låg nivå som möjligt samt underlätta för nyetablering av almar.

För att uppnå målen för almens fortlevnad har ett antal åtgärder planerats och utförts i projektet. Dels har man fokuserat på att öka den grundläggande kunskapen om almsjukans spridning och biologi på Gotland genom att

- kartlägga alla almar på Gotland och undersöka deras hälsotillstånd,
- studera almsplintborrens ekologi,
- undersöka almsjukevampens DNA-ursprung, samt
- undersöka effekter av almsjukan och betydelsen av bevarande av almar för ekosystemen och framförallt biodiversiteten genom att kartlägga populationer av viktiga nyckelarter och artgrupper såsom halsbandsflugsnappare, fladdermöss, mossor och lavar.

Vidare har man arbetat med åtgärder för att minska almsjukans spridning och testat olika metoder genom att man har

- avverkat och destruerat alla almar som drabbats av almsjuka,
- testat och utvärderat effekten av vaccinering,
- tagit fram restaureringsplaner och restaureringsåtgärder för skyddsvärda områden,
- producerat ett antal olika typer av informationsaktiviteter för att utbilda berörda och allmänhet om almsjukan och hur man hjälper till att förhindra dess spridning, samt
- arbetat med att upprätta och sjösätta ett kontrollprogram som ska inträda när LifeELMIAS projektet är avslutat.

1.5 Utvärdering av projektet LifeELMIAS

Denna utvärdering, som görs på uppdrag av Naturvårdsverket, syftar till att sammanställa vad som genomförts i projektet, vilka slutsatser man kan göra kring möjligheten att utrota eller begränsa almsjukans spridning samt diskutera framtida möjligheter och metoder för att hålla sjukdomens spridning och effekter på så låg nivå som möjligt till en rimlig kostnad. I uppdraget ingår också en litteraturgenomgång av den i sammanhanget mest relevanta forskningen inom området globalt, främst i Nordamerika, Nya Zeeland och Europa för att jämföra resultat av bekämpning och eventuellt hitta nya eller effektiviserade bekämpningsmetoder för Gotland.

Mer specifikt så undersöks följande frågor:

- Har projektet lyckats stoppa eller begränsa spridningen av almsjuka?
- Har man etablerat ett system för att förhindra ny import av sjukdomen samt ett system för att tidigt upptäcka, slå larm och bekämpa sjukdomen om den ändå kommer in på nytt?
- Kan nuvarande arbetssätt åstadkomma att almsjukan elimineras på Gotland? Innebär det i så fall förutsättningar för långsiktigt friska almbestånd inom Natura 2000? Om ja, inom vilken tidshorisont och med vilken ungefärlig kostnad?
- Hur kostnadseffektiva bedöms nuvarande metoder vara jämfört med andra metoder, kända eller oprövade?
- Hur påverkas arter som är beroende av alm av sjukdomen och av bekämpningsåtgärder?
- Vad skulle hända om bekämpningen upphör helt vid projektets slut?

Utredningen har genomförts genom att:

- läsa de rapporter och artiklar som finns kopplade till projektet,
- ställa frågor till personer med olika ansvarsområden inom projektet,
- extrahera och sammanställa information om de resultat som har uppnåtts,
- samla och sammanställa information om kostnader för de olika bekämpningsåtgärderna i projektet,
- utföra några egna mindre analyser på datamaterialet i projektet, samt
- litteratursöka och sammanställa relevant kunskap om almsjukan och dess bekämpning från internationella vetenskapliga publikationer och rapporter.

Följande personer har jag varit i kontakt med angående frågor i anknytning till projektet, erhållande av datamaterial eller uppgifter kring resultat m m.

- Karin Wågström, Skogsstyrelsen, Projektledare
- Ingegerd Andersson, Skogsstyrelsen, Ekonomiconroller
- Anna-Lena Smedberg, Skogsstyrelsen, Skogskonsulent
- Jan Stenlid, SLU, Professor
- Audrius Menkis, SLU, Docent
- Tommy Knutsson, Ölands Botaniska förening, Vice ordförande

Sofia Berg, adjungerad lektor vid Högskolan Skövde, har gjort de kompletterande GIS-analyserna för Tabell 1 och Figur 2.

2. RESULTAT

2.1 Inventering av almsjukans utbredning

Resultat från DNA studier på trädprover från almsjuka träd visar att almsjukan på Gotland med största sannolikhet kom från det svenska fastlandet (LifeELMIAS 2015). Båda svamparterna *O. ulmi* och *O. novo-ulmi* konstaterades också finnas där. Utifrån arternas låga genetiska diversitet kan man utläsa att de med stor sannolikhet endast har introducerats en eller ett fåtal gånger till Gotland. Genetiska studier av almsjuka hos almsplintborre visar ytterligare att *O. novo-ulmi* är den mest förekommande arten idag och att den troligen tar över helt i förhållande

till *O. ulmi* (LifeELMIAS 2015). Av 80 infekterade skalbaggar var det endast en som bar på *O. ulmi*. Andelen infekterade skalbaggar varierade med sitt högsta värde 2014 (Tabell 1).

Under projektåren 2013-2016 har 13 630 almar med almsjuka upptäckts och tillsammans med tillhörande 3764 riskträd har därmed 17 394 träd avverkats och destruerats (LifeELMIAS 2017, Annex C2). Ytterliga riskträd med stammar under 10 cm i diameter har också avverkats. Inventeringar och åtgärder startades dock på Gotland omedelbart 2005 så snart almsjukan upptäckts (Menkis et al 2015). Jag har därför även inkluderat dessa tidigare resultat i analysen (Tabell 1). Det totala antalet avverkade och destruerade almar på grund av almsjuka uppgår idag till ungefär 3% av Gotlands almpopulation på ca 1 miljon träd. De sjuka och avverkade trädens geografiska position har lagts in en databas hos Skogsstyrelsen.

Tabell 1. Sammanställning av inventeringar av almar och almsplintborre på Gotland. Almar som destruerats är infekterade träd, riskträd samt småträd med stammar mindre än 10 cm i diameter. Även redan döda infekterade träd är inkluderade här. Antalet almsplintborrar anges i tre kolumner då insamlats på lite olika sätt.

| år | antal sjuka träd | antal risk-träd | antal små träd | km ² med smitta | antal almsplint-borror ³ | antal almsplint-borror ⁴ | antal almsplint-borror ⁵ | % infekterade almsplint-borror ⁴ |
|------|-------------------|-----------------|----------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 2005 | 71 | | | 16 | | | | |
| 2006 | 64 | 140 | | 241 | | | | |
| 2007 | 877 | 76 | | 567 | 515 | | | |
| 2008 | 3266 | 307 | | 1446 | 230 | | | |
| 2009 | 2118 | 56 | | 1748 | 290 | | | |
| 2010 | 2635 | 46 | | 1686 | 125 | | | |
| 2011 | 4958 ¹ | | | 1809 | 61 | | | |
| 2012 | 2667 | 933 | | 1780 | | 84 | | 13 |
| 2013 | 3 385 | 1 046 | 700 | 1914 | | 38 | 10 | 4 |
| 2014 | 3 206 | 404 | 6 700 | 2112 | | 55 | 11 | 28 |
| 2015 | 3 991 | 1 378 | 10 500 | 2060 | | | 10 | |
| 2016 | 3 048 | 936 | 6 400 | 2038 | | | 8 | |

1. Inklusive riskträd. Året 2011 räknades all in i samma kategori.

2. Menkis m.fl. (2015) åren 2005 till 2013, därefter, åren 2004 till 2016, beräknat med samma metod. Kompletterande information om metoden inhämtades från A. Menkis.

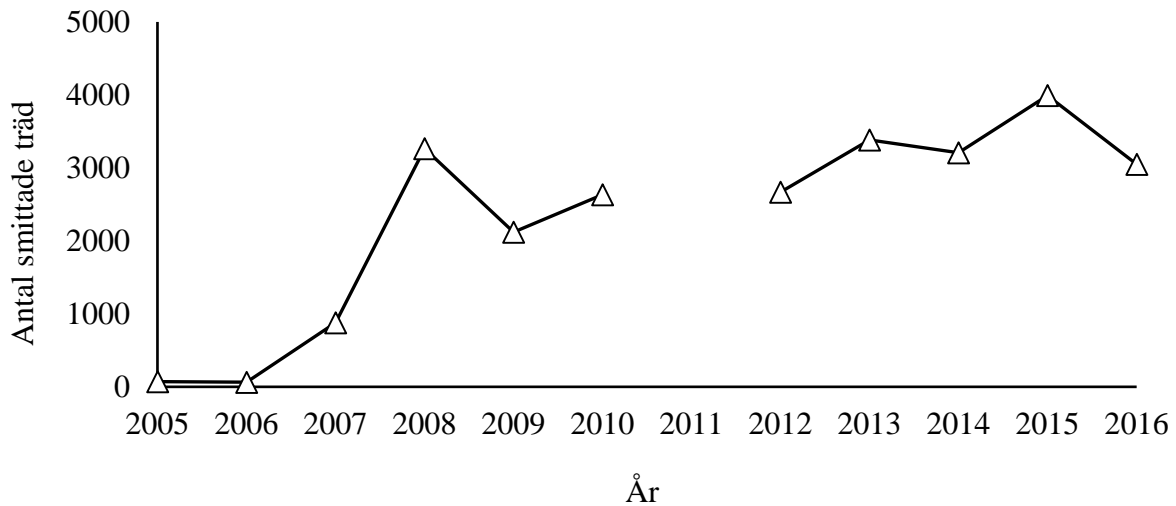
3. Menkis m.fl. (2105)

4. Menkis m.fl. (2016)

5. LifeELMIAS (2017), Annex A4

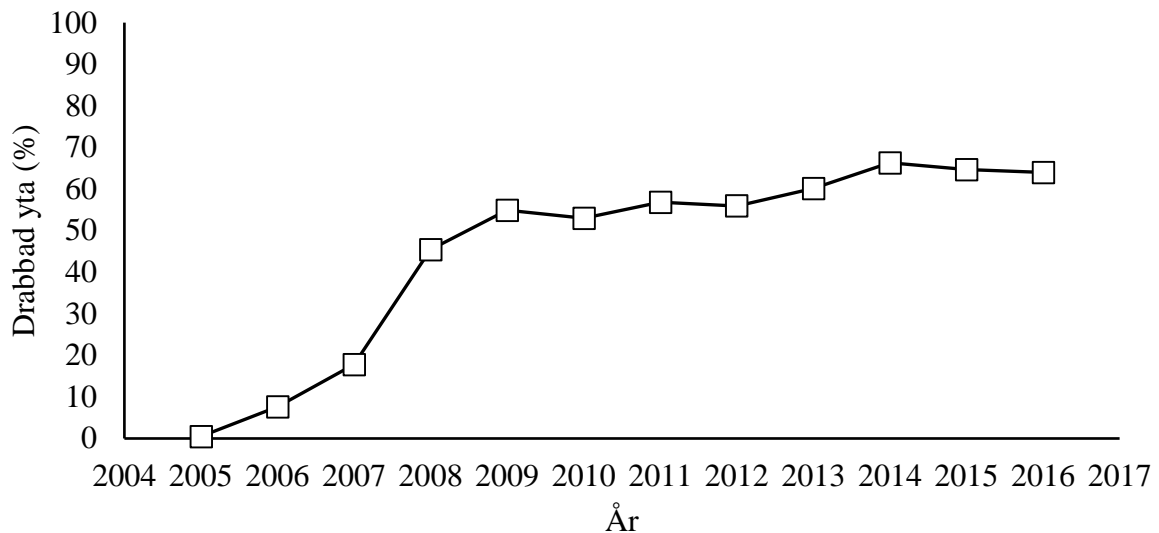
Antalet smittade träd ökade i det närmaste exponentiellt under de första fyra åren från ett 70-tal träd till över 3200 träd (Figur 1). En regressionsanalys med \log_e för antal döda träd mot år visar

på ett $R^2=0.79$, dock inte signifikant ($p=0.11$). Ökningen har sedan saktat in betydligt från 2009. En regressionsanalys för antal döda träd under åren 2008 till 2016 uppvisar ett $R^2=0.29$ och ingen signifikant ökande eller minskande trend ($p=0.17$).



Figur 1: Antal smittade träd som destruerats på Gotland under åren 2005 till 2016. Året 2011 särräknades inte infekterade träd och riskträd. Andelen sjuka träd beräknas då ha varit 70% vilket skulle innebära 3470 infekterade träd (Karin Wågström, muntligen).

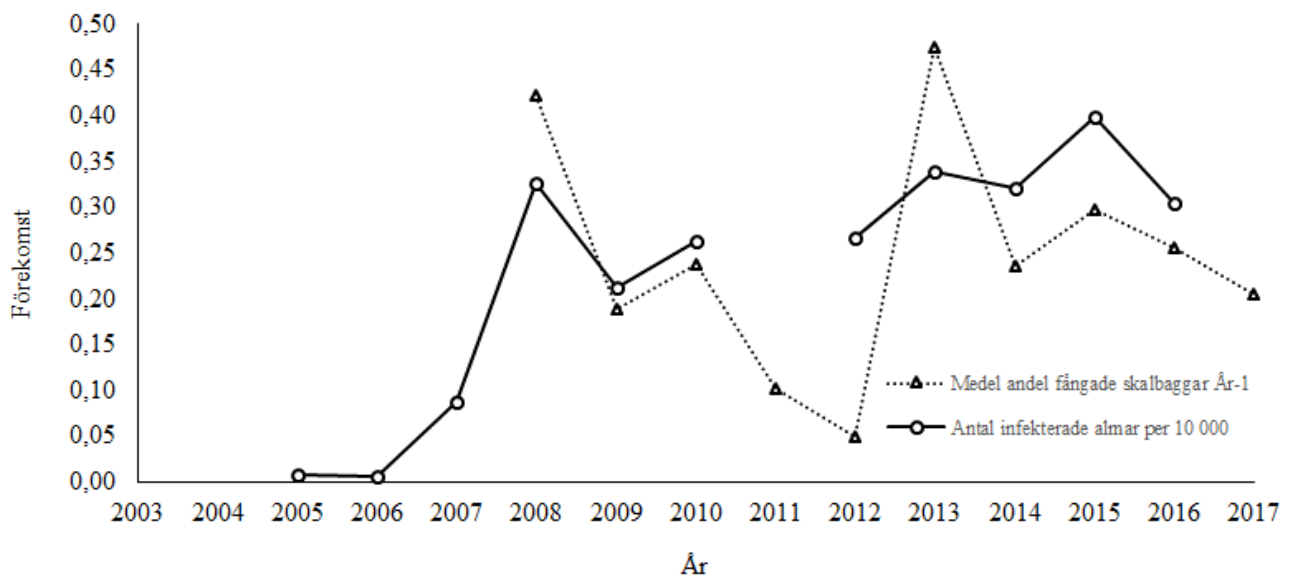
Den rumsliga utbredningen av almsjukan avstannar också tydligt från 2008 (Figur 2).



Figur 2: Andel yta av Gotlands totala yta där det finns smittade träd under åren 2005 till 2016.

2.2 Studier av almsjukans dynamik

Under åren 2007-2016 har förekomst av almsplintborre och infektionsgrad hos borren studerats i några olika projekt (Menkis, 2015, 2016b, LifeELMIAS 2015, Annex A4 och D2). Primärdata på insamlade almsplintbollar i respektive projekt redovisas i Tabell 1. I figur 3 visas dynamiken för antal sjuka träd och andel fångade almsplintbollar av den totala fångsten under alla år. Resultaten har normaliserats för skalbaggar genom att för varje projekt har andel av totalen beräknats per år. De två år (2013-2014) då två projekt har värden samtidigt har ett medel tagits på andelarna. Andelen skalbaggar har plottats med ett års förskjutning framåt, t ex värdet för andel skalbaggar markerat på år 2007 i figuren är den andel som fanns året innan, 2006. Detta tydliggör det samband som finns mellan skalbaggaras populationsstorlek året innan och hur många smittade träd som hittas året därpå (korrelation=0,56). Dvs om det finns många skalbaggar året innan kommer det att hittas många smittade träd året därpå och vice versa. Tillgången på almsjukeskadade och nydöda träd ökar tillgången till förnygringsplatser för almsplintborren. En direkt effekt av att en del infekterade träd lämnades kvar en säsong året 2014 kan ses i det ökade antalet almsjuka träd 2015 och antalet skalbaggar mellan 2014 och 2015.

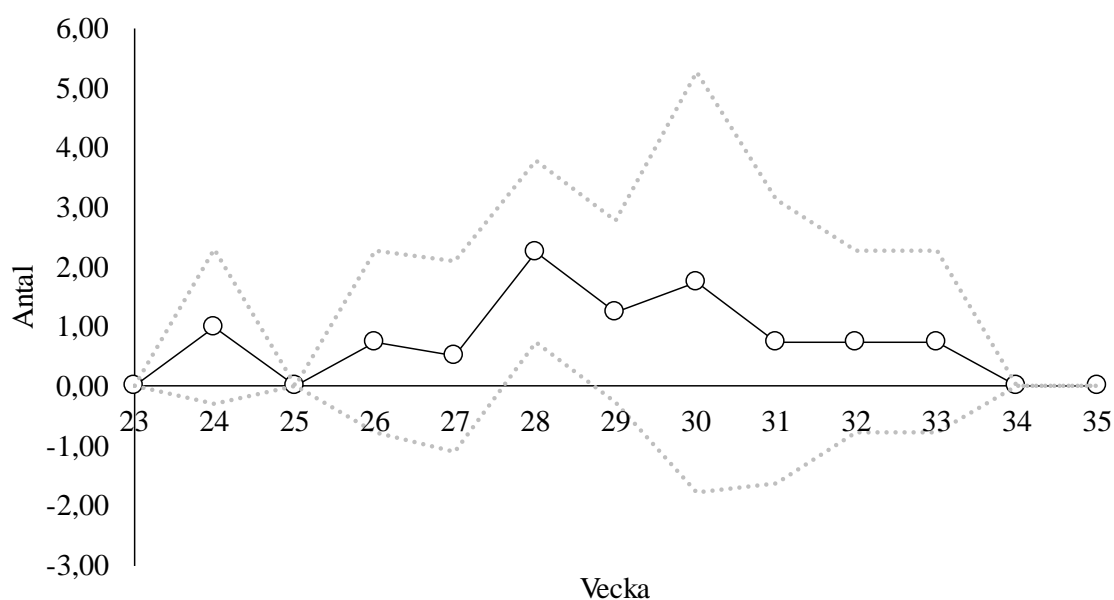


Figur 3: Sambandet mellan antalet infekterade träd och antalet skalbaggar året innan.

Resultaten från fångstfällorna visar att de vuxna almsplintborrarna flyger i juni till augusti och tenderar att vara fler i juli månad, dock inte signifikant (Tabell 2, Figur 4).

Tabell 2. Antalet flygande almsplintborrar åren 2013 till 2016 under veckorna 23 till 24 (LifeELMIAS 2015, Annex A4).

| År | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2013 | - | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2014 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 2015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 2016 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summa | 0 | 4 | 0 | 3 | 2 | 9 | 5 | 7 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 |



Figur 4: Medelantal almsplintborrar per år och vecka markerat med cirklar med heldragna linjer emellan. Streckade linjer anger 95% konfidensintervall. ANOVA visar ingen signifikant skillnad mellan veckorna vilket gör att inga belagda slutsatser kan dras om vilka veckor som skalbaggar eventuellt flyger i större mängder.

2.3 Metoder som testats i LifeELMIAS för att bekämpa almsjukans spridning

Almsjuka började bekämpas på Gotland innan LifeELMIAS projektet startade, redan året efter upptäckt. Bekämpningen går ut på att eliminera eller åtminstone minska sjukdomsspridningen. Följande metoder har man arbetat med:

- avverkning och destruering av sjuka almar och riskträd,
- behandling av stubbar med EcoPlug,
- behandling av stubbar med infektion av vednedbrytande svamp,
- vaccinering med *Verticillum*,
- utbildat berörda och allmänhet om almsjukan och vad man kan göra,
- upprättat restaureringsplaner för skyddsvärda områden, samt
- arbetat med att upprätta ett kontrollprogram för fortsättning efter LifeELMIAS.

Avverkning och destruering av sjuka almar och riskträd har varit den viktigaste insatsen (Fransson 2014, LifeELMIAS 2017). Infekterade träd letas upp under årliga inventeringar, se även ovan om almsjukan utbredning. Alla almar som har bedömts vara smittade har avverkas och destrueras. Även riskträd, d v s träd som står nära sjuka träd och därmed löper stor risk att inom kort infekteras via rotkontakt har avverkats. Inventeringen av drabbade träd har startat efter almsplintborrens svärmning och pågått fram tills träden börjat vintra in i september. Alla smittade träd och riskträd har avverkas innan april månads slut innan de nya kullarna av almsplintborre har kläckts. Almveden, ris och grenar har destruerats genom flisning och uppeldning i Visbys värmeverk. En efterstädning med eldning har gjorts på platsen för de almsjuka träden. Även efterkontroller har gjorts för att se så att inga träd, ved eller ris från sjuka träd har blivit kvarlämnade på platsen. För att minska risken för sjukdomsspridning under transporten till förbränningsstationen i Visby övergick man senare till att flisa veden direkt på plats och därefter transportera materialet till Visby där det bränts. Tidigare transporterades obearbetad ved vilket innebär en högre risk för spridning av sjukdomen under själva transporten.

För att ytterligare minska risken för spridning av almsjukan efter avverkning har stubbarna behandlats med Ecoplug (Menkis 2015). Ecoplug innehåller ett kemiskt bekämpningsmedel som innehåller det verksamma ämnet glyfosat. Ecoplug kan döda eller försvaga friska träd som har rotkontakt med de behandlade stubbarna. Dessa träd skulle potentiellt kunnat smittas genom rotkontakten med det almsjuka trädets rötter. Pluggande slogs ner i nyborrade hål i stubbarna

direkt efter avverkning. De träd i närheten som blivit påverkade av Ecoplug avverkades följande år för att undvika att de fungerar som ynglingsplats för almsplintborrharna och potentiellt sprider smitta. Det har dock gjorts undantag från pluggningen för vissa lokaler där det funnits KRAV-odlingar eller av andra specifika skäl. Dessa stubbar har istället avbarkats eller bränts med gasolbrännare.

En annan metod för att förhindra att smittade skott skjuts upp från stubbarna har testats som innebär att stubbarna artificiellt har infekteras med vednedbrytande svampar (Menkis m.fl. 2017). Två arter av effektivt vednedbrytande svampar, *Stereum hirsutum* och *Chondrostereum purpureum*, ympades in på stubbar och jämfördes med en kontrollgrupp som inte ympades. Inympning gjordes genom att en homogen gel av svampmycel applicerades en gång om året. Metoden visade sig dock ha en obetydlig eller ingen effekt på för att kunna avdöda stubbarna och vara användbar för bekämpning av almsjukan.

För att trigga almträdens försvarsmekanismer mot almsjukesinfektion kan de vaccineras med svampen *Verticillium* (Sheffer m.fl. 2008) På marknaden finns produkten Dutch Trig®. Som innehåller isolatet *V. albo-atrum* WCS850 (Postma & Goossen-van de Geijn 2016). Detta är ett vaccin som varit registrerat i Europa sedan år 1992 och framtogs i Amsterdam under senare delen av 1980-talet. Vaccinet innehåller konidiesporer av *Verticillium* i destillerat vatten. Det ska injiceras årligen på våren vid bladsprickningen. Efter injektion väcks trädets försvarsmekanismer som sedan under växtsäsongen parerar almsjukan. Vaccinet måste ha injicerats i trädet innan det infekteras av almsjukan för att hinna bygga upp försvarsmekanismerna och vaccineringen måste upprepas varje år på individerna då svampisolatet inte överlever så länge i trädet. Vaccineringen är krävande och har därför mest använts på värdefulla stadsträd. På Gotland i projektet LifeELMIAS pågår ett vaccineringstest på två utvalda lokaler, Visborg 1:9 och Vamlingbo Prästgård 1:6. På lokalen Visborg 1:9 är det en hög förekomst av almsjuka medan det på Vamlingbo Prästgård är betydligt lägre. På respektive lokal vaccineras 100 utvalda trädindivider, som var friska från start, årligen från 2014 till 2017 och deras hälsa följs upp. Inga av träden bedömdes vara infekterade efter den senaste redovisade inspektionen 2016 (LifeELMIAS 2017, Annex C6).

För att undvika att infekterat timmer importeras till Gotland har LifeELMIAS varit i kontakt med Visby värmeverk med ägare GEAB, som tidigare tillfälligt importerade timmer från länder österut. Företaget har dock slutat med importen. I övrigt finns det inga företag som importerar

timmer i dagsläget. Kontakt har ändå tagits med ett 70-tal företag inom skogsindustrin som erbjudits utbildning om almsjukan och hur spridning kan förhindras. Sju företag tog sig an utbildningen. Tretton företag inom turistbranschen kontaktades också och tilldelades informationsmaterial. Informationskampanjer har också riktats till allmänheten via olika medier, informationsskyltar, informationsbroschyrer, nyhetstidningar, utbildningstillfällen mm. I dagsläget anses det därmed finnas en utbredd god kännedom om almsjukan och vad man kan göra för att förhindra dess spridning (LifeELMIAS 2017, Annex C7).

2.4 Litteraturstudie kring bekämpning av almsjuka

För att försöka stoppa almsjukan och dess verkningar så finns det fler olika vägar eller processer att ta till. Antingen (1) bekämpas sjukdomsorganismen direkt och man försöker ta död på den, eller så (2) ser man till att spridningen av sjukdomsorganismen förhindras, eller så (3) framkallar man resistens på olika sätt mot sjukdomen (Hubbes 1999), eller så kombinerar man flera olika metoder.

(1) Almsjukesvampen kan direkt bekämpas genom att injicera svampgift i almarnas kärlsystem. Idag används systematiska fungicider såsom tiabendazol eller propikonazol (Haugen & Stennes 1999, Kirisits, 2013), t ex produkten Arbotect 20-S (Syngenta Crop Protection, Inc., Greensboro, NC). Den används bl a kommersiellt i USA. En behandling kan hålla i tre år sedan behöver den upprepas (Sheffer m.fl. 2008). I Europa finns det restriktioner för användning av dessa svampgifter och de får vanligtvis inte användas av allmänheten. Metoden har ett antal svårigheter och nackdelar utöver att den medför spridning av gift i miljön. Behandlingen kräver precision och rätt förutsättningar, t ex att trädet inte har infekterats via rötterna, att trädet inte har skador som hindrar giftet att sprida sig. Det finns också risker för att trädet får cellskador av själva behandlingen. Almsjukesvampen skulle också kunna utveckla resistens mot giftet. Det är en dyr metod och är därmed inte applicerbart i större skala. Användningen av fungicider för bekämpning i skog har minskat i de flesta länder på grund av miljöskäl.

Det finns en annan öppning med biologisk kontroll av almsjukesvampen som dock befinner sig i forskningsstadiet. Det finns en slags virusliknande sjukdomsfaktorer bestående av dubbelsträngat RNA knutet till mitokondrier. Dessa kallas för d-faktorer (Sutherland & Brasier 1997). Om d-faktorn överförs till en frisk svamp kan det försöka sig där och åstadkomma en stark försvagning av svampens tillväxt. Det finns planer på att testa metoden på Nya Zeeland

(Ganley & Bulman 2016). Det finns dock en mängd frågor att lösa kring att artificiellt sprida genetiskt material i naturen.

(2) Den enskilda metod som hittills varit mest effektiv för bekämpning av almsjuka är destruktion av infekterade träd (de Bruin m.fl. 2013). Metoden eliminerar den huvudsakliga spridningen av sjukdomen via skalbaggar som använder sjuka och döende träd för sin reproduktion (Scheffer m.fl. 2008). Död ved, framförallt barken får inte heller ligga kvar efter fällning av träden. Det är viktigt att den infekterade veden förstörs ordentligt. Det har visat sig att enbart flisad ved med stor sannolikhet inte tar död på alla skalbaggar då ägg, larver och puppor är tillräckligt små för att ha stor sannolikhet att överleva flisningsprocessen (McCullough m.fl. 2007). Om den ved som flisas avbarkas innan flisning, minskar risken att flisen för med sig skalbaggar ändå betydligt. För att förhindra att smittan sprider sig till rötterna är det också viktigt att eliminera riskträd och rötter till stubbar, särskilt hos arter med stor förmåga till att skjuta rotskott, som lundalmen.

Metoden med destruktion av infekterade träd och riskträd kräver stora inventeringsinsatser för att hitta alla drabbade träd. Enligt Haugen (1998) kan man, om man upptäcker sjukdomen i tidigt stadium, istället hamla trädet hårt och hinna stoppa förloppet. Men denna metod kräver ännu större insatser och förmåga att upptäcka sjukdomen och risken att man missat att få bort all infekterad ved är stor. För att effektivisera sökandet efter infekterade träd skulle fjärranalysmetoder kunna användas. Inom fjärranalysområdet pågår mycket forskning och utveckling av olika tekniker (White m.fl. 2016), men det krävs fortfarande en hel del utveckling och anpassning för specifika uppgifter (Barnes m.fl. 2017). För att säkerställa och upptäcka om och vilka almsjuksvampar som förekommer lokalt kan molekylära DNA-metoder användas på prover från både träd och skalbaggar. För sådana analyser finns standardmetoder utvecklade (Kiritis 2013).

En annan metod för att stoppa skalbaggar som vektorer skulle kunna vara att kontrollera populationerna mer direkt. Detta har också testats. Under den första epidemin i Europa användes DDT för att eliminera förekomsten av skalbaggar (Scheffer m.fl. 2008). DDT är dock ett förbjudet ämne sedan 1960 av mycket goda skäl. Det finns även andra pesticider (Oghiakhe & Holliday 2011). Giftbekämpning är dock dyrt och svårt då trädkronor måste behandlas enskilt. Spridning av gifter in i naturen är ju också diskutabelt och det finns därför starka

restriktioner för deras användning i många länder. Idag övervakas förekomsterna av skalbaggar med hjälp av feromonfällor på många håll, t ex i Amsterdam (Hannunen & Marinova-Todorova 2016). Fällorna kan dock inte kontrollera populationerna och hålla dem på låg nivå. I södra England i East Sussex har man använt sig av fångstträd för att locka till sig splintborrarna och när de väl lagt ägg i trädet förstört det strax innan det är dags för de vuxna att flyga ut (de Bruin m.fl. 2013). Fångstträden har varit döende eller döda almar, ibland infekterade av almsjuka, som har lämnats kvar just för detta syfte. En stor risk med denna metod är att fångstträden glöms eller lämnas kvar på grund av resursbrist och därmed bidrar till extra stor spridning.

I förebyggande syfte kan man arbeta med den rumsliga utbredningen av alm (Kiritis 2013). Skalbaggarnas sökvägar efter föda ofta går längs med linjer. För städer rekommenderas t ex att inte plantera almar i stadens utkanter eller längs vägar och promenadstråk. För större grupplanteringar eller skogsplantering bör almar endast planteras mixade med andra trädarter och i låg andel.

(3) För att långsiktigt kunna bevara almar och framförallt hitta ersättningsträd för drabbade almar i stadsmiljöer och kanske även naturliga bestånd finns det flera projekt i världen som jobbar med att hitta och ta fram resistent almarter eller almhybrider. I Spanien pågår nu ett LIFE-projekt med målet att ta fram resistent genotyper (LIFE13 BIO/ES/000556) som i försök ska planteras utvalda områden. I resistent träd begränsas infektionen och sprids inte så mycket i trädet och träden kan i stort sett vara helt opåverkade (Smalley & Guries 2000, Santini m.fl. 2010). Med resistent träd skulle spridningen av sjukdomen minska på grund av detta, men när delar av träden eller hela träd dör kan de infekteras och underhålla sjukdomen. För att introduktionen av resistent träd ska var långsiktigt hållbart behöver man se till att det finns en hög grad av genetisk variation bland dessa almar för att det ska finnas anpassningsmöjligheter till förändrad miljö.

Det finns också tester med att inducera resistens hos enskilda träd, t ex genom att artificiellt införa *O. ulmi* och *O. novo-ulmi* i almar. Behandlingen har visat sig ge mindre sjukdomssymptom om en mix av båda använts (Scheffer et al., 1980, Hubbes 2004). För att trigga almträdens egna försvarsmekanismer mot almsjukesinfektion kan de vaccineras med svampen *Verticillium* (Sheffer m.fl. 2008, Postma & Goossen-van de Geijn 2016), t ex med den kommersiella produkten Dutch Trig®. Vaccineringen är ekonomiskt krävande och måste

upprepas varje år. Metoden har därför mest använts på värdefulla stadsträd och kan fungera som ett komplement till andra insatser. Den fungerar inte heller på redan infekterade träd eller träd som infekterats via rötterna (Postma m.fl. 2014).

Här nedan följer några kort beskrivna exempel från hur man hanterat almsjukan i världen.

Finland

Finland är idag det enda land i EU som inte har etablerad almsjukan. Sjukdomen upptäcktes där 1963 men utrotades snabbt genom att fälla och förstöra de insjuknade träden (Hannunen och Marinova-Todorova 2016). Detta var troligen möjligt på grund av avsaknad av effektiva vektorer. Vektorerna finns nära i flera länder men har trots detta inte spridit sig till Finland ännu. Troliga orsaker är låga utspridda tätheter av almar samt klimatfaktorer.

Storbritannien

I Storbritannien gjordes relativt tidigt insatser för att bekämpa sjukdomen när den upptäcktes i början på 1960-talet (Gibbs 1978). Men i slutet på 1970-talet hade den spridit över i stor sett hela England och Wales. Det har diskuterats om det kunde ha gjorts mer effektiva insatser, tidigare och nationellt samordnade, för att stoppa sjukdomen (Tomlinson & Potter 2010). Harwood m.fl. (2011) kommer dock fram till att det inte skulle ha hjälpt. De modellerade utbrottet och testade vad olika åtgärder skulle ha kunnat åstadkomma men kunde inte hitta några realistiska metoder som var bättre med mer goda långsiktiga effekter. I jämförelse med Finland var almtätheten betydligt högre (Hannunen och Marinova-Todorova 2016) och klimatet varmare. Idag är sjukdomen utbredd i landet och någon stor nationell bekämpning finns inte. Lokalt så har man på vissa ställen lyckats hålla sjukdomen nere t ex Brighton & Hove (Harwood m.fl. 2011). Detta område har ett geografiskt lyckosamt läge som naturligt begränsar invandring och spridning av sjukdomsspridande skalbaggar och bekämpning runt omkring. Sjukdomen kommer och går dock i cykler. I områden där det finns stora äldre almar bevarade riskerar man att, om smittan slår till, få ett snabbt och stort utbrott som blir omöjligt för lokala bekämpare att kunna stoppa. I övriga delar av landet finns det fortfarande alm men den är ung, då förnyringen fortfarande fungerar med rotskott och fröförnyring. Dessa små, unga träd kan dock inte hålla så stora populationer av skalbaggar och underhålla sjukdomsspridningen på samma sätt som de stora äldre almarna.

Nederländerna

I Nederländerna infördes ett nationellt kontrollprogram i slutet på 1970-talet (Hannunen & Marinova-Todorova 2016). Då hade sjukdomen redan spridit sig och tagit död på hundratusentals almar. Programmet innebar övervakning och nertagning och destruktion av sjuka och döda almar. Destruktionen skedde genom uppeldning, nedsänkning i vatten eller avbarkning. Andelen träd som smittades sjönk kraftigt. Det nationella programmet upphörde 1992 och lades ut på lokala myndigheter. Idag finns program i Amsterdam och de två nordliga provinserna Friesland och Groningen. Den årliga förlusten av träd är i dessa områden nere under 0,5%. I Amsterdam lägger man årligen 930 000 euro på inventering och destruktion av almsjuka träd samt återplantering.

Nordamerika

I USA upptäcktes almsjuka 1930 i Ohio (Hannunen & Marinova-Todorova 2016). Därifrån spred sig smittan snabbt i östra USA och 1979 hade 75% av almarna dött. Ett program upprättades i USA för att utrota almsjukan men avbröts i och med andra världskriget (Gibbs, 1978). I hela nationen har det spenderats drygt 90 miljoner euro per år för att ta ner sjuka och döda almar. Och almen har i stort förlorat sin plats inom skogsindustrin.

I Kanada upptäcktes sjukdomen på 1940-talet (Hannunen och Marinova-Todorova 2016). Det finns nu almsjukan i alla stater utom Alberta och British Columbia. I Alberta har myndigheterna ett övervakningsprogram till skillnad mot British Columbia som inte har något officiellt program. Att dessa två stater klarat sig ifrån almsjukan skulle kunna bero på det överlag kalla klimatet. I Quebec City och Manitoba finns kontrollprogram som har lyckats hålla dödligheten nere på 2%. I Manitoba har man spenderat ca 1 miljon euro per år.

Nya Zeeland

Efter att upptäckt *S. multistriatus* och *O. novo-ulmi subsp. americana* i Auckland 1989 så upprättades ett rigoröst kontrollprogram (Gadgil m.fl. 2000, Ganley & Bulman 2016). Man misstänker att smittan kom in via packmaterial kring gods vid ett enda tillfälle från Europa. Programmet innefattade inventering av alla kända almträd tre gånger under vektorns flygsäsong, fällning och destruktion med bränning av alla infekterade träd, samt övervakning av *S. multistriatus* med feromonfällor för att upptäcka eventuella nya angripna områden. I ett senare stadium ingick också avgrävning av rötter för att förhindra rotspridning.

Sjukdomsspridningen kunde hejdas, men inte utrotas (Gadgil m.fl. 2000, Scheffer m.fl. 2008, Harwood m.fl. 2011). Almsjukan har hållit sig inom Auckland med ett undantag för året 1993. Då fann man några infekterade träd 350 km från Auckland som snabbt togs ner och destruerades (Ganley & Bulman 2016). Inga skalbaggsvektorer eller sjuka träd har hittats i det området sedan dess. Nationellt stöd för kontrollprogrammet har dock upphört. Noteras bör att alm inte är naturligt förekommande på Nya Zeeland utan inplanterade.

2.5 Olika åtgärders kostnader

Tabell 3 visar de kostnader som LifeELMIAS projektet haft hittills för olika åtgärder kring almsjukan. Värderna har normaliserats, t ex per år eller per träd, för att kunna göra jämförelser samt att göra en beräkning av framtida kostnader för bekämpning.

För att hålla sjukdomsspridningen i schack med inventering av almar, upptäckt och destruktion av träd, riskträd och stubbar (LifeELMIAS 2017, Aktivitet A3, C2, C3 och C4) har det under fyra år kostat nära 20 miljoner kronor. Beräkningen är gjord på de summor som angetts i respektive aktivitet och normaliserats per träd eller år. Totalt antal fällda och destruerade träd under tre säsonger uppges vara 13 410 st. För samma kostnad hade det bara varit möjligt att skydda 5 200 träd med vaccinering varje år under de fyra åren. Det är 5 promille av det gotländska almbeståndet. Övriga träd hade haft mycket hög risk att bli smittade av almsjukan.

Från och mer år 2009 har antalet almar som drabbats av sjukdom inte ökat nämnvärt. I medeltal insjuknar ca 3 000 träd per år. Genom att fortsätta bekämpning med inventering och destruktion av smittade träd, stubbar och riskträd (LifeELMIAS 2017, Aktivitet C2, C3 och C4) kanske den nivån kan hållas. Kostnaden per år för upptäckt av sjuka träd och destruktion av 3000 träd och deras stubbar kan uppskattas till ca 4.2 miljoner kronor. Utbildning av berörda och kontroll av införsel är i sammanhanget små kostnader ca 30 000 kr per år. Inventering och övervakning av almsplintborrens populationer har kostat ca 40 000 kr per år. För att få säkrare data skulle den aktiviteten dock behöva utökas.

Tabell 3: Kostnader hittills för bekämpning av almsjuka i LifeELMIAS. Kostnaden har räknats om från euro till svenska kr där 1 euro=9,5 kr. Ytterliga beskrivning av aktiviteterna finns i Life ELMIAS midterm och progress report (2015 respektive 2017).

| Åtgärd | Total kostnad (kr) | Normaliserad kostnad (kr) |
|--|--------------------|---------------------------|
| Alminventering (Aktivitet A3, 4 år) | 1 523 572 | 380 893 per år |
| Inventering av almsplintborre (Aktivitet A4, 4 år) | 107 379 | 26 845 per år |
| Almsjuka i almsplintborre (Aktivitet A6, 4år) | 759 326 | 189 831 per år |
| Trädinventering av almsjuka (Aktivitet C2, 4 år) | 4 146 722 | 1 036 680 per år |
| Destruktion av träd (Aktivitet C3, 13 410 st) | 13 015 057 | 971 per träd |
| Avdödning av stubbar (Aktivitet C4, 14 511 st) | 1 056 457 | 73 per stubbe |
| Biologisk bekämpning med svamp (Aktivitet C5, 250 st) | 452 685 | 1 811 per stubbe |
| Vaccination (Aktivitet C6, 100 st, 3 år) | 298 006 | 993 per träd och år |
| Kontroll av import och nyinvasion (Aktivitet C7) | 51 395 | 12 849 per år |
| Övervaka bekämpningseffekterna (Aktivitet D2) | 563 607 | 140 902 per år |
| Utbildning för intressenter och allmänhet (Aktivitet E9) | 74 518 | 18 630 per år |

3. DISKUSSION

3.1 Har projektet lyckats stoppa eller begränsa spridningen av almsjuka?

Med största sannolikhet har bekämpningen av almsjukan på Gotland lyckats bromsa smittspridningen, och sedan 2009 hållit den på ganska stabil nivå, med vissa variationer mellan åren. En intressant jämförelse kan göras med Öland där sjukdomen kom in ungefär samtidigt som på Gotland. Där gjordes inga samlade inventeringar och bekämpningsinsatser. Idag säger Tommy Knutsson Vice ordförande för Ölands Botaniska förening följande (muntligen, Knutsson 2017):

”Det senaste två åren har södra Ölands almbestånd, inklusive det kanske allra värdefullaste i Västerstads almlund slagits ut helt. Mittlandets almar slogs ut något tidigare.”

På Gotland har smittan spridit sig till i stort sett alla delar av ön, men endast 3% av Gotlands en miljon träd har insjuknat i dagsläget och inga hela bestånd har slagits ut. Det kan jämföras med Storbritannien där över 80% av landets 30 miljoner almar slagits ut. Det är förstås lättare att överblicka och ha kontroll över ett mindre område som Gotland, 1,3 % av Storbritanniens yta. På Gotland är dock almtätheten tre gånger så stor (334 km² mot 96 km², Hannunen & Marinova-Todorova 2016), vilket skulle kunna innebära att almsjukan kan sprida sig snabbare, generellt sett. Men spridningshastigheten beror ju även på faktorer som den rumsliga fördelningen av almarna och klimat.

3.2 Har ett alarm- och kontrollprogram etablerats?

När denna rapport skrivits finns inte något väldefinierat kontrollprogram upprättat. Frågan är dock, som jag uppfattar det, den största frågan inom LifeELMIAS projektet nu. Inom projektet jobbar man hårt för att hitta möjliga lösningar på ansvarsfrågor och finansieringsmöjligheter för en fortsatt bekämpning av almsjukan (LifeELMIAS 2017, Annex F8a och F8b). Målsättningen med ett fortsatt kontrollprogram skulle inte vara att utrota sjukdomen på Gotland, då man anser att det inte är möjligt längre, utan att hålla sjukdomsutbredningen på en låg nivå. Då kan man samtidig arbeta med andra lösningar för att ersätta almarna där så är relevant samt bevara den biologiska mångfalden. Det man också uppmärksammar är att arbetet behöver ske i ett samarbete mellan myndigheter, entreprenörer, skogsägare och lokalbefolkning. Skogsstyrelsen själv har inte de resurser som skulle krävas.

3.3 Kan friska almbestånd i Natura 2000 områden säkras?

Om bekämpningen på Gotland upphör helt kommer Natura 2000 områden med största sannolikhet att drabbas lika hårt som andra områden. För att minska de ekonomiska kostnaderna med att bekämpa sjukdomen på hela ön skulle man kunna tänka sig att bekämpningsinsatser sker enbart med målet att skydda almbestånden i Natura 2000 områdena. Studier visar att lokalt isolerade områden med buffertzoner runt sig där bekämpning sker kan möjliggöra att sjukdomen hålls utanför eller på mycket låga nivåer. Med hjälp av ekologisk modellering där bland annat geografi kombineras med spridningsdynamik skulle det kunna vara möjligt att utveckla effektiva strategier för bekämpning kring Natura 2000 områdena (Harwood m.fl. 2011, Filipe m.fl. 2012). För att kunna säga mer om möjligheterna och vilka eventuella strategier som är bäst behövs det utvecklas en modell anpassad för de Gotländska förhållandena, vilket inte är inkluderat i detta uppdrag.

3.4 Vad kostar bekämpningen av almsjukan?

Om man tittar på vad det har kostat hittills så kommer den fortsatta kostnaden att ligga mellan 4-5 miljoner kr per år. Och det kommer att vara ett mycket långsiktigt åtagande. Det finns idag inget som pekar på att det skulle vara möjligt att utrota sjukdomen från Gotland. En fortsatt bekämpning av almsjukan på hela Gotland med inventering och destruktion av smittade träd, stubbar och riskträd beräknas kosta 4,2 miljoner kronor per år beräknat på att 3000 träd och stubbar destrueras årligen (Aktivitet C2, C3 och C4 i tabell 3). Utöver detta tillkommer eventuella kostnader för övervakning av almsplintborre, fortsatt information och utbildning till berörda och uppföljning av resultaten (Aktivitet A4, D2 och E9 i tabell 3). Om vi räknar på samma kostnader per år som varit hittills blir det ca 0,2 miljoner kr.

3.5 Vad händer om bekämpningen upphör helt?

Om bekämpningen upphör helt på Gotland kommer sjukdomen med största sannolikhet att sprida sig mycket snabbt och föra Gotland till det tillstånd som Öland befinner sig i idag, dvs en mycket stor andel av almträden kommer att smittas och dö. En jämförelse kan även göras med England där minskade insatser ledde till att antal infekterade träd ökade från 6% till 62% inom fem år (Gibbs 1978). Almen kommer likväl inte att dö ut helt. En föryngring, med uppskjutande skott och fröförökningar, kommer säkerligen ske, som det gör i England. Träden kommer dock inte kunna växa sig stora och gamla innan de drabbas av sjukdomen. Andra trädarter kommer nog delvis ta över utrymmet och förändra habitatet.

3.6 Hur påverkas den biologiska mångfalden av almsjukan och dess bekämpning?

När det gäller påverkan på den biologiska mångfalden är det omöjligt att dra några säkra slutsatser. Det vi vet är att habitatet och förutsättningar för flera olika arter kommer att förändras där almsjukan härjar. Hur det exakt slår mot den totala biodiversiteten går inte att förutsäga utifrån den kunskap som finns. Sjuka almar och död ved som blir kvar i naturen kan ge större utrymme för arter som lever av denna resurs, vilket förstås innebär både möjligheter och risker för biologisk mångfald. Idag rensas av förklarliga skäl den döda veden från sjuka almar och riskträd bort helt i bekämpningssyfte. Det påverkar också den biologiska mångfalden. Arter som är helt eller till största delen beroende av äldre almar kommer att förlora det mesta av sina habitat, t ex vissa lavararter (Fritz 2008). Större skogsområden i närheten av hävdade marker och där det finns träd med lös bark kan bidra till ökad mängd av några olika fladdermusarter (Ahlén & Ahlén 2015). Barbastell är mest specialiserad på att använda död

bark. Almsjukan kan här motsägelsefullt bidra till ökande populationer av Barbastell under en period genom att bidra med fler döende och döda träd med lös bark. Detta har kunnat observeras i Sydsverige.

Att använda gifter eller biologisk kontroll i storskalig bekämpning kan ibland vara effektivt men medför även svårigheter och risker för den biologiska mångfalden. Kemiska bekämpningsmedel kan ofta slå mot många andra organismer utöver den invasiva arten eller dess vektor om den är i fokus för bekämpningen. Arter som bekämpas kan med tiden utveckla resistens och därefter öka än mer. Biologisk kontroll innebär ofta att man använder sig av en naturlig fiende som finns i landet men även här kan den naturliga fienden påverka andra arter negativt. Och det finns också stora risker att en introducerad art som man inte önskar ha kvar efter bekämpning är omöjlig att få bort.

Att ersätta de vilda almarna med kloner av resistent träd är kanske i första hand en åtgärd som kan göras i städer eller i stadsnära planteringar (Kirisits 2013). Värdet som skogs- och produktionsträd är begränsat. Om man skulle ersätta naturskogar med resistent kloner innebär detta risker att förlora den genetiska mångfald och lokala anpassning som finns bland de vilda almarna. Det medför också sämre förmåga för arten till anpassningar vid framtida miljöförändringar. Än så länge är framtagning av lämpliga träd fortfarande i forsknings- och försöksstadiet.

4. SLUTSATS

Om Gotland ska behålla sina stora almbestånd, eller minst sina Natura 2000 områden, med äldre almträd krävs ett långsiktigt kontrollprogram med tillräckliga resurser för att kunna följa detta rigoröst. Att göra uppehåll ett år eller fler i bekämpningen skulle vara förödande. Med hjälp av ekologisk geografisk modellering skulle man kunna undersöka olika bekämpningsmöjligheter och deras verkan och prognosticera effekter av olika metoder och andra faktorer inverkan. Nya möjligheter finns också inom räckhåll för att använda sig av fjärranalys vid inventeringarna. Både ekologisk modellering och fjärranalys kräver ett utvecklingsarbete, men skulle långsiktigt kunna effektivisera arbetet och minska kostnaderna.

Ser man på hur andra länder hanterat kontrollprogram så har man i de flesta fall övergått från nationella insatser med inriktning på att utrota sjukdomen till ett lokalt ansvar och initiativ för

att hålla spridningen nere. Vanligtvis handlar insatserna om att rädda träd i urbana miljöer. Övergången från nationella program till lokala har kostat i en ökad spridning av sjukdomen, då resurserna förmodligen minskat och att samordningen fungerat sämre, men kanske vunnit på vissa ställen med ett större engagemang från lokalbefolkning och lokala intressenter.

Om bekämpningen upphör helt på Gotland kommer almhabitatet att förändras. Almen som art dör inte ut helt men den kommer till största delen bestå av unga träd och buskartade bestånd. Arter som är beroende av äldre almar försvinner medan andra arter som är delvis beroende minskar. Ökad mängd död ved från sjuka och döda almar kommer dock i sin tur att öka mångfalden av vedlevande arter vilket i sin tur bland annat påverkar fågelfaunan.

5. REFERENSER

- Ahlén I & Ahlén J (2015) Fladdermusinventering inom projektet LifeELMIAS, Gotland 2014. Inventering av tio Gotländska ängen. Rapport, *Naturcentrum AB*.
- Barnes C, Balzter H, Barrett K, Eddy J, Milner J S & Suárez J C (2017) Individual tree crown delineation from airborne laser scanning for diseased Larch forest stands. *Remote Sensing* 9 (3), 231
- Black-Samuelsson S. & Ghelardini L (2007) Fenologi hos alm visar samband med almsjuka. *FAKTA SKOG Rön från Sveriges Lantbruksuniversitet* 14.
- Brasier CM & Gibbs JN (1973) Origin of the Dutch elm disease in Britain. *Nature* 242, 607-609.
- Brasier CM (1991). *Ophiostoma novo-ulmi* sp. nov., causative agent of the current Dutch elm disease pandemics. *Mycopathologia*, 115, 151-161.
- Brasier C M (1996) New horizons in Dutch elm disease control. Edinburgh. Report on forest research, UK: *Forestry Commission*.
- Crooks J A (2002) Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. *Oikos* 97, 153-166.
- de Bruin A, Knight S, Cinderby S & Jones G (2013) Dutch elm disease management in East Sussex. Lessons for other tree health management schemes. Final Report. Stockholm Environment Institute – York, Environment Department, University of York, Heslington, York, YO10 5DD, UK ~ *Food and Environment Research Agency, Defra*
- Filipe J A N, Cobb R C, Meentemeyer R K, Lee C A, Valachovic Y S, Cook A R, Rizzo D M & Gilligan C A (2012) Landscape epidemiology and control of pathogens with cryptic and long-distance dispersal: sudden oak death in northern Californian forests. *PLoS Computational Biology* 8(1): e1002328.
- Fransson T (2014) Almens vara eller icke vara - om almsjukan och resistens. Kandidatarbete i biologi. *SLU, Institutionen för växtförädling*.
- Fritz Ö (2008) Unik lavflora i alléer vid Sperlingholm i Halland. *Svensk botanisk tidskrift* 102 (1), 5-18.

- Gadgil P D, Bulman L S, Dick M A & Bajn J (2000) Dutch elm disease in New Zealand. In: Dunn C P (eds) *The Elms*. Springer, Boston, MA.
- Ganley R J & Bulman L S (2016) Dutch elm disease in New Zealand: impacts from eradication and management programmes. *Plant Pathology* 65, 1047–1055.
- Ghelardini L (2007) Bud burst phenology, dormancy release and susceptibility to Dutch elm disease in elms (*Ulmus* spp.). Doctor's dissertation. *Swedish University of Agricultural Sciences*, Uppsala.
- Gibbs J N (1978) Intercontinental epidemiology of Dutch elm disease. *Annual Review of Phytopathology* 16, 287–307.
- Hannunen S & Marinova-Todorova M (2016) Pest risk assessment for Dutch elm disease. *Evira Research Reports* 1/2016.
- Harwood T D, Tomlinson I, Potter C A & Knight D (2011) *Plant Pathology* 60, 545–555.
- Haugen L (1998) How to identify and manage Dutch elm disease. *USDA Forest Service Publication* NA-PR-07-98.
- Haugen L & Mark Stennes M (1999) Fungicide injection to control Dutch elm disease: understanding the options. *Plant Diagnostic Quarterly* 20 (2) 29–38.
- Hubbes M (1999) The American elm and Dutch elm disease. *The Forestry Chronicle* 75 (2), 265–273.
- Hubbes M (2004) Induced resistance for the control of Dutch elm disease. *Invest Agrar: Sist Recur For* 13 (1), 185–196
- Höjer O & Hultengren S (2004) Åtgärdsprogram för särskilt skyddsvärda träd i kulturlandskapet. Rapport 541, *Naturvårdsverket*.
- Kiritis T (2013) Dutch elm disease and other Ophiostoma diseases. In: *Infectious Forest Diseases*, Gonthier P & Nicolotti G (eds), CAB International.
- Lea J & Brasier C M (1983) A fruiting succession in *Ceratocystis ulmi*. *Transactions of the British Mycological Society* 80, 381–387.
- LifeELMIAS (2015) Midterm report. Covering the project activities from 01/07/2014 to 30/09/2015
- LifeELMIAS (2017) Progress report. Covering the project activities from 01/07/2014 to 01/10/2015 to 28/02/2017.
- Masuyaa H, Brasier C, Ichihara Y, Kubono T and Kanzakia N (2010) First report of the Dutch elm disease pathogens *Ophiostoma ulmi* and *O. novo-ulmi* in Japan. *Plant Pathology* 59, 805
- McCullough D G, Poland T M, Cappaert D, Clark E L, Fraser I, Mastro V, Smith S, Pell C (2007). Effects of chipping, grinding, and heat on survival of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera, Buprestidae), in chips. *Journal of Economic Entomology* 100 (4), 1304–1315.
- Meurisse N & Pawson S (2017). Quantifying dispersal of a non-aggressive saprophytic bark beetle. *PLoS ONE* 12(4), e0174111.
- Menkis A, Östbrant I-L, Wågström K, Vasaitis R (2016a) Dutch elm disease on the island of Gotland: monitoring disease vector and combat measures. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 237–241.

- Menkis, A., Östbrant, I.-L., Davydenko, K., Bakys, R., Balalaikins, M., Vasaitis, R. (2016 b) Scolytus multistriatus associated with Dutch elm disease on the island of Gotland: phenology and communities of vectored fungi. *Mycological Progress* 15: 1-8.
- Menkis A, Vasaitis R, Östbrant I-L, Pliura A & Stenlid J (2017) Tests with wood-decay fungi to control sprouting from cut stumps infected by Dutch elm disease. *Baltic Forestry* 23 (1), 270-273.
- Oghiakhe S & Holliday N J (2011) Evaluation of insecticides for control of overwintering Hylurgopinus rufipes (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology* 104 (3), 889-94.
- Osborne P (1985) Some effects of Dutch elm disease on the birds of a Dorset dairy farm. *Journal of Applied Ecology* 22, 681–691.
- Peace T R (1960) The status and development of Elm disease in Britain. London, UK: HMSO, *Forestry Commission Bulletin* 33, 1–44.
- Postma J, Goossen-van de Geijn H M & Schraven R (2014). Biological control of Dutch elm disease. In: *Proceedings of the IOBC conference Biocontrol of Plant Diseases*. - IOBC-WPRS, IOBC conference Biocontrol of Plant Diseases: XIII Meeting of the working group biological control of fungal and bacterial plant pathogens, SLU, Uppsala, Sweden, 2014-06-15/ 2014-06-18.
- Postma J & Goossen-van de Geijn H (2016) Twenty-four years of Dutch Trig® application to control Dutch elm disease. *BioControl* 61, 305–312.
- Santini A, Pecori F, Pepori A L, Ferrini F, Ghelardini L (2010) Genotype×environment interaction and growth stability of several elm clones resistant to Dutch elm disease. *Forest Ecology and Management* 260, 1017–1025.
- Sheffer R J, Voeten J G W F & Guries R P (2008) Biological control of Dutch elm disease. *Plant Disease* 2(2), 192-200.
- Skogsstyrelsen 2017. Hemsida <https://www.skogsstyrelsen.se/lifeelmias/om-projektet/> 2017-10-31.
- Smalley E B & Guries R P (2000) Asian elms: sources of disease and insect resistance. In: *The elms: breeding, conservation and disease management*, Dunne C P (ed) Kluwer Academic Publishers; Boston; MA; USA, 215-230.
- Smith K F, Behrens M D & Sax D F (2009) Local scale effects of disease on biodiversity. *EcoHealth* 6, 287–295.
- Sundberg S, Aronsson M, Dahlberg A, Hallingbäck T, Johansson G, Knutsson T, Krikorev M, Lönnell N & Thor G (2015) Nytt i nya rödlistan. *Svensk Botanisk Tidskrift* 109, 3–4.
- Sutherland M L & Brasier C M (1997) A comparison of thirteen d-factors as potential biological control agents of Ophistoma nova-ulmi. *Plant Pathology* 46, 680-693.
- Tomlinson I & Potter C (2010) ‘Toolittle, toolate’ ? Science, policy and Dutch elm disease in the UK. *Journal of Historical Geography* 36, 121–131.
- Webber J F (2004) Experimental studies on factors influencing the transmission of Dutch elm disease. *Invest Agrar: Sist Recur For* (2004) 13 (1), 197-205
- White J C, Coops N C, Wulder M A, Vastaranta M, Hilker T & Tompalski P (2016) Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42, 619–641