

## “Kan granbarkborreangrepp på skog upptäckas i tidsserier med radarmätningar?” ref. 19/20-6 / 114-5

### Sammanfattning

Mätningar från radartornet (BorealScat) i Remningstorp har analyserats för att undersöka om angrepp av granbarkborrar (*Ips typographus* (L.)), som inträffade efter den varma sommaren 2018, kan upptäckas. Tidsserier av mätningar från radartornet tillsammans med optiska bilder från högupplösta övervakningskameror och satellitbilder har använts i projektet. Analysen visar att angreppen ger en tydlig minskning av radarsignalen och att minskningen är proportionell mot graden av angrepp i det drabbade skogsområdet. De lägsta radarfrekvenserna (P-band; frekvens 430 MHz och våglängd 0,7 m) visar även en minskning av bakåtspridningen i ett tidigt skede. Angreppen kunde även upptäckas tidigt i de optiska bilderna. Resultaten från projektet visar att både högupplösta optiska satellitbilder och satellitradarbilder (SAR, ”synthetic aperture radar”) potentiellt kan användas för tidig upptäckt av granbarkborreangrepp.

### 1. Bakgrund

Hildur och Sven Wingquists stiftelse för skogsvetenskaplig forskning har tilldelat Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap, ett forskningsbidrag om 375 tkr för att genomföra en studie om granbarkborreangrepp på skog kan upptäckas i tidsserier med radarmätningar. Projektet genomfördes under perioden januari 2020 – januari 2021.

I projektet deltog:

- Professor Lars Ulander (projektansvarig) och Postdoktor Albert Monteith, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap, Göteborg
- Docent Johan Fransson (medsökande) och Docent Henrik Persson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå
- Skogskonsulent Jonas Dehlén, Skogsstyrelsen, Skövde

### 2. Introduktion

Det är viktigt att tidigt upptäcka ett angrepp av granbarkborrar för att begränsa spridning och skador på intilliggande skog [1]. År 2018 upplevde Sveriges skogar den varmaste sommaren på mycket lång tid. På grund av torkan var det många träd som fick ett nedsatt försvar mot skadeangrepp. Detta resulterade i stora skador på skogen genom angrepp av barkborrar. Många skogsbestånd i Remningstorp påverkades, bl.a. det bestånd där radartornet BorealScat är lokaliserat. Detta gav en unik möjlighet att undersöka hur angrepp påverkar radarsignalen. En tillförlitlig koppling mellan angreppen och radarmätningarna kan göra det möjligt att i framtiden använda satellitradar med hög upplösning (SAR, ”synthetic aperture radar”) för tidig upptäckt.

Sedan 2017 har det gjorts mätningar från BorealScat av intilliggande skogsbestånd, vilket resulterat i den längsta högupplösta radartidsserien av en skog någonsin [2, 3]. Mätningar görs var 5 min. Radarutrustningen är konstruerad för att mäta skogen med olika frekvensband: P-band (430 MHz; våglängd 0,7 m), L-band (1,3 GHz; våglängd 0,2 m) och C-band (5,5 GHz; våglängd 0,05 m). Radarn kan separera reflektioner från olika höjder över marken och kan sända och ta emot med både vertikal (V) och horisontell (H) polarisation. Dessa egenskaper gör att radarn kan se olika strukturer i skogen (barr, grenar, stammar, mark) och avslöja effekterna av olika fenomen (t.ex. vatteninnehåll, regn, vind, markfuktighet etc.). Det huvudsakliga syftet

med BorealScat är att studera hur radarmätningarna varierar över tid och hur dessa variationer är kopplade till miljö- och väderförhållanden. En väderstation och andra fuktrelaterade mätinstrument finns även installerade på och i radartornets närhet.

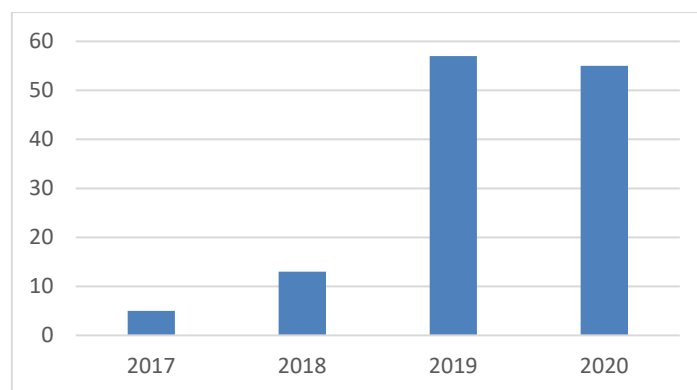
### 3. Syfte

Huvudsyftet med projektet är att undersöka hur ett angrepp av granbarkborrar påverkar radarmätningar av skog och om effekterna av angreppet kan upptäckas i ett tidigt skede med hjälp av radar. Projektet har inkluderat mätningar av skogen från radartornet BorealScat under drygt tre år, installation av nya dendrometrar och två skogsinventeringar. Dendrometrarna mäter små förändringar i stamradie, vilka visar dagliga fluktuationer under växtsäsongen, tillväxt av nya årsringar och att vatten i stammen fryser på vintern. Dessa variationer är starkt kopplade till vatteninnehållet i stammarna, som i sin tur påverkas av angrepp från barkborrar.

### 4. Data

#### Skogsinventeringar

Två skogsinventeringar genomfördes i projektet: en i juli 2020 och den andra i oktober 2020. Vid varje tillfälle klassificerades alla 465 träd intill radartornet som *levande*, *mindre granbarkborreangrepp men vitalt*, *större granbarkborreangrepp* och *döende* eller *dött* träd. Figur 1 visar antalet träd som dog under respektive år (2017-2020) enligt inventeringarna.



Figur 1. Antal döda träd p.g.a. angrepp från granbarkborrar per år i skogsbeståndet intill radartornet enligt inventeringar utförda under år 2020.

#### Dendrometrar

Tre dendrometrar (finansierades av ett tidigare projekt från Hildur och Sven Wingquists stiftelse, ref. 18/19-5/110-5) installerades på tre olika träd i september 2019. Sex nya dendrometrar köptes in och installerades i september 2020.

#### Övervakningskameror

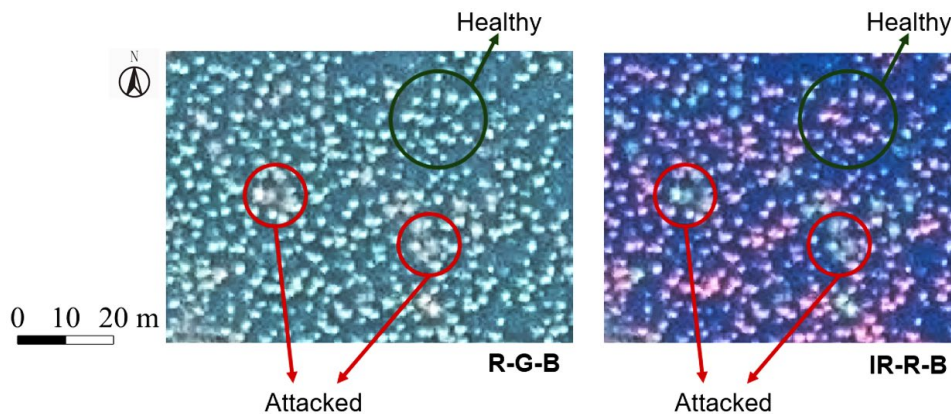
Två högupplösta optiska övervakningskameror (finansierades av ref. 18/19-5/110-5), som tar bilder av skogen intill radartornet var 5:e minut, installerades på tornet i december 2017.

#### Radarmätningar

En radarmätsekvens görs var 5:e minut, vilken inkluderar en mätning från P-, L- och C-band och alla fyra polarisationskombinationerna (HH, HV, VH och VV). Radardata bearbetades för att producera tomografiska bilder [3], vilka visar reflektivitet som funktion av markavstånd och höjd. Detta gör att vi kan skilja reflektioner från olika höjder och olika markavstånd.

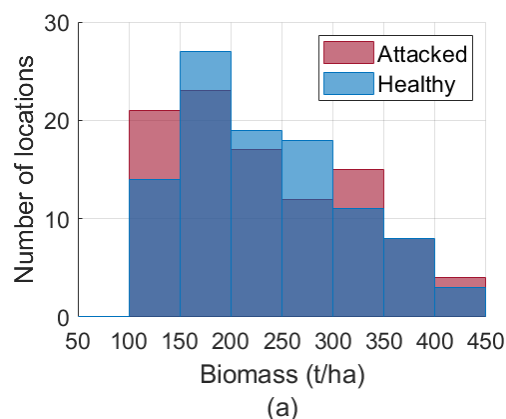
### Optiska satellitbilder

Högupplösta bilder från optiska satelliter över beståndet intill radartornet har analyserats. Ungefärliga positioner för observerade barkborreangrepp 2018 och 2019 delgavs från skogsvaktare på Remningstorp och användes som utgångspunkt för att manuellt bildtolka exakta positioner för angreppen. Vi använde en högupplöst satellitbild från Pleiades registrerad över Remningstorp den 6:e november 2018, med röd (R), grön (G), blå (B) och närinfraröd (NIR) bildbandsinformation [4]. Upplösningen i satellitbilden är 0.5 m, vilket möjliggjorde avgränsning av enskilda trädkronor. De angripna träden uppträdde i grå-grön ton när R-G-B-banderna användes, och i grönt när vi använde IR-R-B (figur 2).



Figur 2. Exempel på angripna och friska trädkronor i optiska satellitbilder från Pleiades [4].

Friska träd är gröna respektive röda i respektive kombination. En Pleiades-bild från den 17:e juli 2019 användes för att sortera bort lövträd, vilka annars får liknande färger som angripna träd i novemberbilden, men skillnaden mellan angripna och friska träd syns tydligt i sommarförhållanden. Totalt tolkades 100 friska och 100 angripna träd med kända positioner. Optiska satellitbilder från Sentinel-2 med 10 m och 20 m upplösning användes sedan för att extrahera optisk information från ytterligare band (totalt 10 band: 2-8, 8A, 11 och 12). Informationen från optiska satellitbilder är även korrelerad med biomassa och för att undvika feltolkningar p.g.a. detta så eftersträvades en liknande fördelning av biomassa för både friska och angripna träd (figur 3).



Figur 3. Biomassafördelning av 200 tolkade träd (100 friska, 100 angripna) för år 2018 [4].

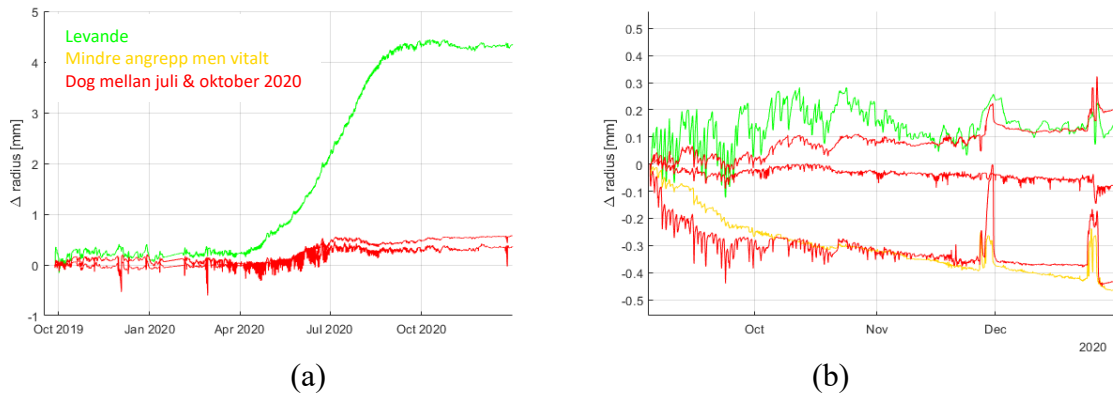
## 5. Resultat

Dendrometermätningar från de tre dendrometrarna som installerades 2019 visas i figur 4a. Det levande trädet visar en tillväxtkurva i termer av radietillväxt av stammen under växtsäsongen

Göteborg 2021-01-29

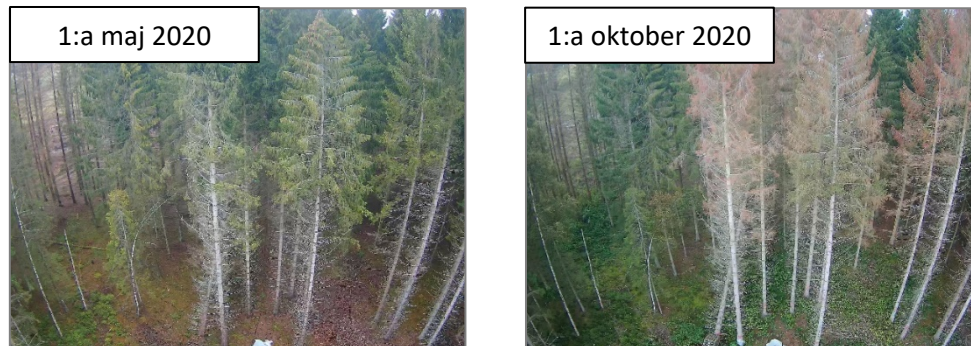
Slutrapportering till Hildur och Sven Wingquists stiftelse för skogsvetenskaplig forskning

2020. De andra två dendrometrarna installerades på träd som dog 2020 och mätningar från dessa visar därför inte samma tillväxtkurva. Dendrometrarna som installerades i september 2020 (figur 4b) installerades tyvärr för sent under växtsäsongen för att kunna följa trädens hälsotillstånd.

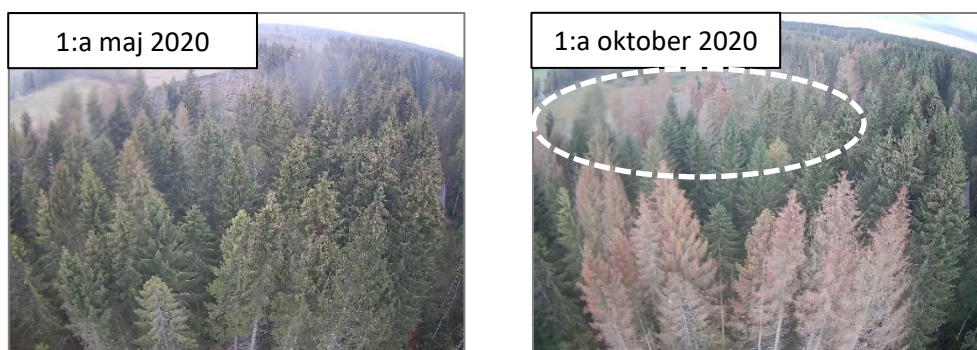


Figur 4. Dendrometermätningar. Mätningar från de tre dendrometrarna som installerades i september 2019 (a). Mätningar från dendrometrarna som installerades i september 2020 (b).

Träden närmast radartornet dog snabbt av granbarkborreangrepp under växtsäsongen 2020. Detta kan ses på bilder som tagits av de två övervakningskamerorna på radartornet (figur 5 och 6). Tidserier med radarmätningar av bakåtspridning, från L-, C-band och olika polarisationer, sjönk med ca 5 dB (mottagen effekt minskade med en faktor 3) mellan juli och oktober när träden dog, vilket visas i figur 7. P-bandsmätningar i detta område är inte tillräckligt noggranna och visas därför inte.

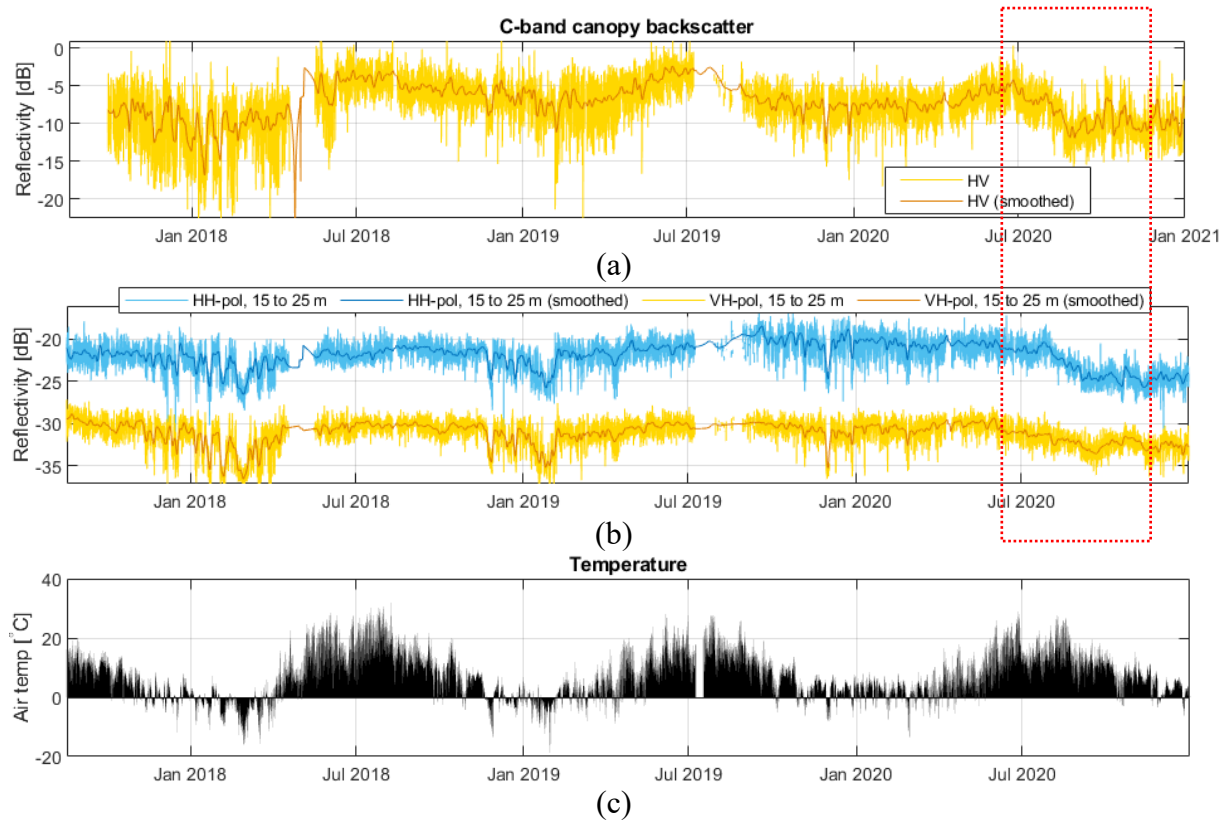


Figur 5. Kamerabilder av träd nära radartornet tagna före och efter att träden dog.



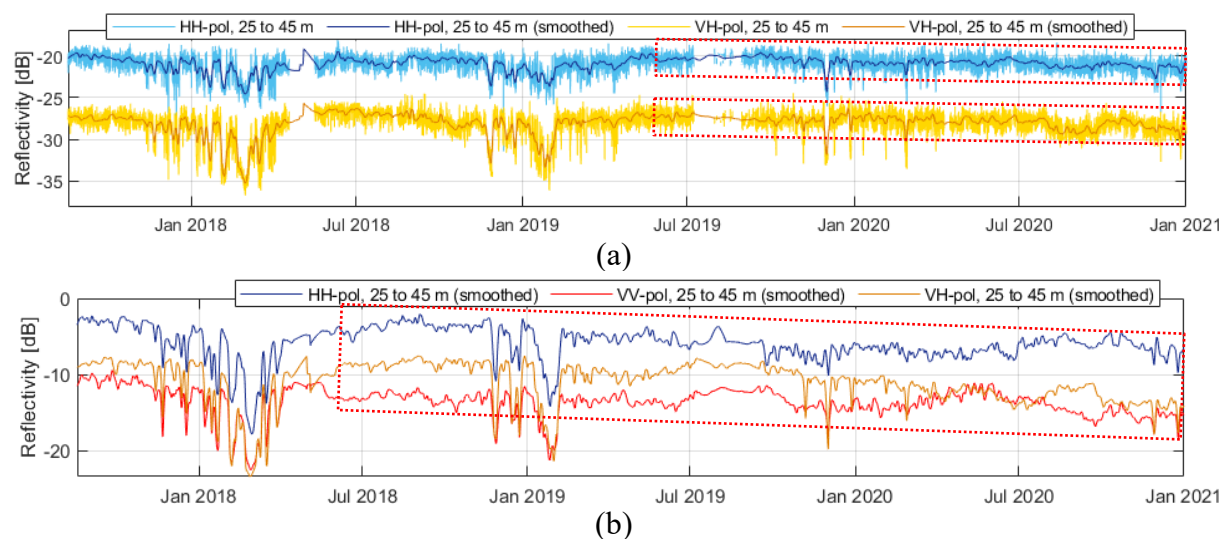
Figur 6. Kamerabilder av träd långt från radartornet tagna före och efter att träden dog.





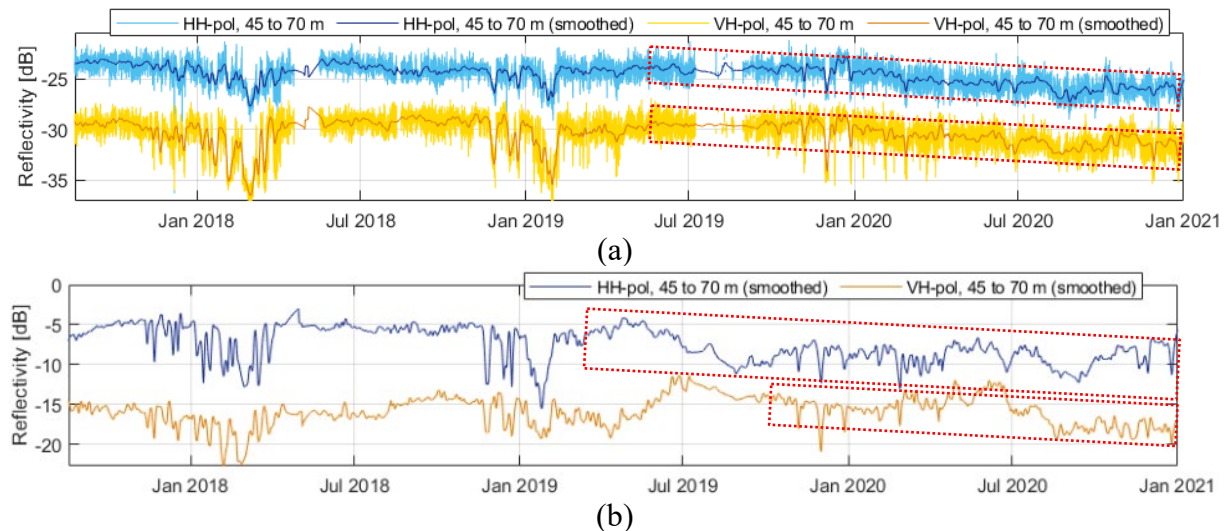
Figur 7. Tidsserier av radarmätningar för (a) C-band och (b) L-band för träden närmast radartornet. Lufttemperaturmätningar visas i (c).

Träden inom 25–45 m från radartornet påverkades inte allvarligt av barkborreangreppen. Många träd har angripits men få har dött. Radarmätningarna i figur 8 visar heller ingen stor och snabb nedgång i bakåtspridning. En långsam minskning i bakåtspridning observerades dock i L- och P-band. För L-band började nedgången sommaren 2019 och sjönk sedan med 2–3 dB (figur 8a). För P-band började minskningen sommaren 2018 och sjönk sedan successivt ca 5 dB (figur 8b). Dessa långsamma minskningar i bakåtspridning beror troligtvis på barkborreangrepp.



Figur 8. Tidsserier av radarmätningar för (a) L-band och (b) P-band för de träd som påverkades minst av granbarkborreangreppen (25–45 m från radartornet).

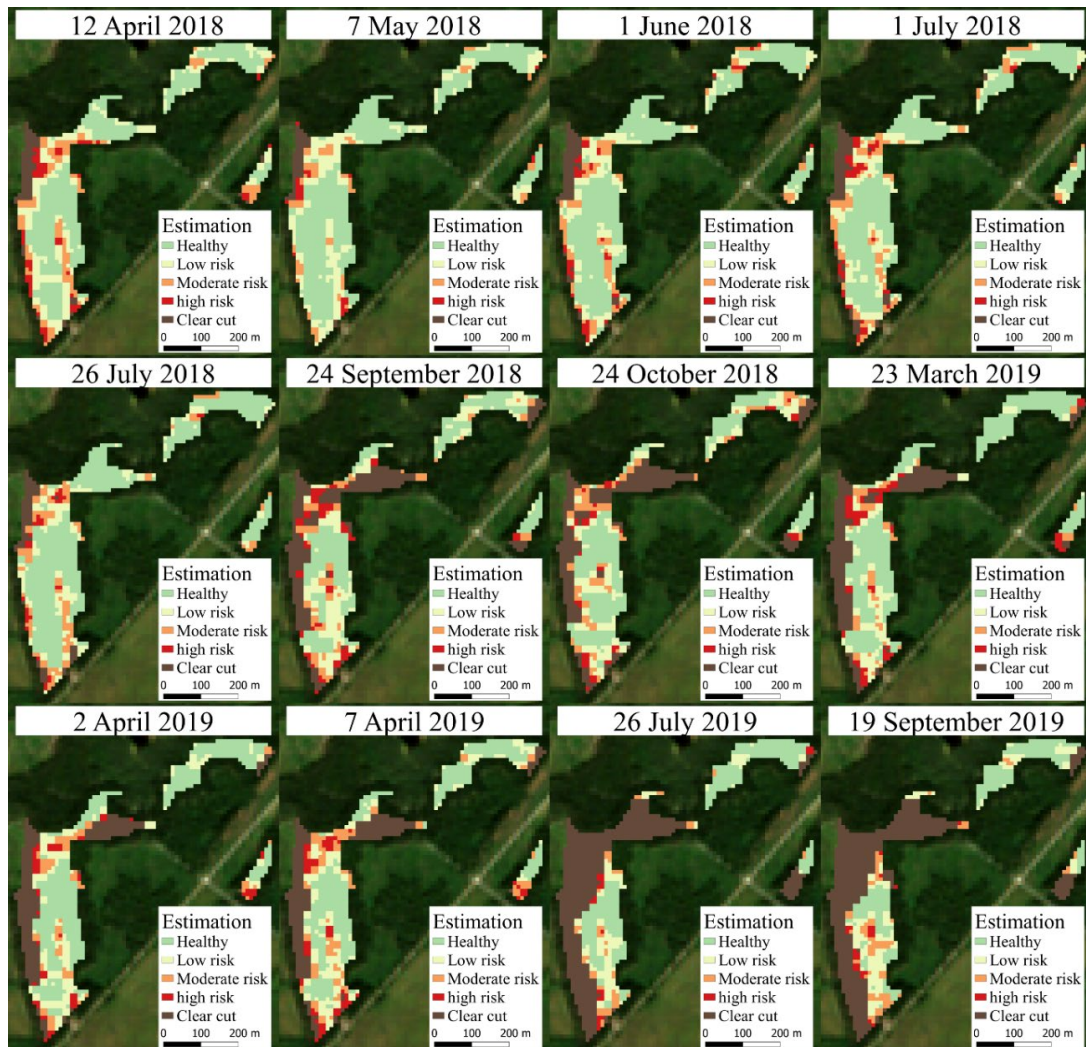
Träden längst bort från tornet (45-70 m) drabbades hårt av barkborrar och många träd dog sommaren 2019 och 2020. För 2020 kan detta ses på kamerabilderna i figur 6. Bakåtspridning i L-band minskade med 2 dB under 2020 (figur 9a) medan P-band, VH-polarisation, sjönk med 3-5 dB under motsvarande period. Nedgången för P-band i HH-polariserad bakåtspridning startade dock redan sommaren 2019 (figur 9b).



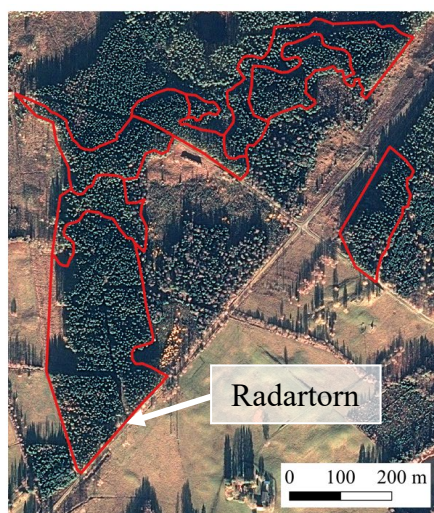
Figur 9. Tidsserier av radarmätningar för (a) L-band och (b) P-band för träden långt bort från radartornet (45-70 m) som drabbades hårt av barkborreangrepp.

Undersökningarna med optiska data från Sentinel-2 visade att värdena från de enskilda banden har betydande överlapp mellan friska och angripna träd. Därför provades olika kombinationer av optiska band (vegetationsindex), vilka gav bättre separation. Genom att utveckla en ny kombination av spektrala band skapades ett nytt index, NDRS (normalized distance red swir), som gav bättre separation än tidigare använda index. En tidsserie med resultat för området vid radartornet visas i figur 10. De ökade angreppen i de två sista bilderna (26:e juli och 19:e september 2019) överensstämmer med minskningen av bakåtspridning för P-band som visas i figur 9b. Det syns tydligt hur de angripna områdena senare avverkas för att minska ytterligare spridning och förekomst av barkborrar. Figur 11a och 11b visar samma område med högupplösta Pleiades-bilder.

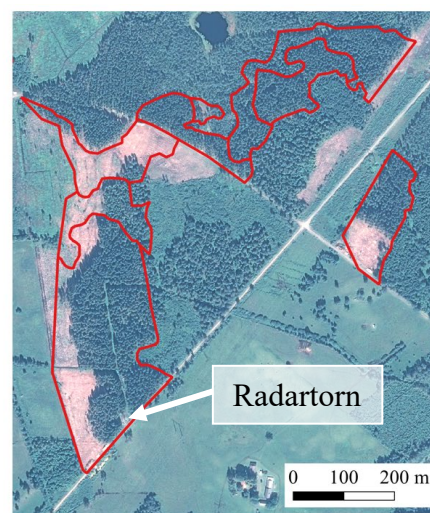




Figur 10. Resultat från bildtolkning av optiska satellitbilder (Sentinel-2) som illustrerar utbredningen över tid av barkborreangreppen i bestånden nära radartornet [4].



(a)



(b)

Figur 11. Pleiades-bilder från området vid radartornet, (a) den 6:e november 2018 och (b) den 17:e juli 2019. Avverkningarna som syns i (b) gjordes bara för de hårdast angripna träden [4].

## 6. Diskussion

Minskningen i radarbakåtspridning (2 till 5 dB) observerades för alla tre frekvensbanden när många träd inom beståndet hade dött av granbarkborreangrepp. Resultaten tyder på att lägre frekvenser (L- och P-band) är mer lämpliga för att upptäcka tidiga angrepp. Det kan förklaras av att dämpningen genom barr och grenar minskar, så att de lägre frekvensbanden blir känsligare för fuktinnehållet i trädens stammar. Efter angrepp av barkborrar minskar successivt vattenhalten i stammen för att upphöra helt då trädet är dött, vilket i sin tur successivt minskar bakåtspridningen som radarn mäter.

Minskning i bakåtspridning observerades under växstsäsongen. Även under normala förhållanden (dvs. icke-frysta förhållanden eller förhållanden med angripna träd) fluktuerar bakåtspridningen något på grund av dygnsvariationer och regn, men är i genomsnitt konstant. Ett barkborreangrepp, däremot, ger en minskning av den genomsnittliga bakåtspridningen. Tidsskalan för minskningen var från veckor (figur 7) till år (figur 8 och 9).

Högupplösta optiska satellitbilder är värdefulla för att bestämma positioner för angripna träd. I detta sammanhang är bilder från Pleiades utmärkta för att detektera enskilda trädkronor (se figur 2), medan Sentinel-2-bilder med lägre upplösning har fördelen att de tillhandahåller fler band, vilket var nödvändigt för att kunna beräkna det nyutvecklade indexet NDRS. De optiska bilderna utgör ett viktigt komplement för att förstå och tolka radarsignalerna, vilka innehåller en blandning av bakåtspridning från både friska och angripna träd. Den ytterligare finansiering som beviljats från Hildur och Sven Wingquists stiftelse år 2020 för projektet ”Satellit och drönare i framtidens skogliga fjärranalysforskning” kommer att bidra till bl.a. ytterligare analyser av data från radartornet som i sig utgör ett världsunikt dataset. Nya bilder från Pleiades under 2020 har nyligen blivit tillgängliga och kommer att analyseras i projektet.

Kombinationen av tidsserier med radarmätningar, mätning av vattenflöden i enskilda träd, kompletterat med högupplösta satellitbilder ger förutsättningar för vidare analyser av riskkartor och att bestämma hur tidigt barkborreangrepp kan upptäckas. Tidig upptäckt är avgörande för snabba uttag av drabbat timmer och för att förhindra ytterligare spridning.

## 7. Slutsatser

Effekter av ett angrepp av granbarkborrar resulterade i avtagande bakåtspridning i P-, L- och C-band. Minskningen observerades tidigare för lägre radarfrekvenser, vilka är mer känsliga för trädens vatteninnehåll. Resultaten visar på att det finns potential för radarsatelliter (SAR) att upptäcka angrepp av barkborrar över stora områden med hög upplösning. Den optiska tolkningen av högupplösta satellitbilder understödjer tolkningen av radarsignalen genom att möjliggöra separation av enskilda trädkronor.

## 8. Kommunikation

Rapporten kommer att göras tillgänglig på [www.borealscat.se](http://www.borealscat.se). Information kommer också att spridas till PSG-gruppen (”Samverkansgrupp för skoglig planering med fokus mot datafångst och fjärranalys”; leds av Skogforsk) och Skogsstyrelsen (Kerstin Ström, projektledare för ”Stoppa Borrarna”; Alice Högström, ansvarig för Geodata skogsskador).



## 9. Referenser

- [1] M. Schroeder and D. Cocoş, (2018), "Performance of the tree-killing bark beetles *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* in non-indigenous lodgepole pine and their historical host Norway spruce," in *Agr. Forest Entomol.*, vol. 20, pp. 347-357, <https://doi.org/10.1111/afe.12267>.
- [2] L. M. H. Ulander, A. R. Monteith, M. J. Soja and L. E. B. Eriksson, (2018), "Multiport Vector Network Analyzer Radar for Tomographic Forest Scattering Measurements," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 15, no. 12, pp. 1897-1901, <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2865673>.
- [3] A. Monteith and L. M. H. Ulander, (2021), "Temporal Characteristics of P-band Tomographic Radar Backscatter of a Boreal Forest," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Early Access, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3050611>.
- [4] L. Huo, H. J. Persson and E. Lindberg, (2021), "Early detection of forest stress from European spruce bark beetle attack, and a new vegetation index: Normalized distance red & SWIR (NDRS)," in *Remote Sens. Environ.*, vol. 255, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112240>.