



# Nationell Riktad Skadeinventering (NRS) 2012



*Foto: Sören Wulff*

**Sören Wulff och Per Hansson**

**Arbetsrapport 386 2013**





# **Nationell Riktad Skadeinventering (NRS) 2012**

**Sören Wulff och Per Hansson**

Arbetsrapport 386 2013

## Allmänt om NRS

Intresset kring skador på skog har en lång historia i Sverige. Intresset har också ökat sedan den intensiva debatten under 1980 – 1990 talet om skogens påverkan av försurning och de under senare år omfattande utbrotten av skador på skog. Stora skadeutbrott kommer sannolikt att fortsätta att uppträda, inte minst till följd av förutspådda klimatförändringar. Förändringar som kan leda till utbrott av nya typer eller förstärkta effekter av tidigare kända skador. En långsiktig övervakning av skador och skogens hälsotillstånd är därför viktig. Riksskogstaxeringen (RT) har under lång tid samlat in data rörande skador genom objektiva inventeringar. Data från RT's skogsskadeövervakning ingår i det europeiska samarbetsprojektet ICP Forests<sup>1</sup> och i annan skoglig avrapportering såsom till Forest Europe<sup>2</sup>.

Ett skadeutbrott har ofta en regional och trädslagsspecifik förekomst. Även om det i RT sker en kontinuerlig uppföljning av de viktigaste skadesymptomen saknas ofta möjligheten att på ett lämpligt sätt följa upp de regionala skadeutbrotten. Anledningen till det beror av inventeringens design såsom stickprovets storlek och en lång fältsäsong. En inventering utförd inom aktuell lämplig tidpunkt och inom ett begränsat område förbättrar avsevärt möjligheterna att presentera avnämbar information kring aktuella skadegörare. För att effektivisera övervakningen av skogsskador har skraddarsydda inventeringar riktade mot enskilda skadegörares utbrott introducerats. Dessa nationella riktade skadeinventeringar (NRS) utförs i samråd mellan SLU, Skogstyrelsen och skogsnäringen.

Idén med NRS bygger på att med ett koncentrerat stickprov och en begränsad personalinsats (en till två extra arbetslag för 2 – 3 månaders fältarbete) ge ett tillräckligt dataunderlag som förbättrar möjligheterna jämte kvaliteten på redovisade resultat över regionala skadeutbrott. I konceptet ingår även att de första resultaten från inventeringen skall kunna presenteras i omedelbar anslutning till avslutad inventering. Därefter utförs en grundligare statistisk utvärdering av inventeringsresultatet, även avseende huruvida ytterligare inventeringsbehov kvarstår. Inventeringsmål kan beslutas strax innan fältsäsong. Bakgrundsinformation för detta beslut tas in löpande. Det kan t ex komma från den ordinarie RT, den web-baserade skadedatabasen SkogsSkada, Skogsstyrelsen, forskare, skadeexperter och andra skogliga intressenter.

Mer information och resultat från NRS och finns att hämta på projektets hemsida: <http://www.slu.se/skogsskadeovervakningen>.

### *Mål*

Målet med NRS är att leverera underlag till specifika operativa beslut. Därför kan inriktning av inventeringen variera beroende på vilka skador som för tillfället är mest relevanta och för vilka det finns uttalade behov av information. Inventering ska vara åtgärdsorienterad och snabbt kunna leverera resultat.

Under 2012 gjordes en återinventering avseende törskateangrepp i tallungskogar i landskapet Norrbotten och södra Västerbottens län (senast gjord 2008) samt av barkborreangrepp i äldre granskog i Västernorrlands län (senast gjord 2011).

---

<sup>1</sup> ICP Forests: Internationellt samarbetsprogram kring övervakning av skador på skog  
<http://icp-forests.net/>

<sup>2</sup> Forest Europe: Minister konferens om skyddet av Europas skogar  
<http://www.foresteurope.org/>

## NRS - törskaterost i Norr- och Västerbotten



Törskateangrepp på ung tall

Foto: Sören Wulff

### Allmänt om törskatesvampen

Törskate är en välkänd rostsvamp som angriper tall och som ger upphov till torra döda toppar på äldre träd. Det rör sig då oftast om formen (arten) *Peridermium pini* som kan gå från tall till tall utan någon värdväxling. Under senare tid har dock även angrepp på yngre träd, och plantor, uppmärksammats i Norrbotten och norra Finland. Angreppen är förorsakade av den värdväxlande formen, *Cronartium flaccidum*, vilken tidigare betraktades att ha en sydlig förekomst. Som värdväxt i norra Sverige agerar kovallarter och då främst skogskovall. Denna värdväxlande variant verkar vara en aggressivare form av törskate, som nu attackerar och spolierar tallplanteringar i nordligaste Skandinavien. Avdöendet sker ofta under flera års tid och angrepp på enskilda trädindivider kan därför vara lätta att förbise.

En framförd hypotes är att den värdväxlande formen av törskaterost (*C. flaccidum*) är under spridning söderut, en annan att denna form redan är väl spridd över norra Sverige men att angrepp blossar upp vid för svampen gynnsamma väderbetingelser. För att försöka bringa klarhet i detta genomfördes 2012 inom ramen för NRS en uppföljning av de tidigare inventeringarna 2007 och 2008. Inventeringen omfattade tallungskogar ( $\geq 7/10$  tall) i landskapet Norrbotten och södra delen av Västerbottens län.

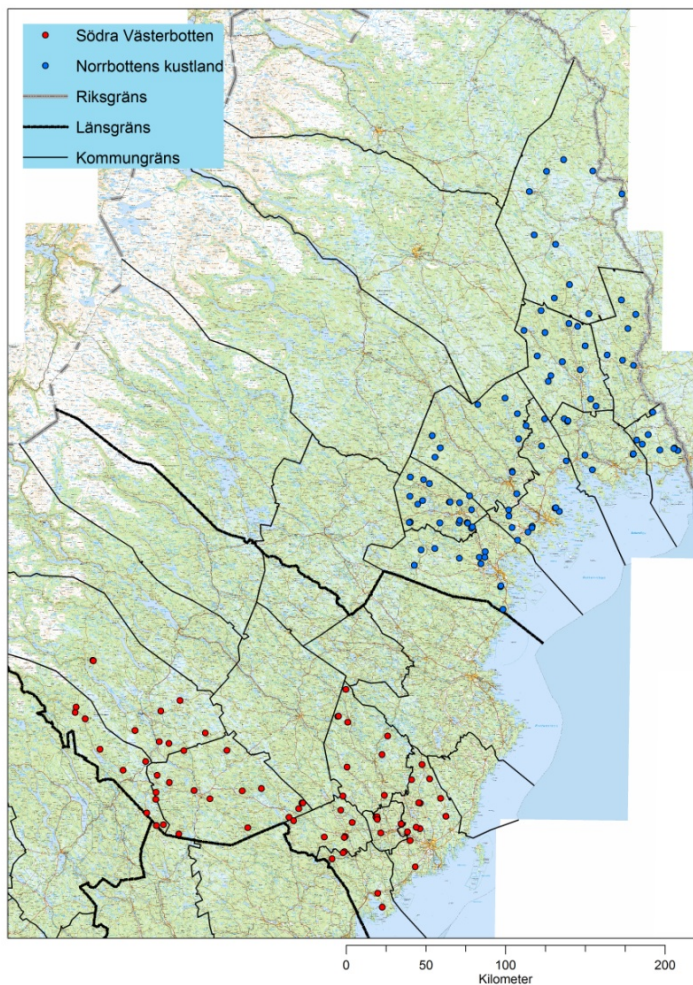
### Syfte

Syftet med inventeringen var att skatta areal törskateskadad ungskog, men också att belysa trender i skadornas uppträdande och den geografiska spridningen samt skadornas uppträdande på olika typer av mark och i olika typer av föryngringar. Resultaten från inventeringen bör kunna fungera som strategiska beslutsunderlag till möjliga skötselåtgärder.

## Inventeringens upplägg

Inventeringen stratifierades genom ett objektivt urval av fältinventerade ungskogsbestånd från älgbetesinventering (ÄBIN) av Skogsstyrelsen. Med ungskogsbestånd avses här bestånd med en medelhöjd mellan 1 till 4 meter. I varje utvalt bestånd utfördes mätningar och bedömningar på 8 provytor med 3,5 m radie i ett kvadratisk kluster, en trakt, med 50 m sida. Registrering utfördes för röjningar (innevarande, föregående säsong eller tidigare) och förnyngningsmetod. En provyta per bestånd markerades och koordinatsattes. På varje provyta registrerades stammantal per trädslag, medelhöjd samt ståndort (vegetationstyp och fuktighet). Alla levande träd (stammantal) med en medelhöjd som översteg 50 % av medelhöjden av de två högsta beståndsbildande barrträden medräknades. Skadeinventeringen utfördes på utvecklingsbara stammar. Vid angrepp, d.v.s. dött kambium död gren eller synliga sporer/blåsor av törskaterost på tall eller contortatall registrerades skadans omfattning. Omfattningen angavs dels som angripen del av krona, dels som angripen del av huvudstammens omkrets samt antal grenvarv ovan stamsår. Alla träd inom aktuellt höjdintervall dödade av törskaterost räknades med, men dessutom även alla av törskaterost dödade träd lägre än aktuellt höjdintervall. Vi inventerade också förekomst av skogskovall på 16 (två per provyta) småytor om 0,25m<sup>2</sup>.

## Inventeringens omfattning



Inventeringen genomfördes av två arbetslag från slutet av juni till första veckan av augusti (tid då de orange sporsamlingarna är synliga). Inventeringen startade med en kalibrering av de bägge arbetslagens bedömningar.

Enbart tallungskog (dvs  $\geq 7/10$  tall) ingick i urvalet. Totalt inventerades 172 bestånd. Av dessa var 100 belägna i Norrbottens kustland och 72 i södra Västerbotten.

Figur 1. Inventerade bestånd i Norra Norrland 2012, från ett slumpvis urval av 1306 fält-inventerade (ÄBIN) tallskogs-bestånd.

**Norrbottens län:** Piteå, Älvsbyn, Luleå, Boden, Kalix, Haparanda, Övertorneå, Övertorneå samt Pajala kommuner.

**Södra Västerbotten län:** Nordmaling, Umeå, Bjurholm, Vännäs, Vindelns, Åsele, Dorotea samt Vilhelmina kommuner

## Resultat och diskussion

Årets inventering visar att angreppen av törskaterost i ungskog av tall i Norra Norrland är av liknande omfattning som vid 2007 – 2008 års inventering (Wulff et al. 2011). Totalt förekommer angrepp av törskaterost på 67 % av all tallungskog i landskapet Norrbotten med en medelhöjd på 1 – 4 m, vilket motsvarar 71 500 ha (tabell 1). Inom denna areal har ca 12 000 ha minst 10 % av stammarna angripna. Detta motsvarar 12 % av arealen tallungskog. I södra Västerbottens län är angreppen mindre frekventa och 31 % av arealen är angripen, vilket motsvarar 20 600 ha. Andelen bestånd med angrepp >10% av stammarna är mycket liten.

**Tabell 1. Areal tallungskog (medelhöjd 1 – 4 m) angripen av törskaterost i Norra Norrland 2012, samt konfidensintervall för skattningar med en sannolikhet av 95%**

Tallungskog medelhöjd 1-4 m	Förekomst av angrepp		>10% angrepp	
	Andel areal (%)	Skattad areal (ha)	Andel areal (%)	Skattad areal (ha)
Norrbottens landskap	67	71 500 +/-13 500	12	12 300 +/-9 700
Södra Västerbotten län	31	20 600 +/-8 900	3	2 080 +/-3 700

Inga entydigt statistiskt säkerställda förändringar av angripen areal kan noteras jämfört med NRS 2007 och 2008 i vare sig landskapet Norrbotten eller södra Västerbotten län (tabell 2 och 3). Det finns en variation mellan åren och viss diskrepans mellan förekomst och andelen allvarligare angrepp, vilket gör att vår bedömning är att skadorna varken ökat eller minskat i omfattning. Situationen verkar inte vara så alarmerande som tidigare befarats, vilket rimligen beror på att den senaste femårsperioden haft för svampen ogynnsamma väderbetingelser. Resultaten tyder inte heller på någon påtaglig spridning söderut utan skadornas förekomst och omfattning verkar i första hand styras av regionala väderförhållanden.

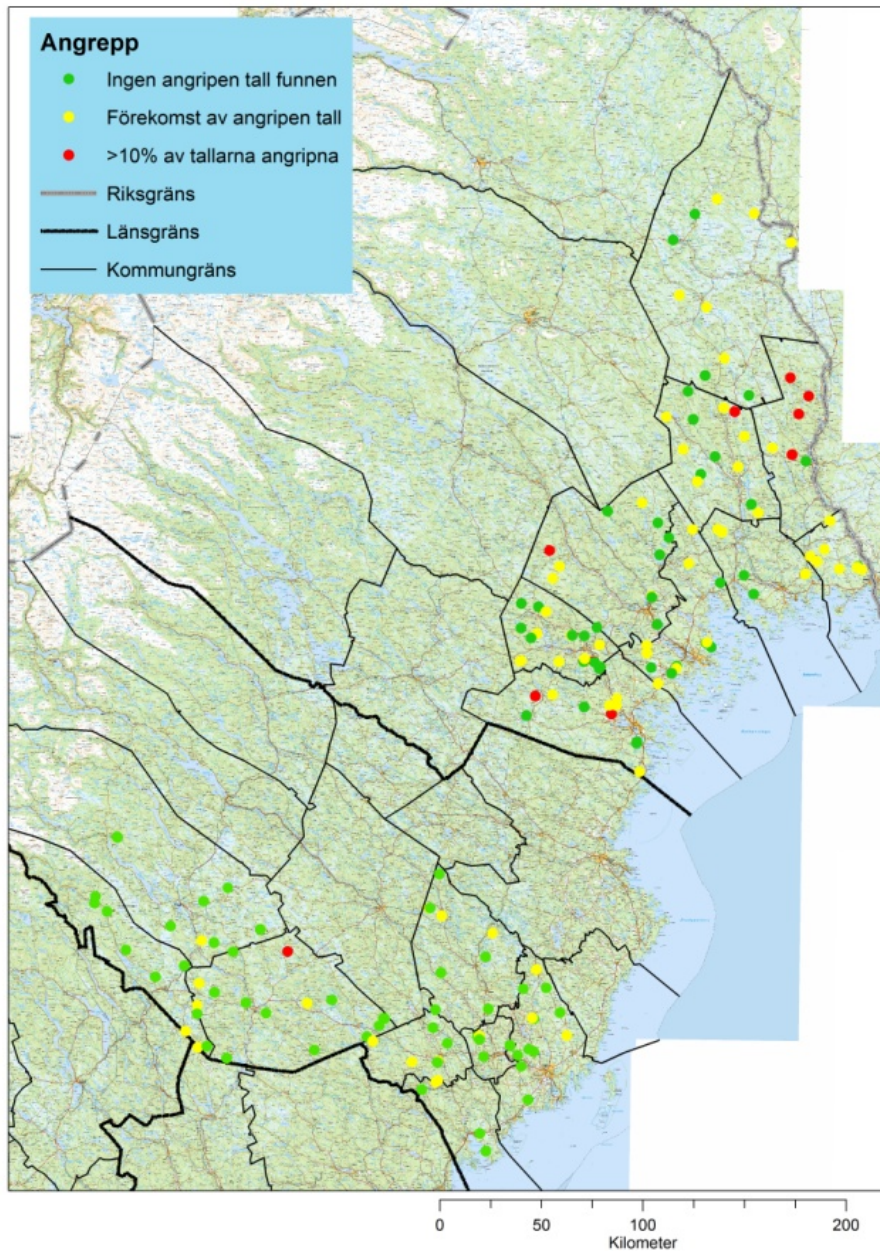
**Tabell 2. Areal tallungskog (medelhöjd 1 – 4 m) angripen av törskaterost i landskapet Norrbottens 2007, 2008 och 2012**

Tallungskog medelhöjd 1-4 m Norrbottens landskap	Andel av arealen (%) med förekomst av angrepp	Andel av arealen (%) med > 10 % av antalet tallar angripna
2007 n=112	69 (+/-12)	23 (+/-15)
2008 n=105	51 (+/-8)	18 (+/-15)
2012 n=100	67 (+/-13)	12 (+/-9)

**Tabell 3. Andel tallungskog (medelhöjd 1 – 4 m) angripen av törskaterost i södra Västerbotten län 2008 och 2012**

Tallungskog medelhöjd 1-4 m södra Västerbottens län	Andel av arealen (%) med förekomst av angrepp	Andel av arealen (%) med > 10 % av antalet tallar angripna
2008 n=15	23 (+/-17)	0
2012 n=72	31 (+/-20)	3 (+/-6)

De allvarligaste skadorna finns som tidigare i nordost (figur 2). I Tornedalen är 29 % av tallungskogen infekterad av (>10 % törskateangrepp). Avdöendet fortskrider i infekterade bestånd, men mycket tyder på att förloppet är långsamt.

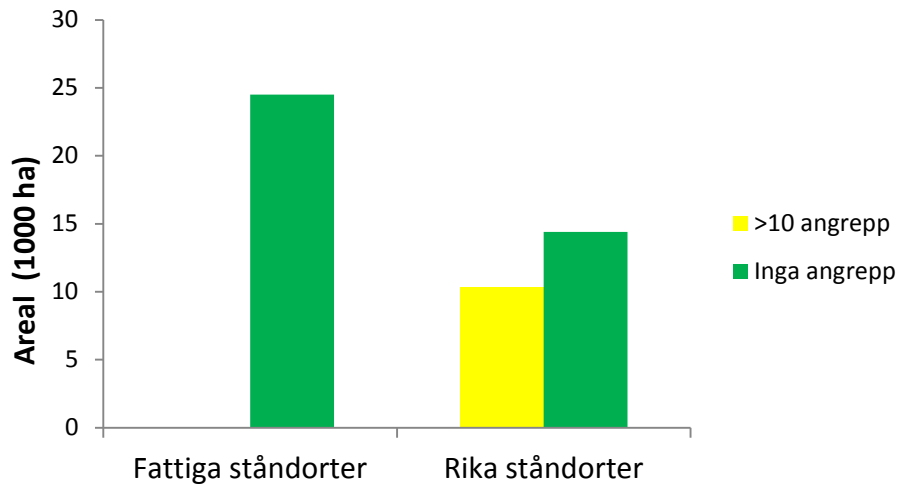


Figur 2. Angrepp av törskaterost i tallungskog södra Västerbottens län och landskapet Norrbotten 2012.



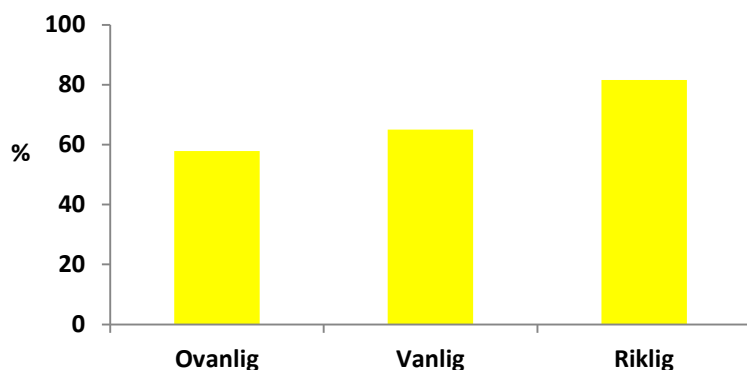
## Ståndort

Resultaten från årets inventering visar samma bild som vid de tidigare inventeringarna att angrepp av törskaterost oftare påträffas i tallbestånd på bördigare mark än i bestånd på näringsfattigare mark. Figur 3 visar denna effekt för enbart landskapet Norrbotten 2012, eftersom areal med mer än 10 % angrepp var mycket låg i södra Västerbottens län. Angreppen är som kraftigast på marker som även är lämpliga för andra resistenta trädslag såsom t ex gran, contortatall och lärk. Dock finns en ökad risk att contortatall kan angripas av *Gremmeniella* på dessa näringsrikare marker.



Figur 3. Arealen tallungskog (medelhöjd 1 – 4m) i Norrbottens landskap 2012 med inga angrepp och mer än 10% angrepp av törskaterost fördelad på rika (blåbär, gräs och örttyper) respektive fattiga (lingon, fattigris och lavtyper) ståndorter. Medelfel för skattningarna är för angripna bestånd på rika ståndorter (3 900).

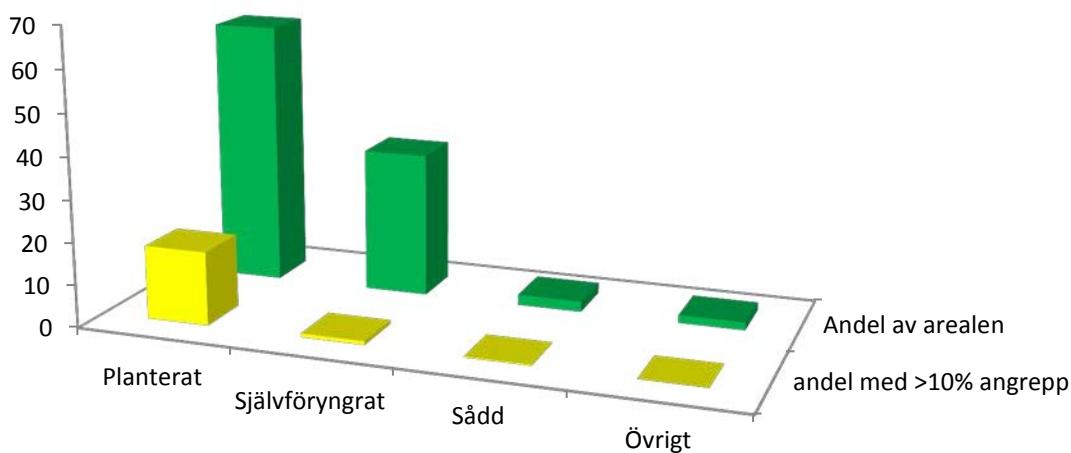
Tidigare studier visar att den värdväxlande formen av törskaterost dominerar i nordöstra Sverige. Resultaten från NRS inventeringar 2007, 2008 och 2012 visar att svampen kan fullborda sin livscykel även vid låga förekomster av kovall. Att kovaller inte blivit registrerad på någon av de 16 småytorna inom en inventerad trakt betyder emellertid inte att arterna saknas. Angripna tallar är dock vanligare på ytor med rikare förekomst av kovaller (figur 4). Detta samband är tydligast i Norrbotten där vi ser de största skadorna. I södra Västerbotten där angreppen är mindre uttalade ses inget tydligt samband mellan förekomst av kovall och skador.



Figur 4. Arealen tallungskog (medelhöjd 1 – 4m) i Norrbottens kustland 2012 infekterad av törskaterost fördelad på förekomst av skogs- och ängskovall.

### Föryngringsmetoder

De flesta angreppen påträffades i planteringar och andelen av arealen med mer än 10 % angrepp är här också högst, 18 % (figur 5). Andelen är lägre (1 %) i föryngringar från fröträdställning vilket kan bero på att dessa föryngringar oftare förekommer på svagare ståndorter (figur 3), men indikerar också att lokal proveniens har en högre motståndskraft mot angrepp av törskaterost.



Figur 5. Andel av areal tallungskog (medelhöjd 1 – 4 m) fördelad på föryngringsmetod samt andel med >10 % angrepp per föryngringsmetod. Landskapet Norrbotten 2012.

## Sammanfattning

Årets inventering visar att törskateangreppen i unga tallbestånd är spridd över Norra Norrland, men också att ingen tydlig förändring verkar ha skett sedan 2007/2008. Resultaten tyder inte på någon påtaglig spridning söderut från de värst drabbade områdena i nordost. I Tornedalen är 29 % av tallungskogen infekterad (>10 % av träden angripna). Sannolikt förklaras skadornas förekomst och omfattning mer av för svampen gynnsamma förhållanden, i första hand väderförhållande. Eftersom angreppen är spridda i hela regionen kan vid förändrade betingelser, framförallt väder, risken vara stor för ett epidemiskt uppträdande. Sporspridning till tall sker på hösten och den nederbördsrika hösten 2012 mycket väl

påskyndat svampens spridning i regionen. Svampen har dock en lång latensperiod varför eventuella nya symptom dröjer flera år.

Resultaten från inventeringen indikerar att angrepp av törskaterost är vanligast i tallbestånd som växer på bördig mark. Vid föryngring på bördigare marker finns fler alternativa och resistent trädslag att tillgå. Föryngring med fröträdställning har lägre grad av angrepp, vilket kan vara en följd av att denna metod används oftare på fattigare ståndorter, men indikerar även att lokala provenienser är att föredra vid föryngringar.

Med beaktande av resultaten från NRS gör vi bedömningen att ingen upprepning de närmsta åren är nödvändig om inga signaler om dramatiska förändringar kommer fram.

### ***NRS - barkborreangrepp på gran i Västernorrlands län***



*Barkborreangripen granskog*

*Foto: Sören Wulff*

#### **Allmänt om barkborrar**

Angrepp av barkborre kan uppkomma i hela landet, och angreppen kan lokalt ge upphov till stora skador på skog. Omfattande skador rör i första hand angrepp av granbarkborre (*Ips typographus*), som kan döda växande gran. På senare år har dock också skador av dubbelögad bastborre (*Polygraphus poligraphus*) uppmärksamats. Arten koloniserar normalt starkt försvagad gran, men har i södra Norrland åstadkommit oväntat stora skador.

Barkborrepopulationerna kan under gynnsamma förhållanden snabbt öka. Barkborrarna gynnas av torra och varma somrar, men framförallt styrs populationsökningen av tillgång till lämpligt föryngringssubstrat. För i synnerhet granbarkborren, så är tillgången av vindfällen avgörande, och populationsökningen efter exempelvis stormarna Gudrun och Per var också stora.

Ett större barkborreutbrott, med efterföljande stora skador på växande skog, har under åren 2008 – 2011 uppmärksammats i södra Norrland. Under 2011 genomfördes en NRS i Västernorrlands län och volymen barkborredödade gran uppskattades till drygt 800 000 m<sup>3</sup>. Mycket tyder ändå på att utbrottet nådde sin kulmen under åren 2009 – 2010. I december 2011 fällde stormen Dagmar uppskattningsvis 4,5 miljoner m<sup>3</sup> skog i norra Sverige varav en stor del i det av barkborreskadade berörda området (Fries 2012). Trots insatser från skogsbruket låg betydande mängder granvindfällen kvar i skogen under hösten 2012.

## Syfte

Syftet med årets inventering var att skatta volymen barkborredödad gran. Det som en direkt uppföljning av fjolårets inventering inom samma område. Vi vill också genom att i årets inventering även inkludera vindfällen, få en uppskattning av kvarliggande vindfällen och i hur hög grad dessa var angripna av barkborrar.

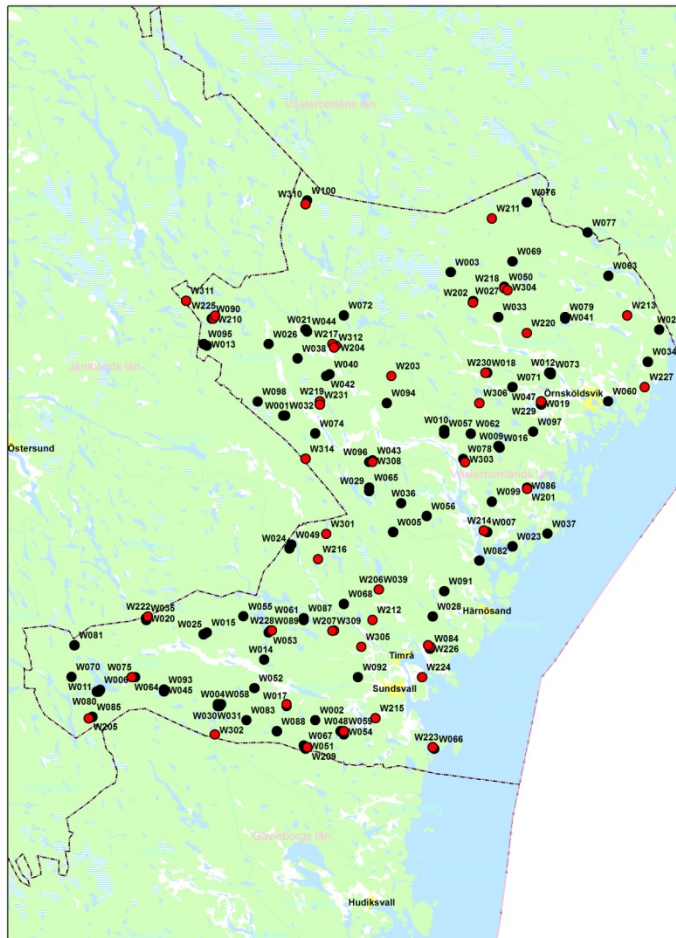
## Inventeringens upplägg

Inventeringen stratifierades genom ett objektiva urval av Riksskogstaxeringens alla permanenta provytor i Västernorrlands län. I urvalet ingick

- alla ytor i äldre gallrings eller slutavverkningsmogen granskog ( $\geq 7/10$  gran)
- 25 % av ytor i motsvarande ålder men med en granandel på 3 – 6/10
- 10 % av alla ytor i yngre gallringsskog med en granandel på minst 3/10.

Inventeringen utfördes på den del av en cirkelyta med 25 m radie, vars yta ingick i det beskrivna beståndet. Andra delar av cirkelytan ingick inte i inventeringen. Angrepp av granbarkborre och dubbelögad bastborre på stående träd och färskas vindfällen har eftersökts och på angripna träd/vindfällen har brösthöjdsdiameter uppmätts. Förutom diameter har också barkborreart och ålder på angreppen angetts. Antal färskas (råa) respektive gamla vindfällen på ytan har summerats. Provytans avstånd till närmsta beståndskant (öppning inom 25 m) har också registrerats.

## Inventeringens omfattning



Inventeringen genomfördes av ett arbetslag från 17 september till 8 oktober. Inventeringen startade med en introduktion och kalibrering av bedömningar.

Totalt inventerades 92 ytor. Av dessa var 71 i äldre gallrings eller slutavverkningsmogen granskog. Ytans storlek är max 0.2 ha.

Figur 6 Utvalda permanenta provytor i Riksskogstaxeringen vilka ingick i 2012 års inventering av barkborreangrepp på gran i Västernorrlands län.

Svart markering:  
ytor i äldre gallr o slutavv granskog  
Röd markering:  
ytor i gallr o slutavv skog =>3/10 gran

## Resultat och diskussion

Årets inventering visar att angreppen av barkborrar på växande träd minskat drastiskt. Av färskare angrepp (från 2012) finns endast ett träd angripet av dubbelögad bastborre. Under 2011 års inventering, vilken hade samma omfattning som årets inventering, hittades 70 träd med färskare angrepp av barkborre. Vad kan denna minskning bero på? I en studie om barkborrarnas förökningsframgång 2012 ledd av Martin Schroeder vid SLU ges tre troliga förklaringar: (1) överskottet av vindfällna granar efter stormen Dagmar har sugit upp barkborrarna, (2) dålig förökningsframgång för granbarkborre under de två senaste åren och (3) den levande granskogens försvarsförmåga har gynnats av den svala nederbördsrika sommaren. För granbarkborre är troligen vindfällena viktigast. Angreppen av dubbelögad bastborre rör sig om två arter där den större (*P. poligraphus*), som dominerat på stående träd, ofta sker med hjälp av granbarkborre och därmed missgynnats av minskade angrepp av granbarkborren. Den nordliga (*P. punctifrons*) är vanligare på vindfällena (Schroeder 2013).

Färskare vindfällena påträffades på 45 % av ytorna i äldre gallring och slutavverkningsmogen granskog (figur 2). På hälften av dessa ytor hittades 1 – 2 vindfällena, och på enbart några få ytor fanns > 6 vindfällena. Totalt noterades 102 färskare vindfällena. Av dessa var 9 (8,8 %) angripna av barkborre, vilket är i samma nivå som framkom i studien om barkborrarnas förökningsframgång, där 9,9 % av vindfällena var koloniserade (Schroeder 2013).



**Tabell 3. Volym färska granvindfällan kvarliggande i skogen hösten 2012 i äldre gallring och slutavverknings-mogen granskog. Västernorrlands län, NRS 2012**

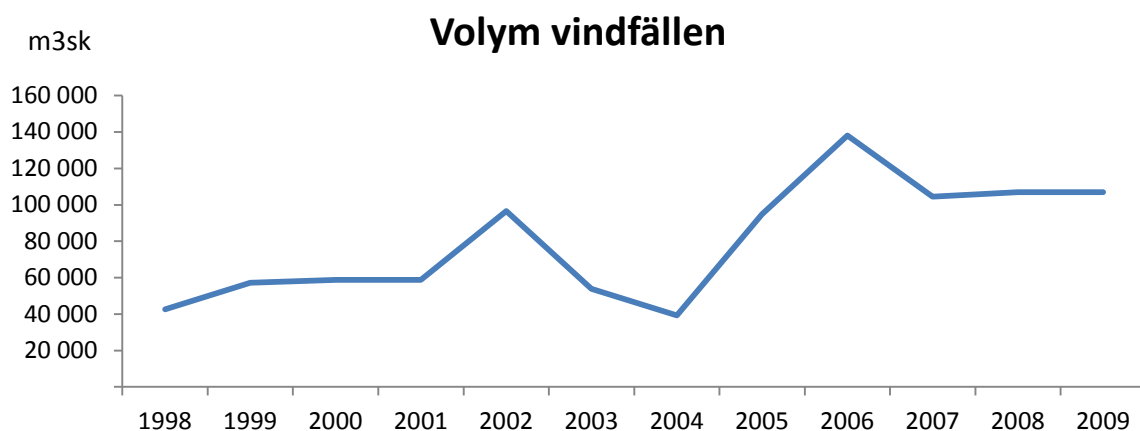
Län	Färska vindfällan	Varav angripna vindfällan (granbarkborre)
Västernorrland	650 000 m <sup>3</sup> sk	100 000 m <sup>3</sup> sk

En volymkattning av färska vindfällan för enbart Medelpad ger 300 000 m<sup>3</sup>sk. Skogsstyrelsens har, från en helikopterinventering under oktober 2012, uppskattat denna mängd till ca 100 000 m<sup>3</sup>sk för ett område något större än Medelpad. Helikopterinventeringen baserades på bedömningar från ett systematiskt stickprov av 1 ha rutor. Minsta mängd för att medräknas var här 5 – 10 vindfällan per ha.

Även om vår inventering baserades på minst ett vindfälle per 0,2 ha provytor (= 5 per ha) bör det vid en motsvarande inventering av 1 ha rutor även inkludera rutor med färre än 5 vindfällan. En skattning baserad på en slumpvis addering av 5 inventerade ytor (=1 ha) ger också en något lägre volym än den ursprungliga skattningen.

Några av de fältinventerade ytorna inventerades även från helikopter. Resultaten från denna ministudie, 24 ytor, visar att vindfällan hittades på 11 fler ytor samt att antalet vindfällan var 20 fler i fältinventeringen. Då inventeringen från helikopter avsåg en yta så nära GPS punkten som möjligt finns en viss risk att den inventerade ytan blev mindre än 0,2 ha och att antalet vindfällan är underskattade. Tyvärr, fanns ett flertal ytor där vindfällan noterats, men som av olika anledningar enbart inventerats i fält eller från helikopter. Resultaten indikerar ändå på att man i fältinventeringen hittar fler vindfällan.

Normalnivån av vindfällan är svår att uppskatta, men Riksskogstaxeringens data visar under de senaste åren att år utan påtagliga stormar är volymen färska vindfällan av gran i Västernorrland ca 50 000 m<sup>3</sup>sk (figur 3). Det betyder att volymen färska vindfällan under hösten 2012 var ca 13 gånger högre än normalnivån. Volymen vindfällan är i Medelpad, med en större mängd vindfällan än i de norra delarna av länet, i genomsnitt 3m<sup>3</sup>sk/ha i äldre granskog.



Figur 8. Volymen färska vindfällan i Västernorrlands län. Gran i äldre gallrings och slutavverkningsmogen granskog. Glidande 5 årsmedeltal Riksskogstaxeringen 1998 – 2011.

## Sammanfattning

Årets inventering visar att volymen gran angripen av barkborre är mycket låg. Samtidigt finns en stor mängd vindfällen från stormen Dagmar kvar i skogen under hösten. Volymen färska vindfällen av gran i äldre gallrings- och slutavverkningsmogen granskog i Västernorrlands län skattas till 650 000 m<sup>3</sup>sk. De mesta av vindfällena återfinns i mindre grupper spridda i landskapet. Knappt 10 % av vindfällena är angripna av barkborrar.

Mycket tyder på att en del av volymen vindfällen kommer att vara lämplig som förnygringssubstrat även nästa år. Med merparten av vindfällen kvar under 2013 kan det medföra en stor förökning av granbarkborrar och en ökad risk för stånskogsangrepp under 2014.

Vår bedömning är, med anledning av risken för stora populationsökningar av barkborrar och därmed påföljande skador på skog, att en uppföljning av kvarvarande vindfällen och angrepp av barkborrar bör genomföras under kommande år. Detta kan ge värdefull information och bättre beslutsunderlag för bedömning av risken för stånskogsangrepp.



## *Referenser*

Fries, C. 2012. Ta hand om den fallna skogen. Skogseko 2012/1. Skogsstyrelsen.

Schroeder, M. 2013. Förekomst och förökningsframgång för granbarkborre i vindfällda granar i Västernorrlands län 2012. Rapport SLU.

Wulff, S., Lindelöw, Å., Lundin, L., Hansson, P., Axelsson, A.-L., Barklund, P., Wijk, S. & Ståhl, G. (2011). Adapting forest health assessments to changing perspectives on threats - a case example from Sweden. Environmental Monitoring and Assessment. DOI 10.1007/s10661-011-2130-7