

Brandhårdhetens påverkan på knäckesjukans omfattning på brandfältet i Sala

Fire severity effects on the extent of pine twisting rust on the Sala fire field



Foto: Erik Sundström

Erik Sundström



Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2018:9

Brandhårdhetens påverkan på knäckesjukans omfattning på brandfältet i Sala

Fire severity effects on the extent of pine twisting rust on the Sala fire field

Erik Sundström

Nyckelord / Keywords:

Brandhårdhet, Knäckesjuka, Asp, Salabrännan, Viltbete /
Fire severity, Pine twisting rust, Aspen, the Sala fire, Ungulate browsing

ISSN 1654-1898

Umeå 2018

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogsvetenskap / *Master degree thesis in Forest Sciences*

EX0831, 30 hp, avancerad nivå A2E / *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Marie-Charlotte Nilsson Hegethorn

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Bitr handledare / *Assistant supervisor*: Jan Stenlid

SLU, Inst för skoglig mykologi och växtpatologi / *SLU, Dept of Forest Mycology and Plant Pathology*

Examinator / *Examiner*: Anders Granström

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handledts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Detta examensarbete på 30 hp på avancerad nivå har genomförts vid Institutionen för Skogen Ekologi och Skötsel, SLU.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Professor Marie-Charlotte Nilsson, SLU vid Institutionen för Skogen Ekologi och Skötsel för hennes ovärderliga hjälp och stöttning. Vill även tacka bitr. handledare Professor Jan Stenlid vid Inst för Skoglig mykologi och Växtpatologi, SLU. Jag vill även tacka skogsskötselspecialisterna och Salakontoret på Skogsstyrelsen för hjälp, utrustning och rådgivning. Jag vill tacka Hilda Edlund för all statistisk hjälp och ge henne en stjärna för att hon har haft ett stort tålamod med mig. Jag vill också rikta ett tack till min moster prorektor Cathrine Norberg vid Institutionen för konst, kommunikation och lärande, LTU för korrekturläsning och språklig hjälp. Jag vill även tacka min flickvän Elin Kollberg för hennes stöttning och språkhjälp.

Detta examensarbete tillägnas min mamma som tyvärr gick bort mitt under detta arbete och som aldrig fick se min examen. Utan hennes kämpande för våran skolgång hade aldrig jag och min bror blivit Jägmästare.

Tack Mamma!

Erik Sundström

Umeå 2018

Sammanfattning

Knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua*) är en skoglig skadegörare som orsakar skador på ung tall (*Pinus sylvestris*). Svampen värdeväxlar mellan asp (*Populus tremula*) och tall för att fullborda sin livscykel. Tidigare studier visar en tydlig korrelation mellan hård brandhårdhet och kraftig lövetablering efter brand. Studier om knäckesjuka visar att svampen är starkt relaterat till närvaro av asp och asptäthet på beståndsnivå. Det är däremot inte studerat hur knäckesjuka påverkar tallföryngringar efter brand. Syftet med denna studie var att undersöka en möjlig korrelation mellan brandhårdhet och knäckesjuka, samt om brandhårdheten har en indirekt påverkan på knäckesjuka genom att gynna förekomsten av asp/mängden aspbiomassa. Studien undersökte även om viltbete på asp har en negativ eller positiv inverkan på knäckesjukans angrepp.

Studieområdet var brandfältet i Sala och inventeringen utfördes i elva bestånd uppdelade i fyra geografiskt skilda områden. Skogsbranden sommaren 2014 utanför Sala är unikt i Sverige för sin storlek och omfattning. Branden skadade 14 000 ha skog och gav upphov till stora variationer av brandhårdhet (bränningsdjup). Både före och efter branden har det förekommit ett aktivt brukande av skogen. Det har observerats knäckesjuka i tallföryngringarna och rapporterats om stora mängder klövvilt. Allt detta gör brandfältet synnerligen lämpat för att studera sambanden mellan knäckesjuka, brandhårdhet, aspförekomst och viltbete.

Denna studie fann varken att knäckesjukans omfattning eller att förekomsten av asp var kopplat till brandhårdhet/alt. hur hårt det brunnit. Däremot fanns det variationer i knäckesjukans omfattning mellan de geografiska områdena. Denna variation var kopplad till förekomsten av asp. Områden med hög förekomst av knäckesjuka hade hög förekomst av asp. Det gick inte att styrka att viltbete hade någon påverkan på angrepp av knäckesjukans.

Idag är ca 15 % av tallplantorna på brandfältet infekterade av knäckesjuka. Det finns stora skillnader i hur olika geografiska områden drabbats av svampen. Med det i åtanke och att svampen kan drabba tallföryngringar upptill 15 års ålder bör det finnas en stark oro för att utbredningen av knäckesjukan kan öka i framtiden.

Nyckelord: Brandhårdhet, Knäckesjuka, Asp, Salabrännan, Viltbete

Abstract

Pine twisting rust (*Melampsora pinitorqua*) is a forest pathogen that causes damages to young pine seedlings (*Pinus sylvestris*). The fungus is dependent on two alternate hosts: aspen (*Populus tremula*) and pine to complete its lifecycle. Previous studies show a distinct correlation between hard fire severity and a vigorous regeneration of deciduous aspen seedlings. Studies of pine twisting rust show that the pathogen is strongly related to the presence and density of aspen at the stand level. No study so far has focused on how pine twisting rust infect regenerating pine seedlings after a forest fire. The aim of this study was to explore if a possible correlation between fire severity and pine twisting rust exists and to examine if fire severity intensify infection indirectly through an increased presence or amount of aspen biomass. The study also examined if ungulate browsing has a negative or positive impact on the infection of pine twisting rust.

The study was located at the fire field in Sala and the inventory was carried out in eleven stands in four geographically distinct areas. The forest fire of summer 2014 outside Sala is unique in Sweden for its size and degree of fire severity. The fire damaged 14 000 hectare of forest and caused a large variation in fire severity. Both before and after the fire there has been an active forestry. There have been observations of pine twisting rust in the pine regenerations and reports of large numbers of ungulates utilizing/within the area. All this makes the fire field in Sala well suited for studying the relationship between pine twisting rust, fire severity, asp density and ungulate browsing.

This study shows that fire severity had neither a significant effect on the infection of pine twisting rust nor on the density of aspen. However, there was significant variation in the infection of pine twisting rust between different geographical areas, which was a result of differences in the amount of aspen. Areas with high presence of pine twisting rust had large amounts of aspen. Ungulate browsing showed neither a negative or positive effect on the amplitude of pine twisting rust.

Today around 15 % of the pine regeneration on the fire field is infected by pine twisting rust. There is a large variation in the degree of infection of pine twisting rust between different geographical areas. Given that the pathogen can infect pine regenerations up to an age of 15 years there is an enhanced risk that the spread of the pathogen could increase in the future.

Keywords: Fire severity, Pine twisting rust, Aspen, the Sala Fire, Ungulate browsing

Inledning

Som skogsägare kan det vara förödande att drabbas av en större skogsbrand och om föryngringen därefter misslyckas p.g.a. t.ex. en skoglig skadegörare förvärras situationen ytterligare. Föryngringskostnaderna efter slutavverkning tillhör en av de största posterna under en omloppstid för en skogsägare och det är väldigt viktigt att föryngringen lyckas för att få ett lönsamt skogsbruk (Rosvall *et al.* 2007). Det finns en del risker kopplade till föryngring efter brand. De idag vedertagna skogliga skadegörarna efter brand är rotmurkla och snytbagge (Clancy *et al.* 2006, Pitkänen *et al.* 2005). Hårda bränder skapar goda frögroningsbäddar vilket i sin tur gynnar rikliga lövetableringar. Förutom att det kraftiga lövuppslaget kan konkurrera och hämma barrföryngringarna kan det också finnas rikliga mängder asp (*Populus tremula*) i dem (Lecomte *et al.*, 2006, Granström 1991). En skoglig skadegörare på ung tall (*Pinus sylvestris*) som är starkt relaterad till asptäthet på beståndsnivå är rostsvampen knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua*). Svampen orsakar en skada på tallens årsskott som resulterar i minskad tillväxt och timmerkvalité (Klingström 1963). Det finns inga studier gjorda om knäckesjuka i tallföryngringar efter brand, därför kommer denna studie fokusera på knäckesjukans omfattning på brandfältet utanför Sala. Skogsbranden från sommaren 2014 är unikt i Sverige för dess storlek och brandhårdhet. Det har rapporterats om angrepp av knäckesjuka på brandfältet och det finns en oro att det rikliga aspuppslaget efter den kraftiga branden skall förvärra svampens utbredning.

Skogsbrand

Innan införandet av trakthyggesmetoden på 1950-talet och det moderna skogsbruket var skogsbranden den mest betydande störningsfaktorn inom det boreala barrskogsbältet. Före mitten på 1800-talet utsattes våra boreala skogar av upprepade skogsbränder som startades av blixtnedslag eller mänsklig aktivitet (Zackrisson 1977). Skogsbranden har ofta en mycket positiv effekt på hela skogsekosystemets produktion och mångfald. Den skapar substrat och habitat åt en mängd brandberoende djur, svampar och växter (Granström 2001). Variationer av brandhårdhet skapar en heterogen trädsammansättning och varierad struktur inom bestånd och landskap, vilket gynnar den biologiska mångfalden (Johnstone & Chapin 2006). Intervallet mellan skogsbränder är beroende av faktorer som ståndortsindex, mänsklig påverkan, klimat, altitud och landskapets struktur.

Idag sker de flesta skogsbränder under kontrollerade former och utgörs av naturvårdbränningar eller hyggesbränningar utförda av skogsbolag och länsstyrelser (Linder, *et al.* 1998; Niklasson & Nilsson 2005). Det finns idag indikationer på ett förändrat brandbeteende samt att aktiviteten av skogsbränder ökar p.g.a. klimatförändringarna (Brecka *et al.* 2018, Dale *et al.* 2001, Stocks *et al.* 2009). Till år 2060 prognostiserar forskarna att den årligt brända skogsmarksarealen kommer ha ökat i Nordamerika med 50 % (Dale *et al.* 2001). Brandintensiteten, dvs energiutvecklingen under brand kan variera och styrs främst av tre omvärldsfaktorer: bränsle, vädret, och topografin (Hansen 2003). Skogsbränslet består av mossor, gräs, ris och träd och dess egenskaper i form av fukthalt, storlek, mängd, kontinuitet samt skogstyp påverkar brandförloppet (Hansen 2003). Brandens generella beteende påverkas i stor utsträckning av vädret innan och under branden (lufttemperatur, vind, luftfuktighet, nederbörd, luftens

stabilitet) (Hansen 2003). Spridningen styrs av topografin över landskapet såsom sluttningars lutning och riktning, höjd över havet, brandbarriärer och landformationer (Hansen 2003). Efter brandfronten passerat kan det pågå glödbränder i humuslagret i flera veckors tid. Glödbränder har lägre temperatur och kan ligga och glöda i syrefattiga miljöer en längre tid för att plötsligt flamma upp (Hansen 2003).

Brandens inverkan på den skogliga återetableringen styrs främst utav brandintensitet och hårdhet. Definitionen av brandhårdhet är hur mycket av humuslagret som förbränts (Johnstone & Chapin 2006). Brandhårdheten (bränningsdjupet) kan också variera och är starkt kopplat till markfuktigheten vid brandtillfället. Brandhårdheten är också kopplat till tidsintervallet mellan bränder. Långa intervall skapar ett tjockt marktäcke med organiskt material som i sin tur inte konsumeras helt vid brand, vilket resulterar i en lätt brandhårdhet (Lecomte et al. 2006). En längre torka krävs för att humuslagret skall förbrännas och för att mineraljorden helt ska blottas (Niklasson & Nilsson 2005). Tidigare studier har visat att ett humuslager tjockare än 2,5 cm efter brand är ett tröskelvärde för att erhålla en lyckad (naturlig) förnygring det är även känt att brandhårdheten har en positiv inverkan på groning och tillväxt de tre första åren efter brand (Bansal et al 2014, Johnstone & Chapin 2006).

Produktionsskogarna blir allt mer monokulturer, både i genetiken och trädslagsblandningen och studier visar att risken att drabbas av mer omfattande angrepp av skogliga patogener ökar (Labbe et al. 2017, Haas 2011). Bestånd med en smal genetisk variation löper en högre risk att helt slås ut vid en invasion av skadegörare (Labbe et al. 2017). En ökad heterogenitet inom landskap och bestånd har visat sig minska omfattningen av skador från skogliga skadegörare (Haas 2011). Det finns en del forskning om skogliga skadegörare kopplade till skogsbrand, bl.a. rotmurkla och angrepp av snytbagge (Clancy et al. 2006, Pitkänen et al. 2005). Vid svärmning attraheras snytbaggen av lukten från nybrända hyggen, där den sedan landar och lägger ägg i stubbarna. Äggen och larverna utvecklas och lagom till efterplantering finns en ny generation. Snytbaggarnas näringsgnag ringbarkar plantorna och orsakar mortalitet (Pitkänen et al. 2005). Värmen från skogsbränder aktiverar rotmurklans vilande sporer i marken. Sporererna utvecklas till mycel och svamp och orsakar rotröta på barrplantor med död som följd (Stenlid & Vasiliauskas 2001). Få studier, om någon har forskat kring hur knäckesjuka påverkar tallförnygringar efter en brand.

Knäckesjuka

Knäckesjuka är en av våra vanligaste patogener på tall. Känsligast för infektioner är tallen upptill 15-års ålder (Lagerberg 1945). Den förekommer över hela landet men med högst koncentration i Norrland. Det första noterade svampangreppet i Sverige gjordes år 1872–73 i en 2–3 årig tallföryngring på ett brandfält i Vadsbo, Västergötaland (Sylvén 1918). Knäckesjuka är en svamp som värdeväxlar mellan ung tall och asp för att fullborda sin 1-åriga livscykel. Växlingen mellan värdträd är obligatoriskt för svampens utveckling och kräver att båda trädslagen finns inom några hundra meter för att vara effektiv. Aspen påverkas genom att bladen och unga skott kan bli helt övervuxna av svampens rostsporer i slutet av växtsäsongen medan när tallen angrips orsakas ett sår på årsskottet, såret orsakar en svaghet som gör att årsskottet böjs eller knäcks. Tidigare studier visar att förekomst av knäckesjuka är starkt relaterat till närvaro och asptäthet på beståndsnivå (Klingström 1963). Det finns därför en stark oro att den hårda brandhårdheten på brandfältet i Sala skall skapa täta föryngringar av asp som i sin tur ökar omfattningen av knäckesjukans spridning.

Livscykel

Under våren mognar basidiesporerna på döda asplöv. För mognad och spridning av sporer krävs fuktiga och svala förhållanden under denna period. Basidiesporerna sprids sedan med hjälp av vind över stora avstånd för att som mål träffa och infektera tall (Sylvén 1917, Klingström 1973). Basidiesporerna gror sedan på tallen i 14 dagar och utvecklas till aecidiesporer, rostgula fruktkroppar växer fram på tallens årsskott (Sylvén 1917). Aecidiesporerna sprids och infekterar närliggande aspar, aecidiesporerna utvecklas till gula samlingarna av uredosporer på undersidan av asplöven (Sylvén 1917). Uredosporerna kan spridas mellan asplöven under sommaren, vilket orsakar en intensifiering utav utbrottet. Under hösten utvecklas uredosporerna under aspbladen till teliosporer, sporererna mognar och byter färg till svart. Teliosporerna ligger sedan vilande på fallna asplöv under vintern för att under våren gro och utvecklas till basidiesporer vilket fullbordar hela livscykeln (Pei & Shang 2005).

Symtom

Under försommaren kan rostgula fruktkroppar urskiljas på tallens årsskott. Svält och fuktigt väder är en förutsättning för infektion och sårbildning. Varmt och torrt väder torkar ut fruktkroppen som då blir svart, vilket minskar skadan på tallplantan (Klingström 1963). Angrips endast ena sidan av årsskotten får det en S-form, men har fruktkroppen skadat kambiet runt hela grenen knäcks årsskottet, därav svampens namn. Under hösten kan ett uttorkat svart/grått sår med utsöndrad hartsvätska identifieras på årsskotten. Vid svåra angrepp har plantor yngre än 2 år en högre mortalitet än äldre (Skogsstyrelsen 2001).

Viltbete

Skogsskador p.g.a. viltbete är idag mycket omfattande, förutom förluster i virkesproduktion och kvalitetsnedsättningar utgör viltbetet på lokal nivå ett hot mot den biologiska mångfalden (Bergström & Danell 2010, Angelstam et al. 2000). Kraftigt viltbete styr våra skogar mot granproduktion samt minskar förutsättningarna för RASE (Rönn, Asp, Säl, Ek) att bli trädbildande (Bergqvist 1998). Enligt en studie av Manssons et al. (2015) är asp, säl och rönn ett mycket eftertraktat foder för klövvilt. Deras studie visade att klövvilt föredrog nämnda lövträd 14 gånger mer än tall och björk, vilket kan förklara att större brandfält lockar till sig stora populationer av klövvilt. Stora populationer av klövvilt ökar risken för bete på dels den uppväxande lövföryngringen men också på unga tallplantor (Heikilla & Harkonen 1996). Det finns inget publicerat material om klövviltets bete kan ha en mildrande effekt på knäcksjukans utbrott genom att hålla tillbaka aspens utbredning eller om viltbetet resulterar i ännu tätare mattor av asp sly p.g.a. aspens reaktion vid skottskjutning efter viltbete (Skogsstyrelsen 2001).

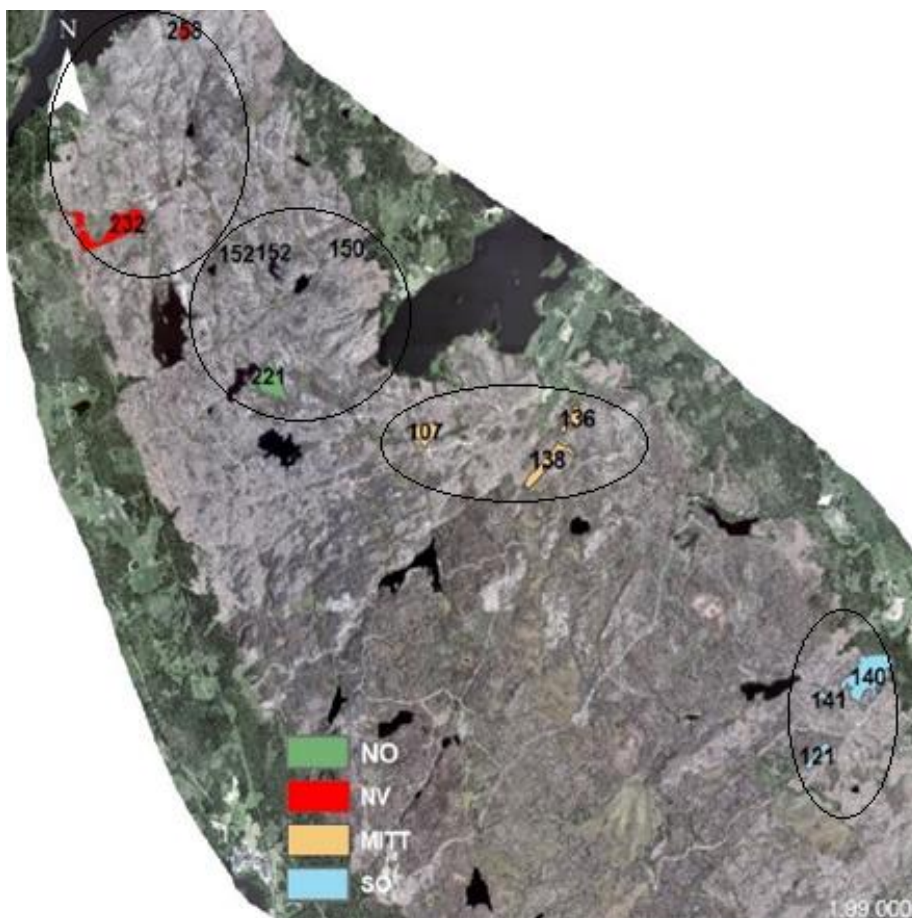
Syfte och frågeställningar

Syftet med examensarbetet är att öka kunskapen kring sambandet mellan brandhårdhet (bränningsdjup) och utbrott av knäcksjuka hos planterade tallplantor som en följd av ökad förekomst av asp. De frågeställningar som skall besvaras i arbetet är:

- 1) Finns det ett samband mellan utbrott av knäcksjuka och brandhårdhet, dvs. är andel tallplantor infekterade med knäcksjuka kopplat till brandhårdhet?
- 2) Är täthet och biomassa av självföryngrad asp relaterad till knäcksjukans omfattning och är den i så fall oberoende av brandhårdhet?
- 3) Vilket inflytande har viltbete på asp på knäcksjukans infektion på tallplantor i områden med hög respektive låg brandhårdhet?
- 4) Finns det geografiska skillnader inom brandfältet i knäcksjukans utbredning och är denna skillnad kopplad till brandhårdhet (bränningsdjup)?

Material och metoder

Torsdagen den 31 juli 2014 tändes ett markberedningsaggregat en gnista som startar den största skogsbranden i modern svensk historia. Sommaren 2014 var ovanligt varm och det rådde långvarig torka, SMHI varnade för extremt hög brandrisk. Det blåste även kraftigt så förutsättningarna för skogsbränder var mycket gynnsamma. Under måndagen den 4 augusti blåser det upp ytterligare, brandintensiteten ökar och flygbränder skapas vilket leder till att branden sprider sig enormt fort med hastigheter upptill 90 m/minut. Dagen efter sjunker temperaturen och vindarna minskar men innan branden är under kontroll har branden skadat 14 000 ha skog varav 9600 ha är produktiv skogsmark (Gustavsson 2014). Brandförloppet gav upphov till stora variationer av brandhårdhet (bränningsdjup) och en genomgående hög dödlighet hos stående träd. Området blir unikt i Sverige både vad gäller brandens areella omfattning, ekonomiska konsekvenser och brandens ekologiska effekter. Branden är därmed ett typiskt exempel på ett för svenska förhållanden ovanligt brandbeteende Rogers et al. (2015) men som kan förutspås bli vanligare i framtiden p.g.a. klimatförändringarna (Dale et al. 2001). Både före och efter branden har det bedrivits ett aktivt skogsbruk på brandfältet. På stora delar av området, avverkades den brandskadade skogen ganska omgående och planterades sedan med tall. Efter branden har det observerats knäcksjuka i tallföryngringarna och det har även rapporterats om stora populationer av klövvilt (Jonas Bergqvist SVS, u.å.). Allt detta gör området utmärkt för att studera sambandet mellan utbrott av knäcksjuka, brandhårdhet, aspförekomst och viltbete.



Figur 1. Karta över 11 inventerade bestånd på brandfältet utanför Sala. Karta från © Lantmäteriet
Figure 1. Map of 11 inventoried stands after the Sala fire in Västmanland. Source: © Lantmäteriet

Försöksdesign

Den 25 oktober 2017 besöktes brandfältet i Sala tillsammans med skogsskötselspecialister från Skogsstyrelsen. Därefter gjordes en utsökning av bestånd i Skogsstyrelsens GIS program Silvergranen. Anledningen till att den södra delen av brandfältet inte är med i studien är att den utgörs av Hälleskogsbrännans naturreservat och är således inte planterad med tall. De bestånd som skulle inventeras skulle uppfylla följande fördefinierade urvalskriterier:

- 1) Planterade med täckrotsplantor under 2016
- 2) Avverkade efter branden men ej markberedda
- 3) Utspridda över hela brandfältet
- 4) Varje bestånd skulle omfatta områden med olika brandhårdhet (bränningsdjup)

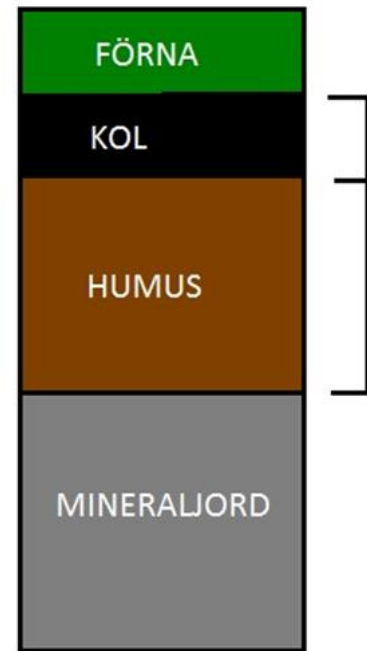
Utifrån bestånden som uppfyllde kravspecifikationen kunde fyra geografiskt spridda områden (nordväst, nordost, mitt, sydost) urskiljas se karta (Fig 1). Tre bestånd inom varje geografiska område lottades fram, förutom i nordväst där det endast fanns två bestånd planterade med tall under 2016. Totalt inventerades 11 bestånd (Fig 2). Inom varje bestånd anlades tre cirkelprovytor (radie=5,64) på mark som uppskattades ha brunnit hårt och tre ytor på mark som brunnit mindre hårt. För att verifiera graden av brandhårdhet mättes humusskiktets (inklusive det översta kollagret) tjocklek ner till mineraljorden (Fig 3, Fig 4) på 20 punkter inom varje cirkelprovyta i ett korslagt mönster åt alla väderstreck med en meters avstånd mellan punkterna (Fig 5). Ytor med ett humusdjup ≤ 25 mm i medeltal klassades som ytor med hög brandhårdhet (bränningsdjup) och ytor med humusdjup >25 mm i medeltal klassades som lågbrandhårdhet (Fig 3, Fig 4). Om alla tre hårt brända provytor var inventerade och nästa provyta också fick ett medelvärde ≤ 25 mm så förkastades denna provyta. Alla sex cirkelprovytor placerades på minst ett avstånd av 10 m från varandras yttre gränser. Ett ytterligare krav för cirkelytorernas placering var frånvaro av fysiska hinder som påverkat föryngringen (planteringen) i allt för stor grad t.ex. block/hällar, stora mängder hyggesrester, diken m.m. Det totala antalet provytor som anlades var 66 (11 bestånd *2 brandhårdheter *3 provytor/ bestånd) =66 provytor. Inom varje av 66 cirkelprovytor mättes humusdjupet 20 ggr, vilket resulterade i totalt 1320 mätpunkter.



Figur 2. Översiktsbild över ett inventerat bestånd
Figure 2. Picture of one of the inventoried stands.



Figur 3. Mätning av brandhårdhet
Figure 3. Measurement of fire severity

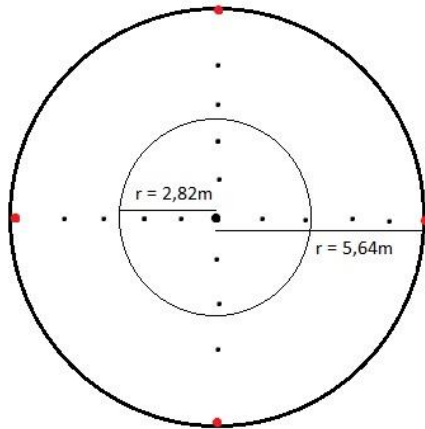


Figur 4. Illustration över mätning av brandhårdheten. Avståndet från översta träkolsslaget ned till mineraljorden mättes med en tumstock.

Figure 4. Illustration of the measurement of fire severity (charcoal layer and humus depth)

Inom varje cirkelprovyta ($r=5,64\text{m}$) dokumenterades förekomst av typiska symtom orsakade av knäcksjuka på alla planterade tallplantor genom att titta efter uttorkade fruktkroppar av svampen, typiska skador på tallens årsskott eller mortalitet orsakade av knäcksjuka (Klingström 1963; Sylvén 1917). Det finns i Sverige idag en annan svampsjukdom *Diplodia pinea* som kan ge liknande symtom hos tall (Oliva et al 2013), men jag kunde inte under inventeringen identifiera några symtom på att brandfältet infekterats med *Diplodia pinea*. Denna svamp är än så länge ovanlig i Sverige och det finns inga rapporter från detta område. Det är därför liten sannolikhet med en förväxling även om det inte helt kan uteslutas. Inom de flesta provtytor fanns det gott om självföryngrad tall. För att undvika inkludera självföryngrad tall i studien undersöktes varje planta noggrant för att finna spår av behandlingar såsom conniflex samt frigolitkulor runt plantan.

Inom om varje cirkelprovyta (r=5,64m) lades även en mindre (r=2,82 m) cirkelprovyta ut som utgick ifrån samma centrumpinne (Fig. 5). Inom denna yta räknades alla självföryngrade aspplantor för att svara på om täthet av asp korrelerar med utbrott av knäcksjuka och brandhårdhet. För att skatta aspvolymen för varje provyta mättes höjden från bas till topp på fem för provytan representativa aspplantor med tumstock och stambasdiametern klavades med skjutmått. Volymen för varje aspplanta beräknades med en enkel funktion med 1/3 som basformtal efter Nilsson & Wilhelmsson (2012).



Figur 5. Illustration av en cirkelprovyta
Figure 5. Illustration of a circle plot

$$\text{Basgrundyta} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

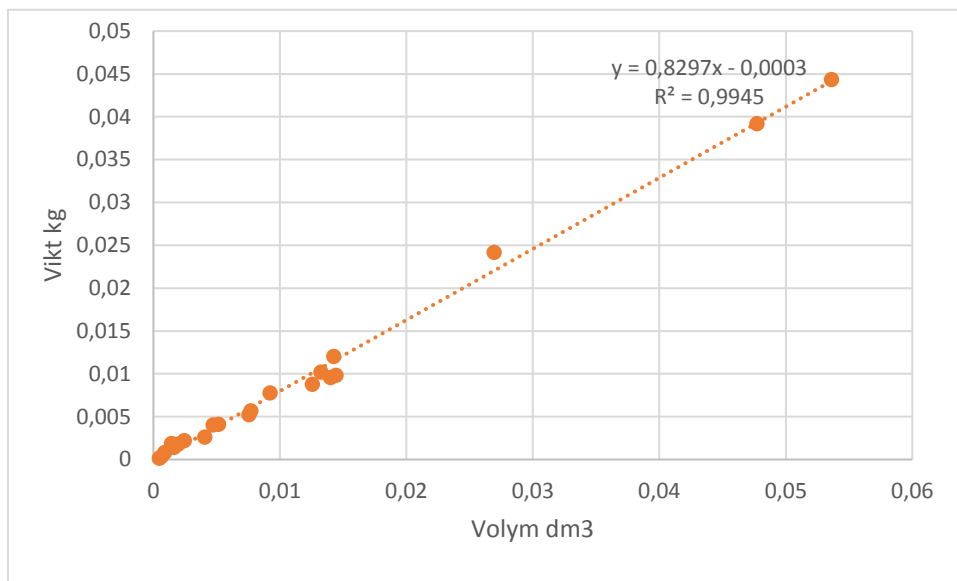
$$\text{Volym} = \text{Höjden} \times \text{Basgrundyta} \cdot 1/3$$

Dessa volymtal användes senare för att skatta mängden aspbiomassa per provyta (se nedan). Skador på aspplant orsakade av viltbetning dokumenterades genom att räkna alla aspplant inom provytan som hade betade årsskott.

Antal aspar per ytenhet förklarar bara förekomsten av asp (täthet) och för att få ett säkrare mått hur mycket asp som finns i bestånden skattades även aspbiomassan. För att beräkna hur aspplantornas volym (se ovan) förhåller sig till vikt så samlades ytterligare 21 aspplantor in från brandfältet. De insamlade asparna hade en höjd mellan 15–100 cm med ett höjdivtervall på 5 cm ex: 15,20,25,30 osv. De färskasparna togs till labb och mättes på höjden och basdiametern klavades. Därefter bestämdes asparnas torrsvikt genom att de klipptes de ner i papperspåsar för att sedan torkas i torkskåp (60 °C) i 5 dagar. Därefter vägdes de på en våg.

En allometrisk ekvation av asparnas volym och vikt skapades i Excel (Fig 6). Ekvationen $y = 0,8297x - 0,0003$ där $y =$ vikt och $x =$ volym fick en hög förklaringsgrad $R^2 = 0,9945$. Ekvationen användes sedan för att räkna ut aspbiomassan för provytorna utifrån volymen från de representativa aspplantorna för provytan. För att skatta aspbiomassan ts kg/ha multiplicerades aspbiomassan med asptätheten som räknats vid inventeringen.

$$\text{Aspbiomassa ts kg/ha} = \text{Representativ Aspbiomassa/ha} \times \text{asptäthet/ha}$$



Figur 6. Relationen mellan asplantors vikt och volym

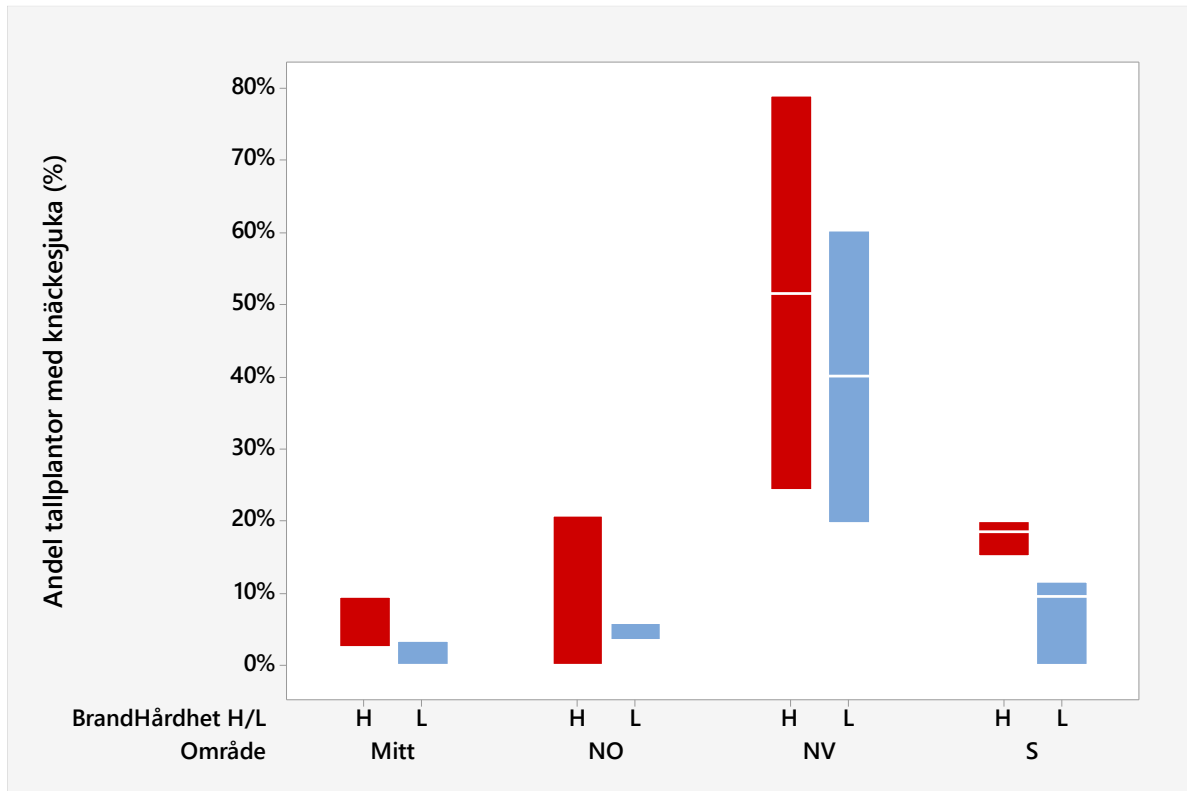
Figure 6. The relationship between weight and volume of aspen seedlings

Databearbetning och statistiska analyser

Sammanställningen och sortering av insamlad data gjordes i Excel. Data som insamlats från varje grupp av 3 provytor bildade ett medelvärde och varje bestånd för respektive brandhårdhet utgör ett oberoende replikat (n= 11). De statistiska analyserna utfördes i MiniTab 17.. För att testa variablernas (brandhårdhet, aspbiomassa, andel viltbetad asp och geografiskt område) inverkan på förekomst av knäcksjuka och mängden aspbiomassa användes regressionsanalys. För att ta reda på om det fanns samspelsinteraktioner mellan dessa variabler och förekomst av knäcksjuka användes en multipel regressionsanalys. De kontinuerliga variablerna i regressionsmodellen utgjordes av aspbiomassa, andel viltbetad asp och de kategoriska variablerna bestod av brandhårdhet (Hårt vs Lätt) och geografiskt område (Mitt, Nordväst, Nordost, Sydost). Brandhårdhet som kontinuerlig variabel testades också, men visade ingen skillnad mot att ha det som en kategorisk variabel (data redovisas inte). Signifikansnivån $p < 0,05$ och konfidensintervall 95% användes i alla statistiska analyser. Förklaringsgraden R-sq (adj) beskriver hur väl den beroende responsvariabeln kan förklaras av variationen i de oberoende variablerna. R-sq(adj) kan få värden mellan 0 och 1, högst förklaringsgrad har värden närmast 1. SE regressions beskriver medelavståndet mellan regressionslinjen och de observerade värdena. MiniTab användes också för att ta fram den beskrivande statistiken till studien. En Tukey Studentized test Pairwise comparison utfördes på alla variabler i den beskrivande statistiken för att testa om det fanns signifikanta skillnader mellan de geografiska områdena.

Resultat

I alla 11 inventerade tallföryngringar kunde typiska toppskottskador orsakade av knäckesjuka identifieras (knäckta och böjda toppskott, sår). I drygt hälften (51 %) av de totalt 66 cirkelprovytorna som inventerades återfanns minst en tallplanta med symtom på knäckesjuka. Inventeringen visade att 15,1 % av alla tallplantor inom det inventerade brandområdet uppvisar skador orsakade av knäckesjuka.



Figur 1. Andel tallplantor (%) med knäckesjuka i bestånd med hårt (H) och lätt(L) brandhårdhet inom fyra geografiska områden (Mitt, NO, NV och SO) på brandfältet utanför Sala i Västmanland. Lådornas längd beskriver området mellan första och tredje kvartilen, det horisontella strecket i varje låda beskriver medianvärdet. Lådorna utan horisontella streck betyder att medianvärdet är noll eller nära noll.

Fig 1. Proportion of pine seedlings infected with Pine twisting rust (%) in stands with hard (H) and light (L) fire severity across four geographical areas within the fire field near Sala in Västmanland. The length of the boxes describes the area between the first and the third quartile and the horizontal line in the boxes describes the median value. Boxes without a horizontal line means their median is zero or close to zero

Provytorna som brunnit hårdare hade en tendens till en högre andel tallplantor med knäckesjuka, men de statistiska analyserna fann inget signifikant samband mellan förekomst av knäckesjuka och brandhårdhet (Tabell 1, Fig 1). Däremot var förekomsten av tallplantor med knäckesjuka högre i områden med mycket aspplant vilket förklaras av ett signifikant samband mellan aspbiomassa och område (Tabell 1). Det nordvästra området av brandfältet hade ungefär 12,5 ggr fler infekterade plantor än område Nordost och Mitt, aspbiomassan i nordväst var också 2,2 ggr högre än i område Nordost och Mitt (Tabell 3). Analysen visade att det fanns signifikanta skillnader mellan de geografiska område i andelen tallplantor infekterade med knäckesjuka (Tabell 2) men den variationen berodde inte på brandhårdhet (Tabell 1). Regressionsanalysen visade att för varje kilo aspbiomassa/ha ökade andelen knäckesjuka generellt med 0,3 %.

Överlag var förekomsten av asp, oberoende av brandhårdhet ($P=0,585$, data som inte visas) (fråga 2). Andelen tallplantor med knäckesjuka förklarades inte heller av någon samspelsinteraktion mellan aspbiomassa och brandhårdhet (vid den multipla regressionsanalysen).

Det fanns stora variationer i mängden aspbiomassa inom brandområdet. Över hela det inventerade brandfältet beräknades aspförekomsten till $35,4(\pm 8,7)$ ts kg/ha i medeltal (tabell 4). Totalt uppvisade 7 % (± 2) av alla aspplantor skador av viltbete (Tabell 4.) Det fanns inget samband mellan andelen aspplantor betat av vilt och andel tallplantor angripna av knäckesjuka (fråga 3) (Tabell 1). Analysen visade också att andelen viltbetad asp varken hade en positiv eller negativ påverkan på mängden aspbiomassa ts kg/ha ($P=0,97$, data som inte visas) och att omfattningen av viltbete var oberoende av brandhårdhet (Tabell 1) (fråga 3).

Tabell 1. Multipell regressionsanalys av studiens olika miljövariabler och dess inverkan på andel tallplantor infekterade med knäckesjuka, från 11 inventerade bestånd på brandfältet utanför Sala i Västmanland

Table 1. Multiple regression analysis of different environmental variables and their interaction on the proportion of pine seedlings infected with Pine twisting rust amongst 11 forest stands within the Sala fire field in Västmanland

Variabel	DF	P-värde	SE	R ² -sq(adj) regression
Brandhårdhet (hård) vs. (lätt)	1	0,371	1,0057	0,00 %
Aspbiomassa (ts kg/ha)	1	0,003	0,8169	33,51 %
Område	3	0,002	0,7332	46,44 %
Andel viltbetad asp (antal/ha)	1	0,205	0,9825	3,31 %
Aspbiomassa *Brandhårdhet	1	0,671	0,167	28,64 %
Aspbiomassa *Område	3	0,000	0,062	90,51 %
Andel viltbetad asp*Brandhårdhet	1	0,83	0,9748	0,00 %
Brandhårdhet*Område	1	0,886	0,1443	47,29 %

Resultat i fetstil indikerar signifikant p-värde. c. R²-sq(adj) visar modellens förklaringsgrad.

Tabell 2. Medianvärden av andel tallplantor infekterade med knäckesjuka uppdelat i fyra geografiska områden

Table 2. Median values of the proportion pine seedling infected with Pine twisting rust grouped in four geographic areas

Område	N	Median	Medel \pm SE	StdAvv
Mitt	6	2,38 % b	1,42 %	3,47 %
NO	6	3,42 % b	3,16 %	7,75 %
NV	4	42,3 % a	14,3 %	28,6 %
SO	6	13,3 % ab	2,97	7,27 %

Olika bokstäver indikerar signifikanta skillnader ($P < 0,05$) enligt Tukey Studentized test Pairwise comparison

Beskrivande statistik

De hårt brända områdena hade ett kol-humusdjup som i genomsnitt var tunnare än 24 mm men tjockare än 18 mm. I de lätt brända områdena fanns mellan 35 mm och 56 mm kol-humus kvar (Tabell 3). Områdena som brunnit hårdare hade en genomsnittlig aspmängd mellan 21,1–78,8 kg ts/ha, medans det lättare brända markerna hade en aspmängd mellan 3–45,5 kg ts/ha. Överlag var omfattningen av viltbete väldigt låg, men det fanns stora lokala variationer mellan provytorna.

Tabell 3. Medelvärden och \pm medelfel för studiens variabler uppdelade i Hårt (H) och Lätt (L) brandhårdhet inom fyra olika geografiska områden på brandfältet utanför Sala i Västmanland

Table 3. Mean and SE Mean divided in hard (H) and light (L) fire severity across four geographical areas within the Sala fire in Västmanland

Brandhårdhet		MITT		NO		NV		SO	
Brandhårdhet	H	21a	$\pm 1,8$	18,8a	$\pm 1,8$	22,1a	$\pm 1,6$	24a	$\pm 1,7$
	L	35,3a	$\pm 2,3$	55,9a	$\pm 18,9$	35,3a	$\pm 6,7$	44,9a	$\pm 1,9$
Asp biomassa ts kg/ha	H	23,6a	$\pm 13,7$	21,1a	$\pm 16,8$	78,8 a	$\pm 50,2$	59,3a	$\pm 41,8$
	L	17,4a	$\pm 9,8$	15,1a	$\pm 4,1$	3 a	$\pm 23,6$	45,5a	$\pm 30,4$
Andel viltbetad asp/ha (%)	H	10,3a	$\pm 10,3$	2,8a	± 2	0a	± 0	11,5a	$\pm 2,2$
	L	15,3a	$\pm 11,9$	6,2a	$\pm 5,2$	2,3a	$\pm 0,7$	6,1a	$\pm 3,3$

Not: Olika bokstäver indikerar signifikanta skillnader ($P < 0,05$) enligt Tukey Studentized test Pairwise comparison. Brandhårdheten (kol-humusdjup) är uppdelat i Hårt (H) (≤ 25 mm) respektive Lätt (L) (> 26 mm). n=9 i område Mitt, No och SO. n=6 i område NV.

Diskussion och slutsatser

Huvudsyftet med denna studie var att undersöka sambandet mellan brandhårdheten (bränningsdjup) och angrepp av knäckesjuka i tallföryngringar. Resultatet visade att brandhårdheten inte hade någon inverkan på knäckesjukans omfattning, vilket kan förklaras av att brandhårdheten inte heller påverkade mängden aspbiomassa efter brand. Detta är förvånande då tidigare studier har visat en stark korrelation mellan ökad brandhårdhet och etablering av självföryngrad löv (Lecomte et al. 2006, Granström 1991). Både inventeringen och analyserna visade tendenser till att hårdare brända områden hade större mängder asp och mer knäckesjuka, men variansen var för stor för att visa på signifikanta skillnader. Inventeringen visade att ca 15 % av tallplantorna på brandfältet är infekterade med knäckesjuka, den visade dock en låg dödlighet orsakad av knäckesjuka. Det är möjligt att fler provytor och högre antal frihetsgrader hade minskat variansen. Det låga R^2 (adj) indikerar att det finns andra faktorer än brandhårdhet som påverkar både knäckesjuka och aspmängd (se nedan). Det hade varit önskvärt om det funnits fler bestånd i det nordvästra området som uppfyllde studiens specificeringskrav, då det var i detta område angreppen av knäckesjuka var som mest omfattande. Underlaget att studera brandhårdhetens betydelse hade inom det här området varit större, då det fanns färre s.k. nollytor (provytor utan knäckesjuka). Brandhårdheten testades även som kontinuerlig variabel, vilket visar att studiens avgränsning av brandhårdhet inte påverkade resultatet.

Resultatet att en hög förekomst av asp inom bestånden ger upphov till en högre andel tallplantor infekterade med knäckesjuka är samstämmigt med tidigare studier inom ämnet (Klingström 1963, Mattila et al 2001). Simuleringar gjorda i Mattilas (2005) studie visade att aspförekomst var den faktorn som hade störst påverkan på om ett bestånd blir infekterade av knäckesjuka eller inte. Fanns det asp i beståndet ökade risken för knäckesjuka med 17,4 gånger. I deras studie analyserades främst asptäthetens påverkan. I min studie analyserades dessutom aspbiomassans påverkan på knäckesjukan. Aspbiomassan visar mängden asplöv bättre, vilket är en den avgörande faktorn för utvecklingen av knäckesjukans sporer. Resultatet i denna studie visade att för varje kilo aspbiomassa per hektar ökade andelen tallplantor med knäckesjuka med 0,3 %. Analyserna i den här studien kunde som ovan nämnts ej styrka att variationerna i aspförekomst berodde på brandhårdheten, vilket betyder att det finns andra faktorer som påverkat mängden aspbiomassa (se nedan).

Att en ökad andel viltbetad asp skulle ha en positivt eller negativ påverkan på andelen tallplantor infekterade med knäckesjuka kunde inte heller styrkas. De tidigare observationerna av stora populationer av klövvilt inom området verkar inte ha orsakat några omfattande beteskador på asp inom det inventerade området. Inventeringen visade överlag en låg andel viltbetad asp över hela brandområdet, även om några bestånd var mer utsatta. Eftersom viltskadorna var så pass färsk kunde knappt några skottskjutningsdeformationer på asp efter viltbete identifieras. Enligt Gruell & Loope (1974) studie krävs det upprepade viltbete för att aspen skall få ett buskigt utseende. Lövträd som blivit utsatt för viltbete ökar sin skottbiomassa följande år jämfört med obetade (Bergström et al. 1994). Däremot om viltbetet sker flera år i rad minskar skottbiomassan (Bergström et al. 1994). Viltbete på asp kan också orsaka ett kraftigt uppslag av rotskott, vilket ökar tätheten och skulle därmed kunna öka knäckesjukans omfattning på brandfältet i framtiden (Gruell & Loope 1974).

Analysen pekade på att det finns geografiska variationer i hur olika områden är påverkade av knäckesjuka. Samspelsinteraktionen mellan områden och aspbiomassa indikerar att aspförekomsten är orsaken till att de olika områden har drabbats olika av knäckesjuka. Det är framförallt området i nordväst och i syd som sticker ut. Karakteristiskt för dessa bestånd är att de ligger geografiskt placerat nära utkanterna på brandfältet, vilket kan förklara den stora tätheten och återetableringen av asplant och som resultat av det andel tallplantor infekterade med knäckesjuka (Fjellborg 2009). Att området i nordväst är särskilt angripet av knäckesjuka kan bero på att den härskande vindriktningen i Västmanland är sydvästlig (SMHI 2017), vilket gör att nordvästra området bör invandras först av både vindburna aspfrön och knäckesjukans basidiesporer (Sylvén 1917).

Tidigare studier har visat att angreppen av knäckesjuka ökar med toppskottslängden hos tallplantan som en orsak av bonitet och tillväxt (Mattila *et al.* 2001, Mattila 2005). Lokala skillnader i bonitet kan bidra till variationer i knäckesjuka mellan de geografiska områdena, men data (markprover - näringsanalys) saknas för att dra sådana slutsatser. Brandhårdheten (bränningsdjup) påverkar mängden kväve som är tillgängligt i marken efter branden (Baird *et al.* 1999) och kan således skapa lokala variationer i bonitet. Ett område där allt organiskt material förbränts ända ner till mineraljorden har liten mängd organiskt kväve kvar i marken, medan det oorganiska kvävet som är tillgängligt för plantorna kan vara hög i några år efter brand särskilt om en del av humuslagret finns kvar. Enligt Bansal *et al.* (2014) ökar planttillväxten och kväveinnehållet som en orsak av ökad mineralisering av organiskt material med en ökad brandhårdhet ned till 25 mm. Detta skulle påverka toppskottslängden på tallplantor samt förekomsten av aspbiomassan per hektar positivt. Resultatet från Johnstones *et al.* (2006) studie styrker detta då deras studie visade att tillväxten på naturligt föryngrad contorta tall (*Pinus contorta*) efter brand var negativ korrelerad till tjocklek av humuslagret (organiskt material). Detta beror enligt studien på att plantan får sämre förutsättningar om fröet landar på ett tjockt humuslager, samt att mängden tillgängligt kväve för plantan är lägre. Det hade varit intressant att undersöka om brandhårdhet ur tillväxtpunkt påverkar knäckesjuka på ett brandfält. För att få svar på detta hade näringsprover, markprover och toppskottslängder behövts samlas in.

Praktisk tillämpning och framtiden

Studien visar att det finns stora variationer i knäckesjukans omfattning mellan områden och bestånd på brandfältet, där mängden av asp har en avgörande betydelse för dess förekomst. I en del områden finns ingen indikation på knäckesjuka medans i andra bestånd är redan nu 3 år (okt 2017) efter brand, över hälften av tallplantorna drabbade. Variationen av aspförekomst är också stor och aspbiomassan kommer att öka i framtiden i takt med att skogen växer upp. Eftersom knäckesjuka drabbar tallplantor upptill 15 års ålder går det inte att utesluta att knäckesjukans utbredning på brandfältet kommer öka i framtiden. Det är därför viktigt att återinventera tallföryngringar vid ett senare tillfälle då det gått längre tid sedan planteringstillfället (2015).

En möjlighet att minska knäckesjukans utbredning på brandfältet är aspsanering (Kurkela 1973). Eftersom svampens omfattning korrelerar med asp densiteten i bestånden (Kurkela 1973). Sker det genom röjning är tidpunkt på året extremt viktigt för att undvika att den röjda aspen skjuter rot och stubbskott. För bästa resultat bör röjningen utföras tidigt på sommaren, då innehåller rötterna och stubbarna minst energi för skottskjutning (Eliasson 1971). Åtgärden är dock kostsam och tidsödande på ett så stort område som brandfältet i Sala men kan vara ett

alternativ för att minska skadorna. Ett kontroversiellt alternativ är kemisk aspsanering med herbicider, vilket idag får ses som ett icke alternativ eftersom det är strikt reglerat i miljöbalken. Det finns dock möjlighet att få dispens av Skogsstyrelsen att bespruta med glyfosat (RoundUp) om det finns skäl till att en mekanisk sanering inte skulle klara åtgärden. Visar sig knäckesjukan skapa enorma problem för tallföryngringarna på brandfältet bör viktiga lärdomar tas med till eventuella liknande bränder i framtiden. Genom att avlägsna aspsträd inom och en bit utanför brandfält finns det möjlighet att minska aspplantors invandring och etablering (Eidmann & Klingström 1976). Detta är dock kontroversiellt då aspen är värdefull ur ett mångfaldsperspektiv och en mängd rödlistade arter är knutna till den. I områden med hög bonitet och där knäckesjuka finns i närområdet bör andra trädslagsalternativ än tall diskuteras, såsom lärk, contorta, eller gran. I denna studie är bara planterade tallplantor inventerade men det observerades även knäckesjuka på den självföryngrade tallen. Enligt Matilla (2005) är naturligt föryngrad tall mindre känslig för infektion p.g.a. att toppskottslängden är kortare än hos förädlade och planterade plantor. Detta skulle kunnat ha varit ett alternativ i de områden där avståndet till närmast levande frötall inte var för långt.

Behov av fortsatta studier inom området

Med framtiden i åtanke finns det ett behov av fortsatta studier på knäckesjukans utveckling på brandfältet. I och med att brandfältet är unikt för sin storlek skulle fortsatta studier om t.ex. knäckesjukans invandring inåt i brandfältet vara värdefullt. Det skulle exempelvis vara intressant att testa tesen i en mer kontrollerad försöksmiljö. Genom att identifiera nyligen avverkade områden med närhet till utbrott av knäckesjuka, därefter bränna försöksytorna hårt respektive lätt och sedan plantera försöksytorna med tallplantor, invänta aspföryngring, därefter vänta några år innan inventering är det möjligt att få ett tydligare resultat med mindre variation.

Det finns idag indikationer på att klimatförändringarna redan förändrat brandbeteenden och antalet skogsbränder (Brecka et al. 2018, Flannigan et al. 2009). Simuleringar gjorda av nordamerikanska forskare antyder att årlig bränd skogsmarksareal i USA kommer ha ökat med 25–50 % till år 2060 (Dale et al. 2001). Branden i Sala är ett exempel på ett brandförlopp som är icke typiskt för Sverige och eurasiska barrskogsbältet, som sällan drabbas av kronbränder utan oftast markbränder (Rogers et al. 2015). Ett varmare klimat skapar både torrare perioder och en längre brandsäsong. Klimatförändringarna kommer också påverka vegetationstypen och mängden biomassa tillgängligt som bränsle, vilket tros leda till att antalet skogbränder ökar i antal och areal (Dale et al. 2001, Flannigan et al. 2009). Ökar antalet skogsbränder i framtiden bör också skadorna av skogliga patogener såsom knäckesjuka kopplade till föryngring efter brand öka. Blir prognoserna en verklighet är det viktigt att vi förberett oss för olika scenarier ur ett skogligt perspektiv.

Det finns en oro att klimatförändringarna kommer bidra till fler och mer omfattande angrepp av skogliga skadegörare. Redan idag utgör insekter och patogener den enskilt största skogliga störningen i Nordamerika ur ett areellt och ekonomiskt perspektiv (Dale et al. 2001). Mycket av den forskning som finns inom ämnet klimatförändringar och skogliga störningar är prognoser över komplexa scenarier. Det vi med säkerhet vet är att ett varmare klimat ger en längre växtperiod vilket samtidigt bidrar till en längre säsong för skogliga skadegörare. Med ett varmare klimat finns det en risk att nya skadegörare kommer invandra till tidigare opåverkade områden och påverka våra skogar på ett nytt och oförutsägbart sätt (Brecka et al. 2018, Sturrock et al. 2011, Dale et al. 2001). Många skogliga störningar interagerar med varandra, t.ex. så

skapar skogsbrand stora mängder död ved som i sin tur attraherar skadeinsekter bl.a. snytbagge (Järvinen et al. 2005). Skadegörare skapar en stress och sänker värdartens vitalitet och gör den mer mottaglig för andra störningar. Detta gör att om en störning ökar så kan den ha en kaskadeffekt så flera andra störningar också ökar (Dale et al. 2001). Det är viktigt att forska på hur det svenska skogsbruket kan påverkas i framtiden av ett varmare klimat, genom att göra prognoser finns det en större chans att lyckas minimera de negativa konsekvenserna.

Slutsatser

Studiens huvudsyfte var att undersöka om brandhårdhet hade någon påverkan på knäcksjukans omfattning och aspförekomst på brandfältet i Sala. Resultatet fann inga signifikanta samband mellan dessa och brandhårdhet. Andel tallplantor infekterade med knäcksjuka per hektar visade sig vara korrelerat till mängden aspbiomassa, det fanns också geografiska skillnader i omfattningen av knäcksjuka vilket förklarades av lokala variationer i mängden aspbiomassa. På grund av lågt betestryck på aspplantor samt att det gått för få år sedan betestillfället kunde studien inte bevisa att viltbete av asp hade någon påverkan på andel tallplantor infekterade med knäcksjuka.

Redan idag fyra år efter branden är ca 15 % av tallplantorna infekterade med knäcksjuka. Det bör därför finnas en oro att knäcksjukans utbredning på brandfältet kommer att öka i framtiden. Aspbiomassan kommer öka kommande år och blir vädret gynnsamt för svampens spridning finns risk för ökad omfattning av skadorna.

Referenser

- Angelstam, P., Wikberg, P.E., Danilov, P., Faber, W., Nygren, K. (2000). *Effects of moose density on timber quality and biodiversity restoration in Sweden, Finland, and Russian Karelia*. Alces 2000 Vol.36 .133-145 ref.41.
- Angelstam, P., Rosenberg, P. och Rülcker, C. (1993). *Aldrig, sällan, ibland, ofta*. Skog och Forskning 93(1): 34–41.
- Baird, M., Zabowski, D., Everett, R.L. (1999). *Wildfire effects on carbon and nitrogen in inland coniferous forests*. Plant and Soil 209: 233–243.
- Bansal, S. Jochum, T. Wardle, D.A., Nilsson, M-C. (2014). *The interactive effects of surface-burn severity and canopy cover on conifer and broadleaf tree seedling ecophysiology*. Can. J. For. Res. 44: 1032–1041.
- Bergquist, J. (1998b) *Bete av rådjur och älg – mer gran och mindre blåbär i skogen*. Fakta Skog. Nr 12/1998
- Brecka, A., Shahi, C., Chen, H. (2018). *Climate change impacts on boreal forest timber supply*. Forest Policy and Economics. Volume 92, July 2018, 11-21.
- Clancy, K. Mathiasen, R. Parker, T. (2006). *Interactions among fire, insects and pathogens in coniferous forests of the interior western United States and Canada*. Agricultural and Forest Entomology (2006) 8, 167–189.
- Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S., Nielson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.C., Lugo, A.E., Peterson, C.J., Simberloff, D., Swanson, F.J., Stocks, B.J., Wotton B.M. (2001). *Climate Change and Forest Disturbances Author*. American Institute of Biological Sciences. 51(9): 723–734.
- Danell, K., Bergström, R., Edenius, L. (1994). *Effects of Large Mammalian Browsers on Architecture, Biomass, and Nutrients of Woody Plants*. Journal of Mammalogy. Vol. 75, No. 4 (Nov., 1994), 833–844.
- Eidmann, H. & Klingström, A. (1976). *Rostsvampar: Knäckesjuka*. In: *Skadegörare I skogen, svampar-insekter-ryggradsdjur*. 75–80. Borås: LTs förlag. ISBN: 91-36-00269-0.
- Eliasson, L. (1971). *Growth regulators in Populus tremula III. Variation of auxin and inhibitor level in roots in relation to root sucker formation*. Physiol. Plant, 25 (1971), 118-12.
- Fjellborg, Å. (2009). *Infektion rate of pine twisting rust (Melampsora pinitorqua) in Scots pine (Pinus sylvestris) regenerations with retained aspens (Populus tremula)*. SLU. Institutionen för skogens ekologi och skötsel. (Examensarbete 2009).
- Flannigan, M., Stocks, B., Turetsky, M., Wotton, M. (2009). *Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest*. Global Change Biology (2009) 15, 549–560.
- Haas, S., Hooten, M., Rizzo, D., Meentemeyer, R. (2011). *Forest species diversity reduces disease risk in a generalist plant pathogen invasion*. Ecology Letters (2011) 14: 1108–1116.

- Hansen, R. (2003) *Skogsbrandsläckning*. Räddningsverket. Tillgänglig: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/18960.pdf>. [2018-02-07]
- Heikkilä, R., Härkönen, S. (1996). *Moose browsing in young Scots pine stands in relation to forest management*. *Forest & Ecology and Management* 88. 179-186.
- Granström, A. (2001). *Fire Management for Biodiversity in the European Boreal Forest*. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 6: S3, 62-69.
- Granström, A. (1991). *Skogen efter branden*. *Skog & Forskning*, 4, 32–38.
- Gruell, G.E., Loope, L.L. (1974). *Relationships among aspen, fire, and ungulate browsing in Jackson Hole, Wyoming*. *Aspen Bibliography*. Paper 5239.
- Gustavsson, K. (2014). *Skogsbranden i Västmanland 2014*. Länsstyrelsen Västmanland
- Johnstone, J.F., and Chapin, F.S., III. 2006. *Effects of soil burn severity on post-fire tree recruitment in boreal forest*. *Ecosystems*, 9(1).
- Johnston, M., Elliot, J. (1997). *The effect of fire severity on ash, and plant and soil nutrient levels following experimental burning in a boreal mixedwood stand*. *Can. J. Soil. Sci.* 78: 35–44.
- Klingström, A. (1969). *Melampsora pinitorqua* (Braun) Rostr. on progenies of *Pinus sylvestris* L. and in relation to growth regulating substances. *Studia Forestalia Suecica* 69, 1-76.
- Kurkela, T. (1973). *Epiphytology of Melampsora rusts of Scots pine (Pinus sylvestris L.) and aspen (Populus tremula L.)*. *Communicationes Institute Forestalis Fenniae* 79(4): 1–68. Helsinki
- Labbe, F., Fontaine, M.C., Robin, C., Dutech, C. (2017) *Genetic signatures of variation in population size in a native fungal pathogen after the recent massive plantation of its host tree*. *Heredity* 119, 402–410.
- Lagerberg, T. (1945). *Melampsora pinitorqua* (A.Br.) Rostr. Tallens vridrost. In: *Skoglig mykologi*. 3.ed. 110–111. Skogshögskolans Studentkårs Kompendie-förmedling.
- Lecomte, N., Simard, M., Bergeron, Y. (2006). *Effects of fire severity and initial tree composition on stand structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada*. *Écoscience*, Vol. 13, No. 2 (2006), 152-163.
- Linder, P. Jonsson, P. & Niklasson, M. (1998). *Tree mortality after Prescribed Burning in an Old-Growth Scots Pine Forest in Northern Sweden*. *Silva Fennica* 32 (4) 339-349.
- Mattila, U. (2005). *Probability models for pine twisting rust (Melampsora pinitorqua) damage in Scots pine (Pinus sylvestris) stands in Finland*. *Forest Pathology* 35, 9–21.

- Mattila, U., Jalkanen, R., & Nikula, A. (2001). *The effects of forest structure and site characteristics on probability of pine twisting rust damage in young Scots pine stands. Forest Ecology and Management* 142, 89-97.
- Månsson, J., Roberge, J. M., Edenius, L., Bergström, R., Nilsson, L., Lidberg., Komstedt, K. & Ericsson, G. 2015. *Food plots as a habitat management tool: forage production and ungulate browsing in adjacent forest. Wildlife Biology*, 21, 246-253.
- Niklasson, M. & Nilsson, S. G. (2005). *Skogsdynamik och arters bevarande*. Studentlitteratur
- Nilsson, K. & Wilhelmsson, E. (2012). *Introduktion till mätning av träd och bestånd*. Institutionen för skoglig resurshushållning. Studentlitteratur. S.38.
- Oliva, J., Boberg, J., Stenlid, J. (2013). *First report of Sphaeropsis sapinea on Scots pine (Pinus sylvestris) and Austrian pine (P. nigra) in Sweden. New Disease Reports* (2013) 27, 23.
- Pei, M. H., & Shang, Y. Z. (2005). *A brief summary of Melampsora species on Populus*. In M. H. Pei, McCracken, & A. R., *Rust diseases of willow and poplar* (pp. 51-61). King's Lynn, UK: CAB International.
- Pitkänen, A., Törmänen, K., Kouki, J., Järvinen, E., Viiri, V. (2005). *Effects of green tree retention, prescribed burning and soil treatment on pine weevil (Hylobius abietis and Hylobius pinastri) damage to planted Scots pine seedlings. Agricultural and Forest Entomology* (2005) 7, 319–331.
- Rogers, B.M., Soja, A.J., Goulden, M.L., Randerson, J.T. (2015). *Influence of tree species on continental differences in boreal fires and climate feedbacks. Nature Geoscience* vol 8, 228–234.
- Rosvall, O., Simonsen, R., Rytter, L., Jacobsson, S. (2007). *Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – Underlag för lönsamhetsberäkningar*. Arbetsrapport från Skogforsk nr 640.
- Samuelsson, H. Örlander, G. (2001). *Skador på skog*. Skogsstyrelsen. Jönköping. Rapport 80 2001.
- Stocks, B. J. (1993). *Global Warming and Forest Fires in Canada. For. Chron.* 69, 290–293.
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J., Woods, A.J. (2011). *Climate change and forest diseases*. Plant pathology. Volume 60, Issue1. 133–149.
- Vasiliauskas, R., Stenlid, J. (2001) *Homothallism in the Postfire Ascomycete Rhizina undulata*. Mycologia. Vol. 93, No. 3 (May - Jun. 2001), 447–452.
- Zackrisson, O. (1977). *Influence of Forest Fires on the North Swedish Boreal Forest*. Oikos. Vol. 29, No. 1 (1977), pp. 22–32
- Sylvén, N. (1917). Om tallens knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua* (Braun) Rostr.) *Medd. Statens Skogsförs Anst.* 13–14, 1077-1140.

Sylvén, N. (1918). *1917 års knäckesjuka i norra Västergötland*. Medd. från Stat. Skogsforskningsanstalt 15. 192–204.

Icke publicerat

Jones, S. (2017). *Portugal-forest-fires-under-control*. *The Guardian*. 22 Juni.

SMHI (2017). Vind i Sverige. Tillgänglig:

https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.31310.1490013596!/image/karta_stationer_vindros2.png_gen/derivatives/Original_1256px/image/karta_stationer_vindros2.png. [2018-04-03]

Muntlig källa

Jonas Bergqvist. Skogskötselspecialist skogsstyrelsen, Hösten 2017.

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2017:1 Författare: Johan Åhs
The influence of precipitation and nitrogen fertilization on aboveground tree growth and how this varies across small-scale microtopography gradients in *Pinus sylvestris* stands in northern Sweden
- 2017:2 Författare: Joshua Johansson
Utvärdering av en markvattenmodells förmåga att estimeras markfuktighet och bärighet
- 2017:3 Författare: Stina Köppler
Skogen som integrationsarena – kopplingen mellan svensk skogsnäring och integration
- 2017:4 Författare: Kristina Nilsson
Överlevnad, tillväxt och snytbaggeskador i fält hos långnattsbehandlade ettåriga tallplantor med dubbelbarr
- 2017:5 Författare: Maria Jakobsson
Naturlig förnygring efter brand – Fyra trädarters etablering i relation till mikromiljö och spridningsavstånd på Salabrännan
- 2017:6 Författare: Erik Sköld
Lönsamhet vid fröträdsavverkningar på torvmark i östra Småland
- 2017:7 Författare: Anna Bergqvist
Skogsbrukets brandskötsel. En intervju-undersökning utförd i Västerbotten år 2006
- 2018:1 Författare: Gustav Nord
Tillväxteffekter för tall 33 år efter konventionell gallring och gödsling
- 2018:2 Författare: Felicia Dahlgren Lidman
The Nitrogen fixation by cyanobacteria associated to feathermosses
- A comparison between Scots pine and Norway spruce stands
- 2018:3 Författare: Hanna Glöd
Forest drainage effects on tree growth in Northern Sweden. – Developing guidelines for ditch network maintenance
- 2018:4 Författare: Anna Jonsson
How are riparian buffer zones around Swedish headwaters implemented? – A case study
- 2018:5 Författare: Martin Hederskog
Är uteblivna bränder i skogslandskapet en bidragande orsak till igenväxning av myrmarker?
- 2018:6 Författare: Gustav Stål
Carbon budgets in northern Swedish forests, 1800-2013
- 2018:7 Författare: Johan Gotthardsson
Faktorer som påverkar antalet ungskogsröjningar i tallbestånd
- 2018:8 Författare: Rasmus Behrenfeldt
Vindens inverkan på höjdtillväxten i ett tallbestånd (*Pinus sylvestris*) längs en sluttning