



Examensarbeten

2017:5

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Naturlig förnygring efter brand

- **Fyra trädarters etablering i relation till mikromiljö och spridningsavstånd på Salabrännan**

Regeneration after a large wildfire in central Sweden

- *Seedling establishment of four tree species in relation to microenvironment and dispersal distances*



Foto: Anders Granström

Maria Jakobsson



Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2017:5

Naturlig förnygring efter brand

- **Fyra trädarters etablering i relation till mikromiljö och spridningsavstånd på Salabrännan**

Regeneration after a large wildfire in central Sweden

- *Seedling establishment of four tree species in relation to microenvironment and dispersal distances*

Maria Jakobsson

Keywords / Nyckelord:

Plantetablering, mikromiljö, bränningsdjup, spridningsavstånd, skogsbrand, Salabrännan, Västmanland / *Seedling establishment, microenvironment, fire severity, depth of burn dispersal distance, forest fire, Västmanland*

ISSN 1654-1898

Umeå 2017

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest management*

EX0770, 30 hp, avancerad nivå A2E / *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Anders Granström

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

Examinator / *Examiner*: Johnny Schimmel

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 handletts 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

Denna rapport är ett examensarbete och en del av jägmästarprogrammet och omfattar 30 hp. Arbetet är skrivet vid institutionen för skogens ekologi och skötsel på Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Initiativet till arbete var delat mellan mig själv och min handledare Anders Granström.

Vill rikta ett stort tack till Anders Granström som trots sitt späckade schema alltid funnit den tid som behövts för att ge mig god handledning. Tack också till er som bidragit till arbetet genom korrekturläsning och trevligt sällskap vid behövliga fikapausar.

SAMMANFATTNING

Sommaren 2014 inträffade i Västmanland en med Sveriges mått mätt mycket stor brand, Salabranden. Brandfältet, och i synnerhet den del som blivit naturreservat, ger en unik möjlighet att studera hur den naturliga plantetableringen efter brand ser ut för några av Sveriges vanligast förekommande trädslag. Inom reservatet har jag studerat de nyetablerade trädplantornas mikromiljö vad gäller markdensitet, mikrotopografi och bränningsdjup (humus- och kolskiktets tjocklek) för att kunna dra slutsatser om kraven på groningsbädden för olika arter. Jag har även undersökt arternas spridningsförmåga i större skala.

Hösten 2016 analyserade jag mikromiljöns betydelse för plantetableringen på provytor i mogen skog där tillgången på frön var säker. Plantuppslaget dominerades av asp (*Populus tremula*) ($\approx 12-16/m^2$), sälg (*Salix caprea*) ($\approx 4-6/m^2$) och björk (*Betula spp*) ($\approx 0-7/m^2$), men där fanns även rikligt med tall (*Pinus sylvestris*) ($\approx 8/m^2$). Planthöjden varierade starkt, men hade inget signifikant samband med humus- och kolskiktets tjocklek. Etableringsframgången i relation till humus- och kolskiktets tjocklek var kraftigt avtagande vid en tjocklek på mer än 0,5 cm, vilket torde avspegla problem med vattenförsörjningen för de groende fröna. Ytor med gynnsam groningsmiljö (humus- och kolskiktets tjocklek på 0-0,5 cm) var mycket omfattande i brandområdet, vilket hänger samman med att humusskiktet vid brandtillfället varit starkt uttorkat, och på så vis möjliggjort stort bränningsdjup. Det fanns inga observationer av asp, björk eller sälg på en humustjocklek över 2 cm; för tall observerades endast tre plantor inom intervallet 2-4,5 cm. Det obefintliga eller mycket tunna humus- och kolskiktet resulterade i att yttäckningen intill plantbasen i närmare 70 % av fallen utgjordes av björnmossa (*Polytrichum commune*). Vad gäller mikrotopografien återfanns majoriteten av plantorna i svaga svackor.

Spridningsförmågan analyserades längs utlagda transekter på större hyggen. Planttätheten var relativt jämn oavsett avstånd till beståndskant. Inte för någon av de observerade arterna kunde ett statistiskt säkert samband dras mellan avstånd till beståndskant och etableringstäthet. Detta tyder på att de flesta fröna kommit från längre avstånd än de omgivande bestånden och att mina transekter fångar en ganska flack ”svans” på arternas spridningskurva.

För samtliga arter hade alltså bränningsdjupet en avgörande inverkan på plantetableringen. Resultaten visar också att arternas spridningsförmåga var överraskande god. Trots Salabrännans ovanligt stora utbredning med få överlevande träd och potentiella frökällor fanns ändå en relativt tät förnygring i området redan två år efter brand, vilket visar på dessa trädarters goda etableringsförmåga efter storskaliga bränder, förutsatt att de inträffar efter långvarig torka.

Nyckelord: Plantetablering, mikromiljö, bränningsdjup, spridningsavstånd, skogsbrand, Salabrännan, Västmanland

SUMMARY

In the summer of 2014 one of the largest fires in Swedish modern history took place in Västmanland, Salabranden. The fire field, and especially the part that later has become a nature reserve, provides a unique opportunity to study the natural seedling establishment after fire for some of Sweden's most common tree species. Within the reserve, I have studied the microenvironment for the newly established tree seedling in terms of soil density, micro-topography and depth of burn (reduction in organic soil layer) in order to draw conclusions about the seedbed requirements. I have also studied the species' ability to disperse on a larger scale.

The importance of the microenvironment for seedling establishment was analyzed on sample plots that were laid out in mature forests where the supply of seeds was guaranteed. The plant seedlings were dominated by aspen (*Populus tremula*) ($\approx 12-16/m^2$), willow (*Salix caprea*) ($\approx 4-6/m^2$) and birch (*Betula spp*) ($\approx 0-7/m^2$), but there were also plenty of pine (*Pinus sylvestris*) ($\approx 8/m^2$). Plant height varied greatly, but had no significant relationship with organic soil and charcoal thickness. Seedling establishment decreased dramatically when thickness of the organic soil and charcoal layer was greater than 0.5 cm, which should reflect a problem with the water supply for the germinating seeds. Good seedbeds (organic soil and charcoal thickness of 0-0.5 cm) were very extensive in the fire area and can be linked to the severe drought at the time of the fire, which enabled deep smoldering. There were no observations of aspen, birch or willow on humus thicker than 2 cm; only three pine seedlings were observed in the range of 2-4.5 cm. The non-existent or very thin humus and charcoal layer resulted in a surface coverage that in nearly 70% of the cases, consisted of moss (*Polytrichum commune*) two years after fire. As for micro-topography the majority of the plants were found on weakly concave surfaces.

Dispersal was analyzed along transects laid out on large clear-felled areas. There was no significant relationship between distance to the forest edge and the density of seedlings for any of the species. This suggests that most of the seeds came from a greater distance than the surrounding stands and that the transects captured a relatively flat "tail" of the species distribution curve.

Depth of burn was decisive for seedling establishment for all species. Further, the results showed a surprisingly good dispersal capacity in all species. Despite the unusually large size of Salabrännan, with few surviving trees, there was a dense regeneration in the area two years after the fire. This shows these tree species have a good ability to colonize after large-scale fires, as long as they occur after prolonged drought.

Keywords: *Seedling establishment, microenvironment, fire severity, depth of burn, dispersal distance, forest fire, Västmanland*

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|--|----|
| SAMMANFATTNING | 2 |
| SUMMARY | 3 |
| INLEDNING | 5 |
| MATERIAL OCH METOD..... | 7 |
| Studieområde | 7 |
| Mikromiljö..... | 9 |
| Spridningsavstånd..... | 11 |
| RESULTAT | 12 |
| Mikromiljö..... | 12 |
| Spridningsavstånd..... | 18 |
| DISKUSSION | 22 |
| Mikromiljöns betydelse | 22 |
| Fröspridningsavståndet, storskaliga spatiala mönster | 24 |
| Brand och skötsel..... | 24 |
| Slutsatser..... | 25 |
| LITTERATURFÖRTECKNING | 26 |

INLEDNING

Den kanske viktigaste naturliga störningsfaktorn i den boreala barrskogen är återkommande bränder (Linder, et al., 1998). Brandstörningen bidrar till att skapa en storskalig variation i landskapet (Niklasson & Nilsson, 2005). Branden tillsammans med andra störningsfaktorer skapar livsviktiga substrat och strukturer i skogslandskapet samt upprätthåller avgörande processer så som föryngring av konkurrenskänsliga fältskikts-arter, av vilka många rekryteras via en fröbank (Schimmel & Granström, 1996). De flesta boreala trädarter är emellertid vindspridda och här påverkar branden både frötillgången och groningsmiljön. Teoretiskt kan man anta vilka faktorer som bör vara avgörande för etableringen av trädplantor efter brand. Brandintensiteten bestämmer överlevnaden i beståndet och i förlängningen tillgången på frö. Samtidigt kan elden ändra groningsmiljön, framförallt via den glödbland som pågår i större eller mindre omfattning efter att flamfronten passerat.

Det har gjorts relativt få detaljerade studier av hur plantetableringen i realiteten ser ut, och de flesta är från Nordamerika. Rekrytering efter brand är inte sällan starkt kopplad till de fläckar i humusskiktet som skapas då större delen av det organiska materialet konsumerats av branden (Miyanihi & Johnson, 2002). Utbredningen och positionen av dessa ytor bestäms delvis av humuslagrets densitet och dess fukthalt. Johnstone & Chapin (2006) fann att bränningsdjupet hade en positiv inverkan på etablering och överlevnad efter 3 år för fyra vanliga boreala trädslag (*Picea glauca*, *Picea mariana*, *Pinus contorta* subsp. *latifolia*, och *Populus tremuloides*). Studien bygger på fem fältförsök i Yukon Territoriet (Kanada) och Alaska (USA). Studien sammanfattar även 11 liknande studier. Studien och den sammanfattade litteraturen indikerar konsekvent en mycket brant minskning av etablerade barrträd på organiska jordar djupare än 2,5 cm. Resultaten av en meta-analys av frönas respons på bränningsdjup antyder att arter med små frön har högre dödlighet på lättbrända jordar än arter med större frön. I en annan studie från Kanada fann författarna att bränningsdjupet har signifikant effekt på beståndsutvecklingen (Lecomte, et al., 2006). Stort bränningsdjup gav en tät och snabb föryngring oavsett artsammansättning.

Groningsbäddens struktur är alltså en faktor som har betydande påverkan på plantetableringen. För att groningsprocessen ska starta måste en serie fysiologiska förändringar ske inne i fröet (Rytter, et al., 2008). Dessa förändringar triggas av specifika temperaturintervall och tillgången på vatten, syre och ljus. Vatten är troligen den mest betydande faktorn och vattenbrist därmed den vanligaste bakomliggande orsaken bakom att frön inte gror (Bergsten, et al., 2013). Den vattenhållande kapaciteten i ytskiktet och mineraljorden är därför avgörande. Strukturen och kornstorleken i mineraljorden har inverkan på porstorleken i jorden som i sin tur påverkar substratets förmåga att transportera och hålla vatten. Mineraljordens och ytskiktets struktur påverkar därmed dess lämplighet som groningsbädd (Rytter, et al., 2008). Markberedning används t.ex. flitigt i dagens aktiva skogsbruk då man vet att den blottade mineraljorden bidrar till en säkrare vattenförsörjning för plantan, och minskar konkurrensen med annan växtlighet för den nyetablerade plantan. Mineraljorden kan också fungera som ett skydd mot mindre skadedjur bl.a. sorkar, sniglar och snytbaggar (Örlander & Gemmel, 1989). Typen av markvegetation, förna- och humuslagrets tjocklek, jordens struktur och näringsinnehåll samt markens fuktighet är alla faktorer som spelar en avgörande roll för plantetableringen. Plantetablering är alltså starkt kopplad till de förutsättningar marken erbjuder (Karlsson, et al., 2009).

Frötillgången är också en avgörande faktor som påverkar möjligheten för etablering. Hur mycket frön olika arter producerar skiljer sig mycket, och även inom en och samma art kan

fröproduktionen variera starkt från år till år. Olika arter har olika förutsättningar för etablering till följd av frönas storlek och fysiologi. Detta leder till en variation mellan arterna i överlevnad- och spridningsstrategier (Albrektson, et al., 2012). Majoriteten av de svenska trädslagens frön håller sig inte livskraftiga i jorden någon längre period (Granström, 1987) vilket betyder att de måste komma till platsen för etablering på annat vis. Tall (*Pinus sylvestris*), gran (*Picea abies*), asp (*Populus tremula*), sälg (*Salix caprea*) och björk (*Betula ssp.*) är därmed exempel på arter som utnyttjar vinden i sin fröspridningsstrategi. Tall och gran har större frön än björk vilket gör att de har mer energi med sig till etableringspunkten och rent hypotetiskt bör överleva längre i miljöer med sämre etableringsförutsättningar än vad björk klarar av. Björken producerar även betydligt mer frön än både tall och gran (Fries, 1984). Asp och sälg har ännu mindre frön än tidigare nämnda trädslag vilket möjliggör effektivare distansspridning (Rytter, et.al, 2008). Dessa trädslag producerar också många fler frön än tall och gran. Samtidigt bör små frön ställa högre krav på etableringspunkten för att etablera sig och överleva de första åren. Björk, asp och sälg kan även föryngras genom stubb- och rotskott.

För de allra flesta vindspridda växtarter sprids dock majoriteten av deras frön över relativt korta avstånd från källan, sällan mer än några tiotal meter (Chambers & MacMahon, 1994; Hesselman, 1938; Nathan, et al., 2008). Bullock, et al. (2017) gick genom 168 empiriska fallstudier som redovisade fröspridningsdata för att sedan generalisera kurvor för spridningen. De fann att vindspridda trädarter hade en snabbt avtagande täthet med ökat avstånd från källan. Ändå är den långväga spridningen viktig. Spridningen över långa avstånd är grundläggande för olika ekologiska processer genom alla skalor och organisationsnivåer, så som artspridning, populationsutveckling, kolonisering av nya livsmiljöer, samt bidrar till väl fungerande växtsamhällen med god dynamik och mångfald (Bullock, et al., 2017; Cain, et al., 2000). Det finns dock vissa möjligheter för en liten andel av fröna att faktiskt spridas riktigt långa avstånd, bl.a. med hjälp av vind i t.ex. uppåtströmmar och stormar (Chambers & MacMahon, 1994). Beroende på trädöverlevnad efter en brand kan det på ett brandfält vara långt till närmaste frökälla. Plantetableringen på ett brandfält torde därför ofta vara beroende av den vindburna fröspridningen över betydande avstånd.

Sommaren 2014 inträffade en för svenska förhållanden mycket stor brand i Västmanland där delar av brandfältet senare kom att bli ett naturreservat. Hälleskogsbrännans naturreservat omfattar 6 420 ha av det totalt ca 13 100 ha brandpåverkade området (Anon., 2015). Det nyskapade brandfältet, och i synnerhet naturreservatet, ger en unik möjlighet att observera den naturliga plantetableringen efter brand och titta närmare på likheter och skillnader mellan några av Sveriges vanligast förekommande trädslag, tall, gran, asp, sälg och björk.

Syftet med denna studie var att undersöka den etablerade plantans mikromiljö vad gäller markdensitet, mikrotopografi och bränningsdjup (humus- och kolskiktets tjocklek) för att kunna dra slutsatser om fröns/plantors krav på gröningsbäddens struktur. Spridningsförmågan för de olika trädslagen har även studerats. Mönstren i fröspridningen har undersökts genom att studera de etablerade plantors förekomst på större hyggen, där frökällor saknas.

MATERIAL OCH METOD

Studieområde

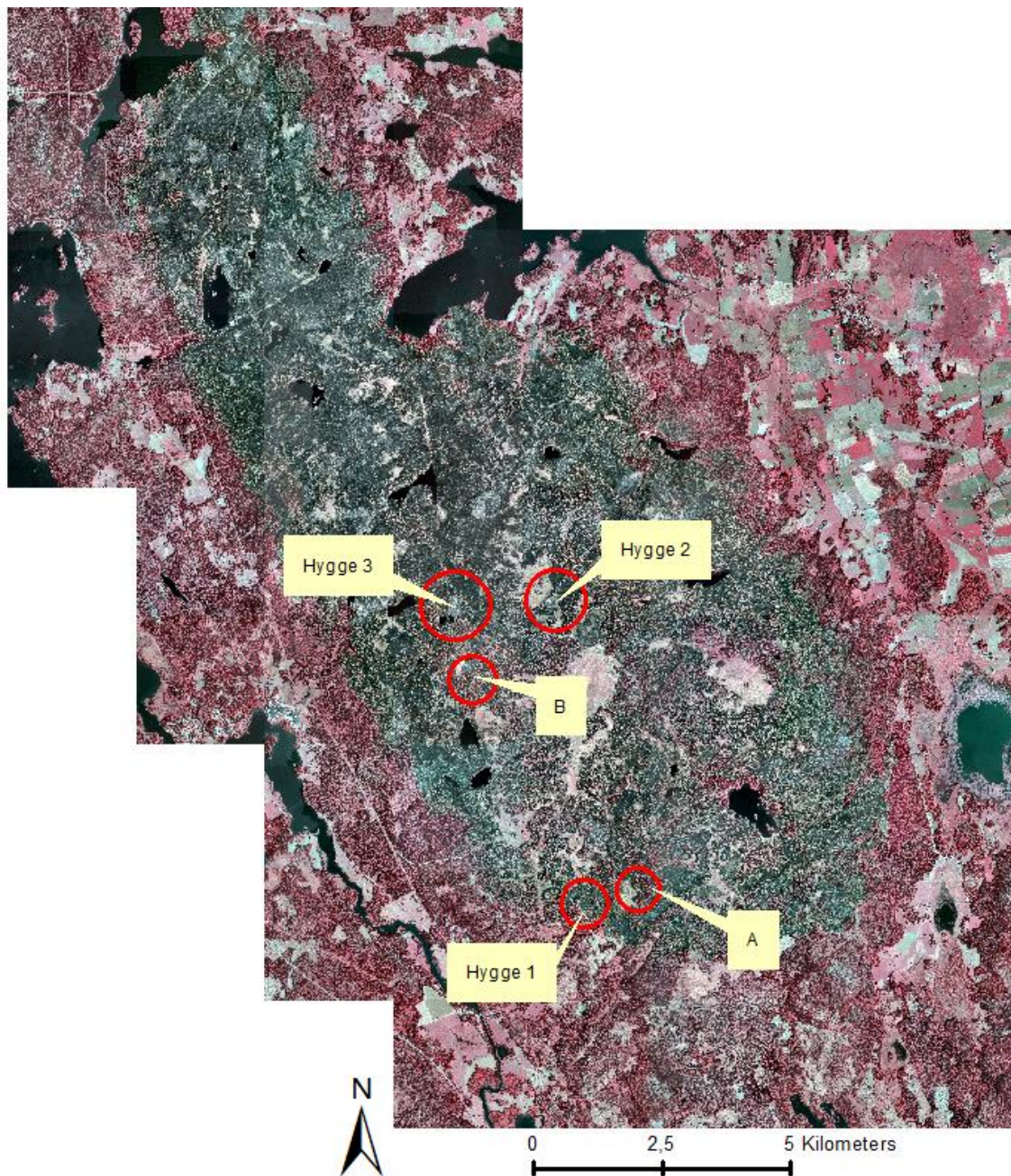
Datainhämtningen har skett i det brandområde som skapades av den stora branden i Västmanland sommaren 2014, 31/7-4/8. Till följd av en lång värmeperiod utan regn antändes branden i samband med en markberedning och kom senare att bli den mest omfattande branden i modern historia. Branden förändrade de ekologiska förutsättningarna i grunden och har lämnat ett avtryck i området över en lång tid framöver. Branden drabbade många personer och förutom tre stora skogsbolag berördes 107 privata markägare (MSB, 2015). Samtliga inom brandområdet stod efter branden kvar med omfattande skador på sin skog.

Storleken på brandområdet uppskattas till ca 13 100 ha varav 270 ha klassas som vatten och knappt 9 600 ha klassas som produktiv skogsmark (Nilsson, et al., 2014). Brandområdet utgör en flack långsträckt höjdrygg med relativt små höjdskillnader (MSB, 2015). Generellt är området magert med en stigande bördighet från höjder med hällmarkstallskog ner i dalar med grandominans. Området är beläget under högsta kustlinjen vilket präglat landskapet i form av utbredda hällmarker, svallade moräner samt magra och grunda marker. Området har även en stor andel myr varav 1359 ha är myrimpediment (Nilsson, et al., 2014). Skogslandskapet innan branden var påverkat av ett aktivt skogsbruk och var tall-dominerat (Anon., 2015). Jämfört med genomsnittlandskapet i dessa trakter innehöll området en något högre andel av äldre tallskog, i anslutning till de stora myrarna.

Branden satte djupa spår i landskapet och förändrade dess karaktär totalt. Med hjälp av bildtolkning fann man att 77 % av den produktiva skogen uppskattades ha fått mer än 50 % av kronan skadad (Nilsson, et al., 2014). Endast 4 % bedömdes ha helt oskadade kronor. Branden skapade även en fläckvis variation av mikromiljöer, där bland annat det befintliga bränslets kvalitet och dess fukthalt är faktorer som påverkar uppkomsten av dessa variationer. Fläckvis har humus-skiktet bara ytkolats, fläckvis har det helt förskrats och kvar är då bara den frilagda mineraljorden. På vissa fläckar har branden inte konsumerat all humus vilket resulterat i ett delvis obränt humus-skikt. Kombinationer av dessa marksubstrat förekommer även.

För orientering av de olika provtagningslokalernas läge och förhållande till varandra på brandfältet har ortofoton med förstärkt IR-färg använts (Figur 1). På hygge 1, 2 och 3 har spridningsavstånd undersökts och i område A och B har mikromiljöns betydelse för plantetableringen studerats. Ortofotona av brandfältet är tagna i augusti år 2014, just efter branden, och den förstärkta IR-färgen hjälper till att åskådliggöra överlevande träd. Röda nyanser i bilden visar överlevande träd medan de gråa nyanserna är döda partier.

För att få göra datainsamling till studien i den del av brandområdet som utgörs av det nya naturreservatet Hälleskogsbrännan krävdes ett godkännande från Västmanlands länsstyrelse. Detta tillstånd söktes och beviljades.

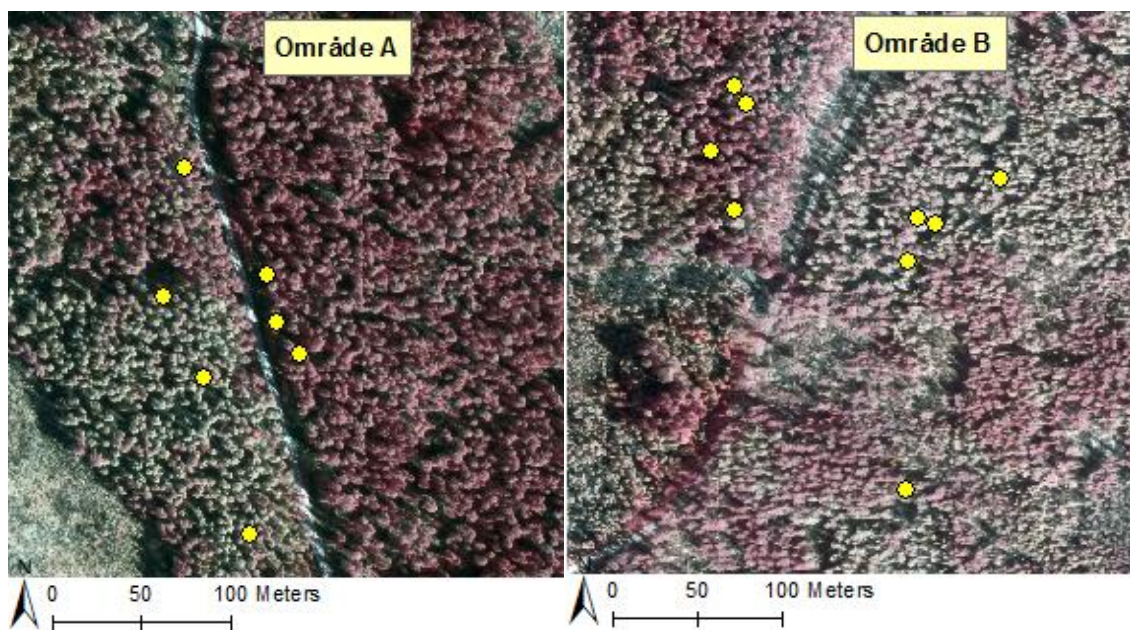


Figur 1. Översikt över brandfältet och områden för de olika datainsamlingarna. Hygge 1, 2 och 3 är lokaler i vilka transekter lades ut för att undersöka spridningsavstånd. Område A och B är lokaler där plantetableringen i relation till mikromiljön studerades.

Figure 1. Overview of the fire field and locations for the data collection. Clear-felled area no. 1, 2 and 3 are sites in which transects were laid out to investigate seed-dispersal. Location A and B are sites where seedling establishment in relation to the micro-environment was studied.

Mikromiljö

För att undersöka mikromiljöns, främst humusdjupets, inverkan på plantetableringen lades totalt 16 tillfälliga provrutor ut. Dessa provrutor fördelades över två områden, område A och B, samtliga belägna i mogen skog med en hel del överlevande träd i närheten och där tillgången på frön alltså var säker (Figur 2). Valet av provrutorna skedde inte slumpmässigt då mikromiljöns inverkan bara kan studeras på provrutor där det finns en variation, exempelvis i humusdjup. Den objektiva fördelningen av provrutor skedde därför efter ett antal kriterier. Gemensamma krav för provrutorna var att de skulle innehålla en variation av mikromiljöer, vara relativt plana och inte vara för steniga. Ytor med mycket sten undveks eftersom det där fanns en risk att frön som fallit på sten hade omlokaliseras av regn. Områden med mycket fallna träd och andra trädrester försvårade arbetet och var därför olämpliga som provrutor.



Figur 2. Översikt över utlagda provrutor för mikromiljö i område A respektive B.
Figure 2. Overview of the plots for micro-environment studies in site A and B.

Denna del av studien är inte beroende av areal och därför användes inte en statistisk provyttestorlek. En varierad storlek ökade möjligheten för en effektivare datainsamling. Provrutorna var utformade som remsor med en statistisk bredd på 0.5 meter och en varierande längd på 2-6 meter, beroende på vad som var möjligt för varje individuell provtagningsplats.

Inom provrutorna artbestämdes samtliga plantor och deras höjd mättes. Vid datainsamlingen delades provytan systematiskt upp i mindre segment för att vara säker på att inte missa någon planta, då planthöjderna var väldigt varierade. Kring varje planta gjordes en klassning av mikrotopografin genom att lägga en 20 cm lång sticka invid plantan och bedöma om plantan var rotad i en liten svacka, på plan mark eller på en konvex yta, i en skala av 10 cm radie från plantan. Nivåskillnaderna mättes till närmaste $\frac{1}{2}$ cm. Yttäckningen och dess tjocklek kring plantan noterades. Här klassades det material eller mossart som dominerade i ytskiktet intill den etablerade plantan; antingen förna, kol, björnmossa (*Polytrichum*), brännmossa (*Ceratodon purpureus*) eller lungmossa (*marchantia*). Jag bestämde även i vilket marksubstrat plantan hade etablerat sig genom att en markprofil intill plantans bas skars upp med kniv och de olika variablerna humus- och koltjocklek mättes med tumstock. Tjockleken

på humusskiktet mättes mellan övergångarna från mineraljord till humus samt humus till förna alternativt ett överliggande kolskikt. Mätningen för kolskiktets tjocklek gjordes på liknande vis mellan de olika skiktövergångarna. Marks substraten klassades in efter de tre grupperna frilagd mineraljord, humus och förkolnad humus som var de marks substrat med störst förekomst och som var tydligast att särskilja. Med förkolnad humus menas humus som endast kolats och inte förbränts. Man kan där fortfarande urskilja beståndsdelar så som pinnar, rötter, barr osv.

Referenspunkter inom varje provyta behövdes för att se relationerna mellan de etablerade plantornas mikromiljö och förekomsten av respektive mikromiljöer. Inom varje provyta lades därför ett förutbestämt 25x12,5 cm mönster ut för provtagning av referenspunkter. På varje punkt i rutmönstret skars en profil för att kunna studera humus- och koltjockleken. Även här gjordes en bedömning av mikrotopografin och yttäckningen.

För att kunna bestämma bulk-densitet och innehåll av organiskt material för förkolnad humus, intakt humus respektive exponerad mineraljord (där humuslagret helt föraskats) insamlades och analyserades 30 jordprover. Provtagningen gjordes i område A och B. Jag tog 5 prov av varje marks substrat per område vilket resulterade i 10 prover av vardera marks substrat (Tabell 1). För att provvolymerna för varje prov skulle kunna fastställas använde jag en cylinderformad provtagare av metall med radien 3,5 cm. Provtagaren trycktes rakt ner i marken samtidigt som kanten utanpå provtagaren försiktigt renskars med en skarp kniv, vilket resulterade i ett prov med känd area. Tjockleken på det aktuella marks substratet mättes.

Tabell 1. Översikt av antal jordprover per marks substrat per område.

Table 1. Overview of the number of soil samples per soil substrate.

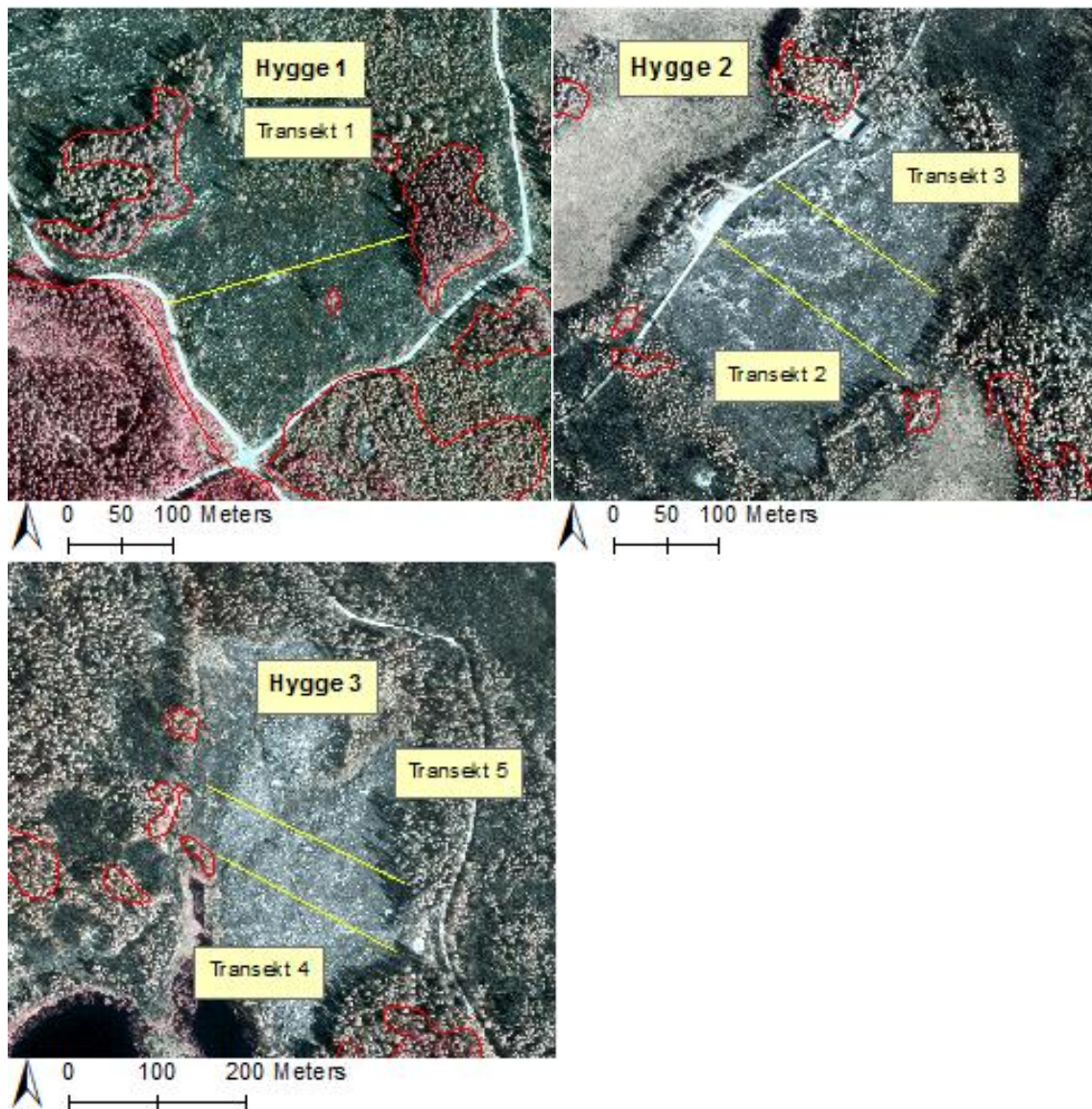
| Marks substrat | Område A | Område B | Totalt |
|---------------------|----------|----------|--------|
| Humus | 5 | 5 | 10 |
| Förkolnad Humus | 5 | 5 | 10 |
| Frilagd mineraljord | 5 | 5 | 10 |
| Totalt | 15 | 15 | 30 |

I labbet vägdes och torkades samtliga marks substratsprover. Volym och densitet kunde därmed räknas ut. För att få reda på hur mycket organisk materia de olika marks substraten innehöll gjordes en glödförlust-analys, eng. volatile solids (VS) (Carlsson & Uldal, 2009; Ekström, 1927) på samtliga prover.

Innan förbränning rensades varje prov från eventuell förna och markvegetation. Genom att väga proverna före samt efter förbränningen kunde vikterna jämföras och halten av det organiska materialet räknas ut. Samtliga prover brändes i en förbränningsugn under 3h med en konstant temperatur på 550 °C. Vid dessa temperaturer förbränns inte bara det organiska materialet, även en del kristallvatten avgår. Genom att räkna bort kristallvattenförlusten från den uträknade glödningsförlusten får man ett riktigare värde på det organiska innehållet i substratet. Korrektionstalet för kristallvattnet bygger på ett ungefärligt medeltal för varje jordart (Ekström, 1927). Storleken på korrektionen beror på lerhalten i materialet, styv lera har t.ex. ett medeltal på 4,5 % medan korrektionstalet för sandartade jordar är 1 %. I denna studie har korrektionstalet för sandartade jordar används.

Spridningsavstånd

För att studera fröspridningsbilden av olika trädslag undersöktes tre större hyggen med tanken att alla frön som bildat plantor där skulle komma från frökällor utanför hygget, och med allt längre avstånd ju längre in på hygget plantorna befann sig. Här förutsätter jag att de etablerade plantornas täthet är ett relativt mått på fröförekomst och väl avspeglar fröfallet på plats. Totalt lades 5 transekter ut fördelat på de tre hyggena (Figur 3). Hyggena valdes objektivt utifrån lämplighet. För att kunna få så långa transekter som möjligt valdes så stora hyggen som fanns tillgängliga, men med obetydlig förekomst av överlevande träd. Detta för att minimera inverkan av frön spridda från dessa träd inom hygget.



Figur 3. Översikt över samtliga hyggen och utlagda transekter (gula streck). Röda polygoner visar områden med större andel överlevande träd.

Figure 3. Overview of the clear-felled areas and the laid out transects (yellow line). Red polygons show areas with a higher proportion of surviving trees.

Transekternas längd varierade och var beroende av hyggesstorleken och utgick från ena hyggeskanten till hyggeskanten mittemot. Längs transekten gjordes cirkulära provytor med radien 2m ($12,56 \text{ m}^2$) vilka lades ut längs transekten där det var fritt från körspår, större stenar

och större ytor med kvarvarande humus (Tabell 2). I varje provyta räknades samtliga plantor art-vis och de tre högsta plantorna inom varje art mättes. Med hjälp av avstånden mellan cirkelprovytorna och hyggeskanten samt antalet plantor kunde trender i planttäthet undersökas. Likadana cirkulära provytor gjordes också i skogen anslutande till transekten. På så vis kunde förekomst av plantor från de olika trädslagen samt höjderna användas för att se eventuella skillnader och likheter mellan transekter och hyggen samt kringliggande sluten skog.

Med hjälp av ortofoton tagna i augusti 2014 kunde överlevande träd i närhet av hyggena detekteras. I samtliga fall var kringliggande bestånd kraftigt tall-dominerade.

Tabell 2. Antalet cirkelprovytor per transekt samt avstånd från närmaste hyggeskant.

Table 2. Number of sample plots per transect and the distance from the nearest clear-felled area edge.

| Hygge 1 | | Hygge 2 | | | | Hygge 3 | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Transekt 1 | | Transekt 2 | | Transekt 3 | | Transekt 4 | | Transekt 5 | |
| Provyta | Avstånd (m) | Provyta | Avstånd (m) | Provyta | Avstånd (m) | Provyta | Avstånd (m) | Provyta | Avstånd (m) |
| 1 | 39 | 1 | 40 | 1 | 50 | 1 | 24 | 1 | 15 |
| 2 | 49 | 2 | 71 | 2 | 85 | 2 | 87 | 2 | 52 |
| 3 | 86 | 3 | 58 | 3 | 102 | 3 | 127 | 3 | 66 |
| 4 | 119 | 4 | 116 | 4 | 71 | 4 | 78 | 4 | 118 |
| 5 | 105 | 5 | 87 | 5 | 51 | 5 | 56 | 5 | 76 |
| 6 | 19 | 6 | 55 | 6 | 36 | 6 | 28 | 6 | 44 |
| 7 | 15 | 7 | 35 | | | | | | |

RESULTAT

Mikromiljö

Det insamlade datat från provytor där jag analyserade mikromiljön resulterade i totalt 697 plantetableringspunkter och 510 referenspunkter (Tabell 3). För etableringspunkterna blev det störst antal plantor för asp, därefter tall, sälj, björk och minst data fanns för gran med bara tre observerade plantor. Den lilla datamängden för gran gör att resultaten för denna art inte kan visas med någon säkerhet och därmed inte alls kommer att redovisas i övriga resultat. För tall fanns en mycket liten andel plantor som grott under 2016 (5 %). Jag såg inga lövträdsplantor som jag bedömde vara årsplantor, alltså grodda under 2016.

Tabell 3. Insamlad datamängd (antal), total och art-vis data för etableringspunkterna samt den totala datamängden av referenspunkter (antal).

Table 3. Amount of collected data (number) total and species-wise data for the established points and the total data set of the reference points (number).

| | Asp | Tall | Björk | Sälj | Gran | Summa plantor | Referenspunkter |
|----------|-----|------|-------|------|------|---------------|-----------------|
| Område A | 178 | 79 | 5 | 58 | 2 | 322 | 219 |
| Område B | 143 | 99 | 87 | 45 | 1 | 375 | 291 |
| Summa | 321 | 178 | 92 | 103 | 3 | 697 | 510 |

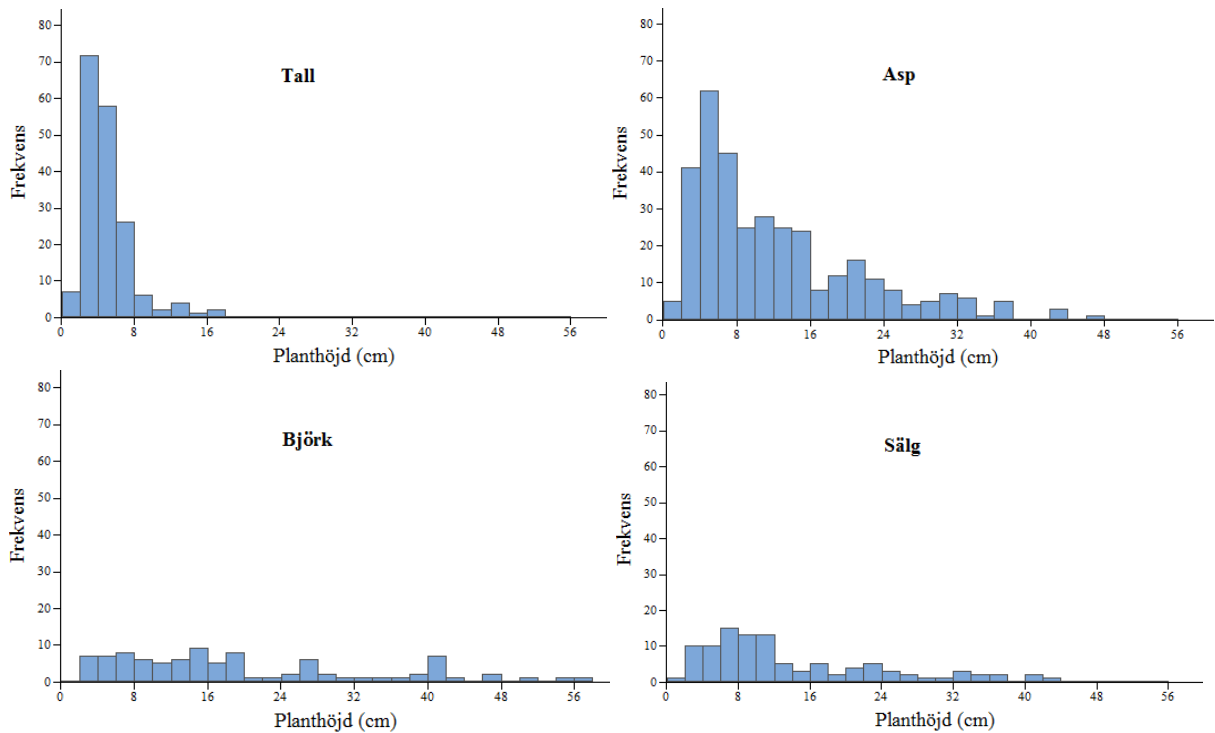
Områdena A och B jämfördes med varandra för att se om det finns någon statistisk skillnad vad gäller plantantal/m² och planthöjd för respektive art. Ett T-Test i statistikprogrammet MiniTab användes för att se eventuella statistiska skillnader mellan medelvärdena. Testets nollhypotes är att medelvärdena av antalet plantor/m² respektive planthöjd är lika mellan område A och B. Nollhypotesen för medelantalet plantor/m² för asp, sälg och tall kunde inte förkastas och medelantalet plantor/m² är alltså inte signifikant skilda för arterna mellan de båda områdena (Tabell 4). Endast för björk tydde analysen på skillnader i medelantal plantor/m² mellan område A och B.

Tabell 4. Till vänster - Medelantal plantor per m² för område A och B. Till höger - Medelplanthöjder för område A och B.

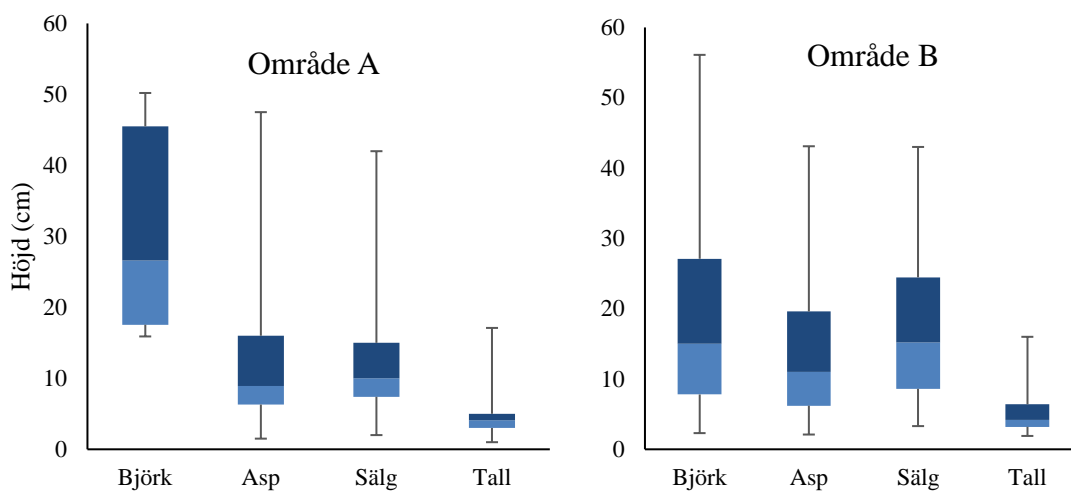
Table 4. To the left - average number of plants per m² in site A and B. To the right – Average plant heights in sites A and B.

| Antal plantor/m ² | | | Planthöjd (cm) | | |
|------------------------------|-------|-----|----------------|-------|-----|
| Tall | | | Tall | | |
| Område | Medel | SE | Område | Medel | SE |
| A | 8,5 | 1,3 | A | 4,3 | 0,3 |
| B | 7,7 | 0,5 | B | 5,2 | 0,3 |
| P-värde | 0,556 | | P-värde | 0,026 | |
| Sälg | | | Sälg | | |
| Område | Medel | SE | Område | Medel | SE |
| A | 6 | 2,6 | A | 11,1 | 1,2 |
| B | 3,7 | 0,8 | B | 17,3 | 1,6 |
| P-värde | 0,417 | | P-värde | 0,002 | |
| Asp | | | Asp | | |
| Område | Medel | SE | Område | Medel | SE |
| A | 15,8 | 1,9 | A | 10,8 | 0,6 |
| B | 11,5 | 1,7 | B | 13,6 | 0,8 |
| P-värde | 0,127 | | P-värde | 0,006 | |
| Björk | | | Björk | | |
| Område | Medel | SE | Område | Medel | SE |
| A | 0,6 | 0,4 | A | 30,5 | 6,5 |
| B | 6,8 | 0,8 | B | 18,5 | 1,4 |
| P-värde | 0,000 | | P-värde | 0,147 | |

För asp sälg och tall förkastas nollhypotesen att medelhöjderna mellan de båda områdena skulle vara lika. Endast för björk kan man ej fastställa någon skillnad på medelhöjderna mellan område A och B. För samtliga arter var det en stor spännvidd i planthöjder (Figur 4). Höjddata från de två provtagningsområdena visar för samtliga arter, med undantag för björk, att medelhöjden är något högre i område B jämfört med A (Figur 5), vilket styrks av den statistiska analysen.



Figur 4. Frekvensdiagram över planthöjder för respektive trädslag.
Figure 4. Frequency distribution of plant height for each tree species.

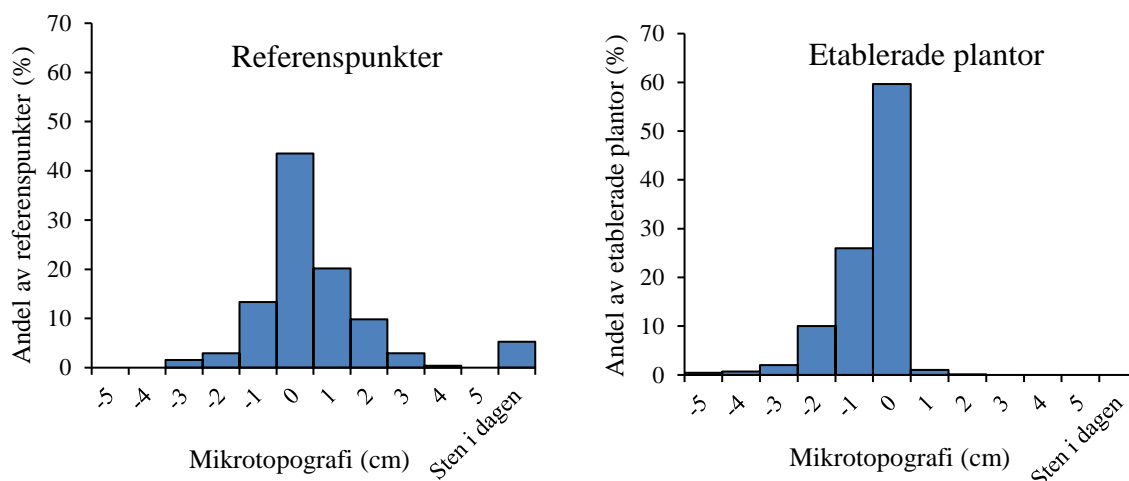


Figur 5. Lådagram över medelhöjder fördelat på trädslag och område A respektive B. Lådans längd begränsas av första och tredje kvartilen och innehåller hälften av alla observationer. Strecken ut från lådorna är spridningsmått som visar max och min värden. Medianvärdet ligger där de två färgerna möts i lådan.
Figure 5. Box plot of average heights distributed for each tree species and site. The box length is limited by the first and third quartile, and contains half of all observations. Lines going out from the boxes show max and min values. Where the two colors meet in the box the median is displayed.

För att studera om planthöjden påverkas av tjockleken på humus- och kolskiktet gjordes en regressionsanalys över sambandet. Nollhypotesen i analysen var att det inte finns något samband mellan variablerna. Regressionsanalysen gjordes trädslagsvis och endast analysen för asp hade ett tillräckligt lågt p-värde för att kunna förkasta denna nollhypotes. För övriga arter var det inte något signifikant samband mellan planthöjd och humus- och koltjocklek.

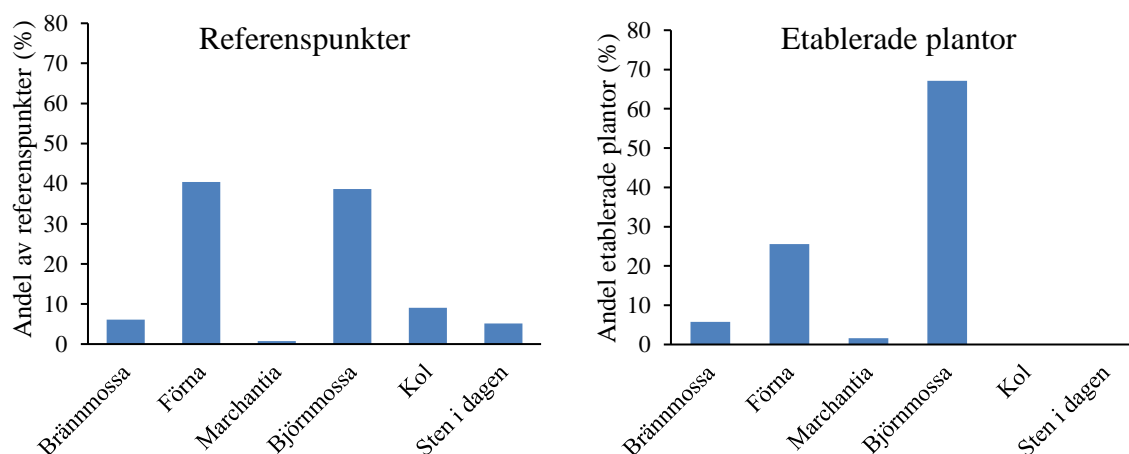
Analysen gjordes också med samtliga etablerade plantor. Inte heller här var det något signifikant samband ($P 0,931$).

Referenspunkterna var närapå normalfördelade vad gäller mikrotopografi, med ett medelvärde på +0,1 cm (Figur 6). För etablerade plantor däremot var det en stark förskjutning mot svackor, med ett medelvärde av -0,7 cm. Skillnaden var signifikant.



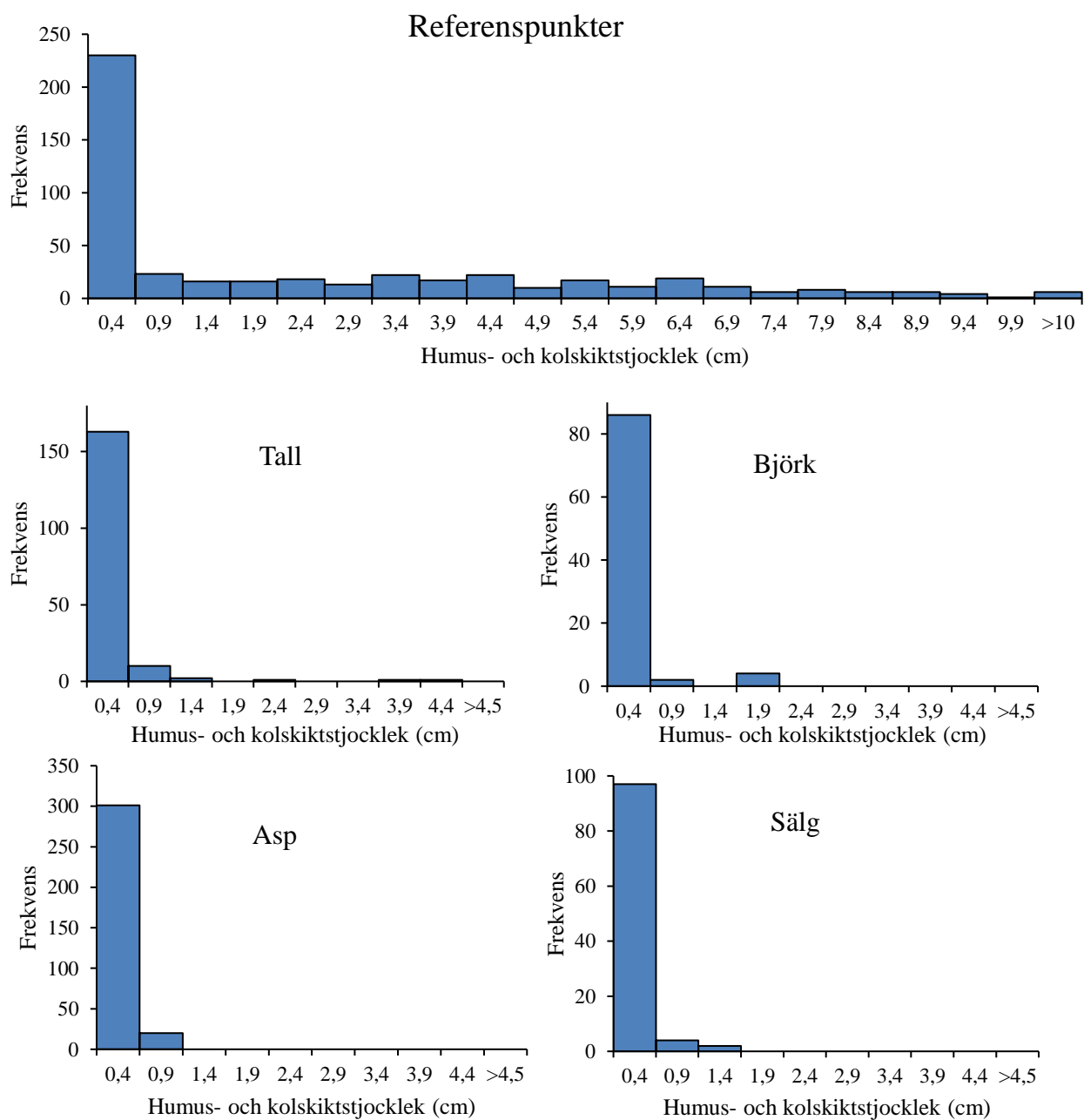
Figur 6. Frekvensfördelning av mikrotopografi-höjder för referenspunkter respektive för etablerade plantor.
Figure 6. Frequency distribution of micro-topography heights of the reference points as well as for established plants.

Den huvudsakliga yttäckningen på referenspunkterna var förna och björnmossa där 43 respektive 41 % av punkterna var täckta med dessa (Figur 7). Plantorna etablerade sig i 67 % av fallen på ytor där björnmossa vid inventeringstillfället var den dominerande yttäckningen och i 25 % av fallen på ytor med förna. För de etablerade plantorna var medelhöjden på björnmossan 2,8 cm och medelhöjden på förnan var 2,5 cm.



Figur 7. Yttäcknings-andelar för referenspunkterna samt för de etablerade plantorna.
Figure 7. Ground coverage shares of the reference points as well as for established plants.

En anova-analys visade att referenspunkternas medeltjocklek på humus- och kolskiktet var högre och skilde sig signifikant från samtliga träarter ($p < 0,001$) (Figur 8). Det fanns däremot inga signifikanta skillnader mellan de olika arterna i detta avseende.



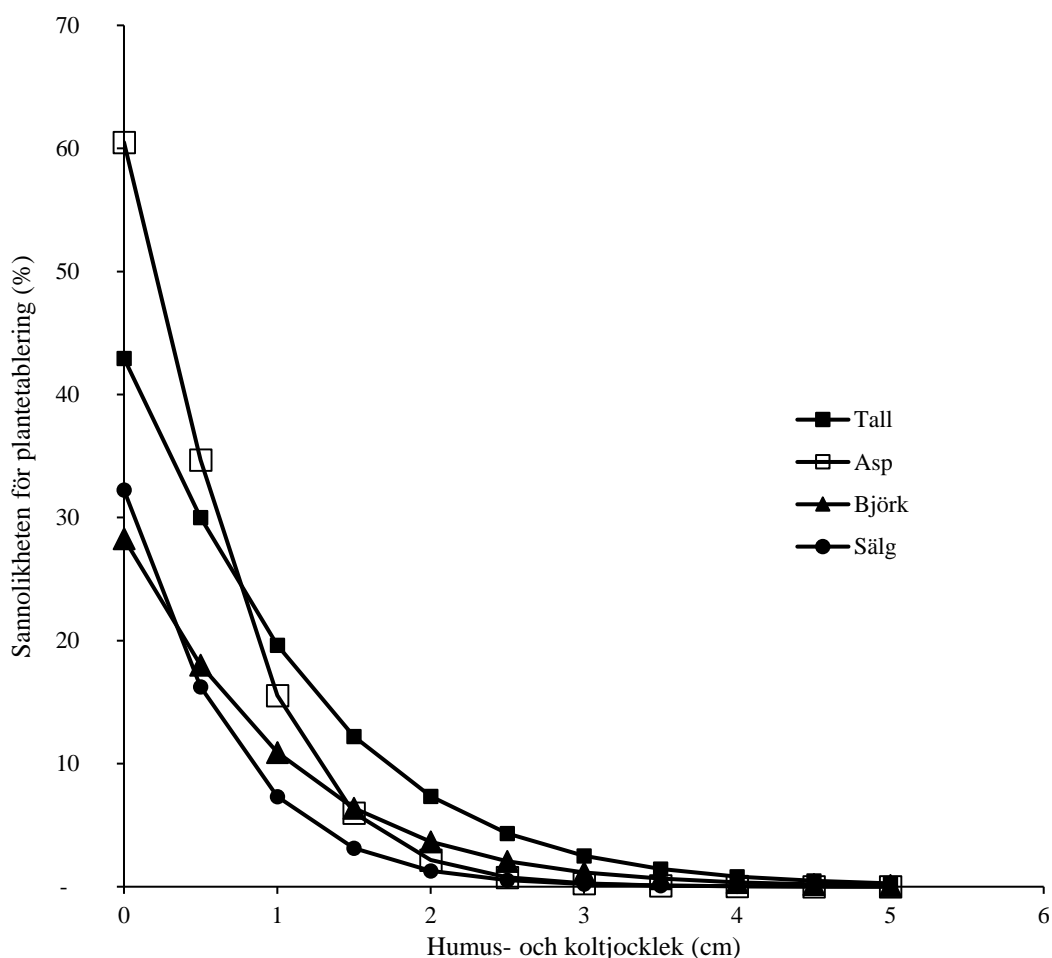
Figur 8. Frekvensfördelning av humus- och kolskiktets tjocklek för referenspunkter och etablerade plantor som redovisas trädslagvis.

Figure 8. Frequency distribution of the combined humus and charcoal layer thickness for the reference points, and established plants reported per species.

Vanlig regressionsanalys används för att studera samband i situationer där den beroende variabeln är en kontinuerlig intervallskala. Sambandet mellan humus/kolskiktets tjocklek och plantetablering innehåller data där den beroende variabeln bara kan anta två utfall; etablerad eller oetablerad planta. Man måste då använda sig av logistisk regression.

Modellen beskriver förhållandet mellan humus- och kolskiktets tjocklek och "log odds" för att en planta ska etablera sig. Med hjälp av en regressions-ekvation som beräknas ur den logistiska regressionen kan sannolikheten för att en planta ska etablera sig i en viss humus- och koltjocklek beräknas.

Sannolikheten för plantetablering för de enskilda trädarterna beräknades på detta sätt (Figur 9). Detta gjordes trots att Anova-analysen inte kunde fastställa någon signifikant skillnad vad gäller humus- och kolskiktets tjocklek arterna emellan.



Figur 9. Modellerad sannolikhet för etablering av olika trädslag i förhållande till humus- och kolskiktets tjocklek.

Figure 9. Modeled probability of establishment of the tree species in relation to the organic soil and charcoal layer thickness.

Resultatet från glödförlust-mätningen och analysen av de tre marksubstratgrupperna visar att marksubstratet humus innehöll störst andel organiskt material följt av den förkolnade humusen (tabell 5). Den frilagda mineraljorden innehöll knappt en fjärdedel organiskt material. De olika mikromiljöernas densiteter beräknades och den frilagda mineraljorden hade den högsta densiteten. Det var ingen större skillnad på humus och förkolnad humus.

Tabell 5. Analysresultat av densitet och glödförlust för de olika jordproverna redovisat per marksubstrat.

Table 5. Results from analysis of the density and volatile solids from the different soil samples are shown per soil substrate.

| | Densitet (g/cm ³) | | Andel organiskt material(%) | |
|---------------------|-------------------------------|-------|-----------------------------|----|
| | Medel | SE | Medel | SE |
| Humus | 0,202 | 0,029 | 85 | 2 |
| Förkolnad humus | 0,19 | 0,021 | 79 | 3 |
| Frilagd mineraljord | 0,856 | 0,127 | 23 | 3 |

Spridningsavstånd

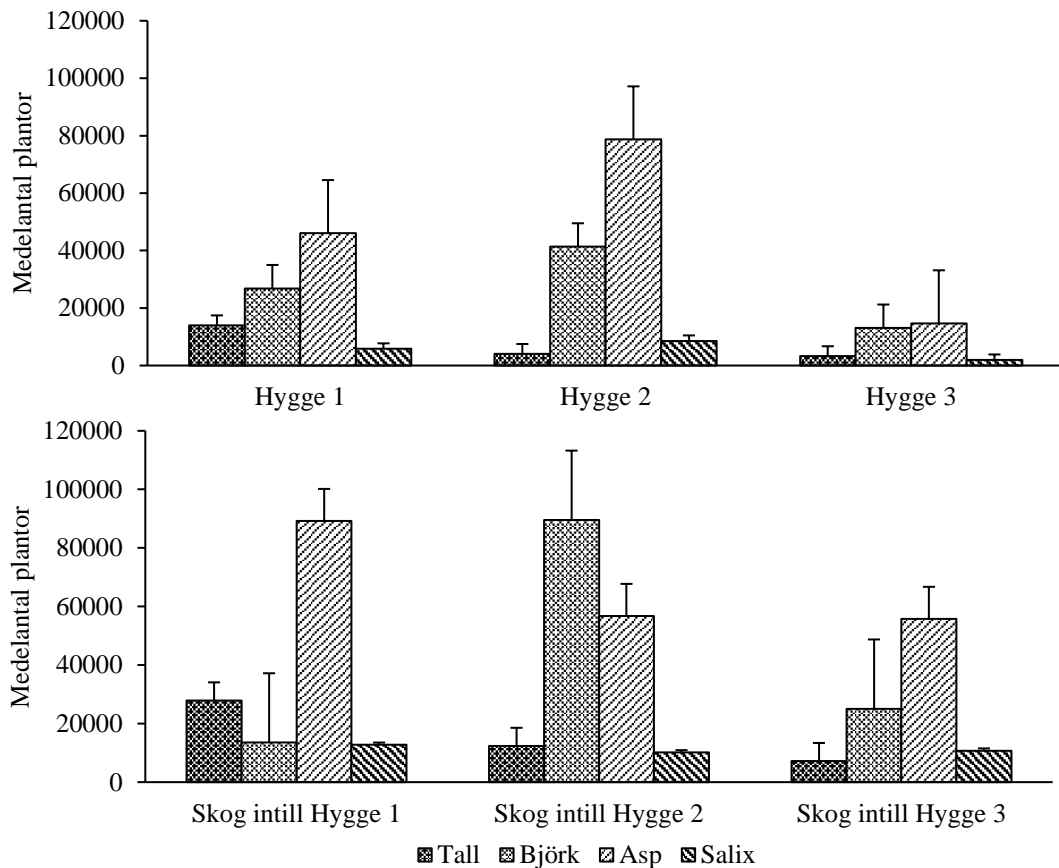
Resultaten för spridningsförsöken bygger på data från totalt 3481 observerade plantor ute på hyggen (Tabell 6). Liksom för studien om mikromiljön fanns för få observationer av gran för att det ska redovisas några resultat för denna art.

Tabell 6. Antal observationer från spridningsförsöket fördelat på respektive hygge och skogen intill hygget samt per trädslag.

Table 6. Distribution of the number of observations from the seed-dispersal study for the three clear-felled areas and the forest surrounding them.

| Art | Observationer (antal plantor) | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|------|-------|------|------|-------|
| | Asp | Tall | Björk | Sälg | Gran | Total |
| Hygge 1 | 405 | 123 | 236 | 51 | 6 | 821 |
| Hygge 2 | 1286 | 66 | 671 | 138 | 2 | 2163 |
| Hygge 3 | 221 | 49 | 197 | 29 | 1 | 497 |
| Totalt | 1912 | 238 | 1104 | 218 | 9 | 3481 |
| Skog intill Hygge 1 | 224 | 70 | 34 | 32 | 7 | 367 |
| Skog intill Hygge 2 | 285 | 62 | 450 | 51 | 1 | 849 |
| Skog intill Hygge 3 | 140 | 18 | 63 | 27 | 0 | 248 |
| Totalt | 649 | 150 | 547 | 110 | 8 | 1464 |

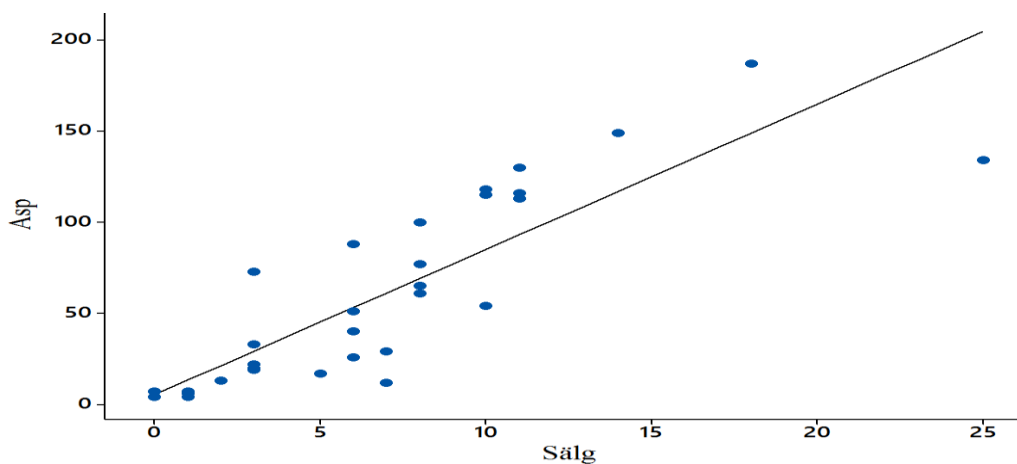
De sammanlagda resultaten från spridningsförsöket visar på att det har funnits en tillräckligt stor tillgång på frön för att förse de observerade hyggerna med en relativt tät föryngring. De tre hyggerna uppvisar liknande mönster vad gäller plantantal och artsammansättning (Figur 10). Överlag var det dock inte lika tät föryngring på hygge 3 som på de andra. Asp var det trädslag som dominerande på samtliga hyggen och därefter följde björk, medan tall och sälg var färre och ungefär lika talrika.



Figur 10. Medelantal planter per ha på hygge respektive i skogen intill hygget. Strecken ut från staplarna visar SE.

Figure 10. The average number of plants per ha, by clear-felled area and forest surrounding the clear-felled area. Error bars show SE.

Sett över samtliga cirkelprovytor visade regressionsanalysen ett starkt positivt samband mellan antalet aspplanter och antalet sälplanter med en förklaringsgrad (Adjusted R Square) på 71 % ($P < 0,001$) (Figur 11). Adjusted R Square anger andelen förklarad varians mellan 0 och 1 och kan därför utläsas som procent. Höga värden innebär hög förklaringsgrad och säkerheten att korrelationen är korrekt ökar. Det var även ett signifikant positivt samband mellan asp och björk, men förklaringsgraden var låg och svarade endast för 17 % ($P 0,012$).



Figur 11. Regressionen mellan asp och sälg ($R\text{-Sq}(\text{adj}) = 71\%$) ($p\text{-värde } 0,00$).

Figure 11. The regression between aspen and birch ($R\text{-Sq}(\text{adj}) = 71\%$) ($p\text{-value } 0,00$).

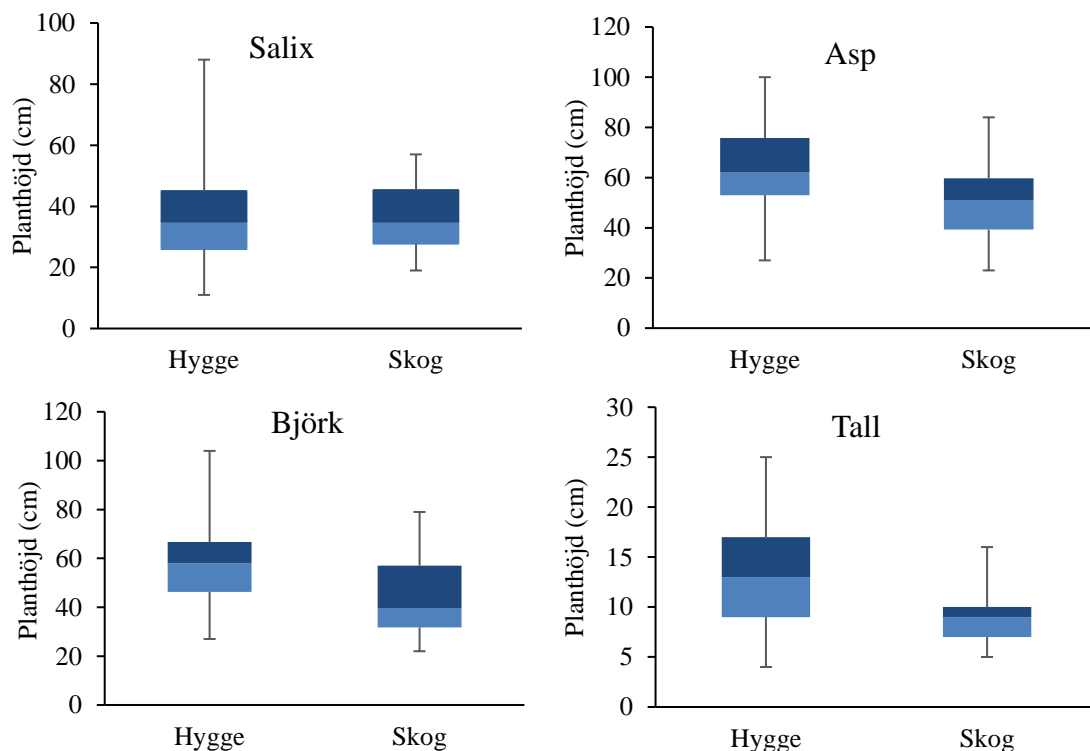
Resultateten av alla övriga art-regressioner resulterade i låga förklaringsgrader och därmed för höga p-värden för att säkert kunna påvisa några samband (Tabell 7). Ett p-värde $< 0,05$ tyder på att man med 95 % säkerhet kan förkasta nollhypotesen att det inte finns något samband mellan arterna.

Tabell 7. Regressionen mellan samtliga arter, förklaringsgraden R-Sq(adj) och dess p-värde inom parentes. Resultat med fetstil innebär signifikant p-värde.

Table 7. Regression results between all species, the coefficient of determination R-Sq (adj) and its p-value in parentheses. Number in bold shows significant results.

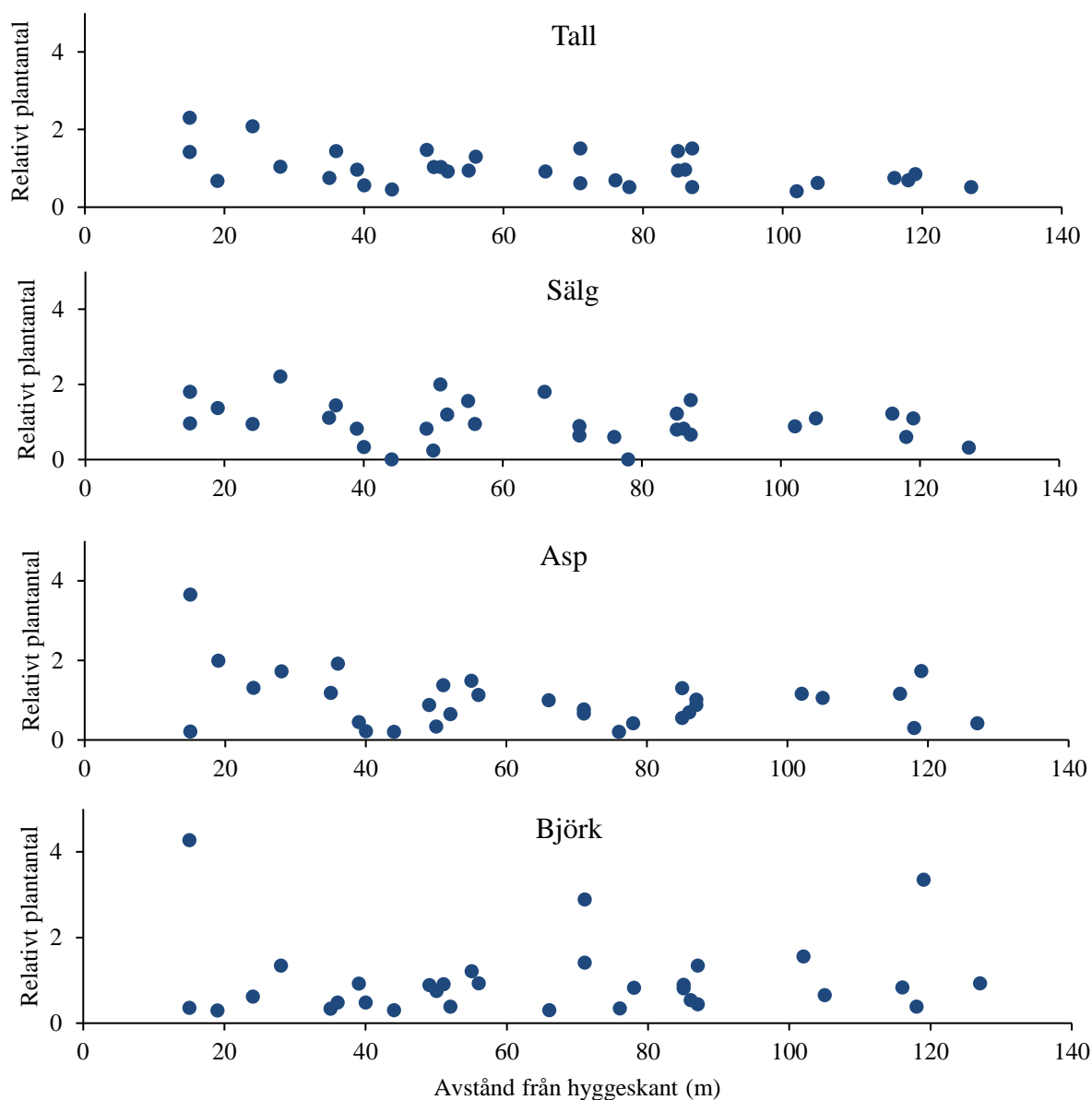
| | Tall | Björk | Asp |
|-------|-------------|---------------------|--------------------|
| Björk | 0,0 (0,659) | | |
| Asp | 0,0 (0,962) | 0,17 (0,012) | |
| Sälg | 0,0 (0,651) | 0,08 (0,065) | 0,71 (0,00) |

Planthöjderna för cirkelprovytorna i slutna skog respektive hyggerna följer samma mönster för samtliga arter (Figur 12). Medelhöjden samt högsta uppmätta höjd är högre för plantor ute på hygget jämfört med dem från den slutna skogen med ett undantag. Sälgen har samma medelhöjd i skogen som på hygget.



Figur 12. Planthöjder för respektive art på hygge respektive i skog. Höjd-datat bygger på de tre högsta plantorna från respektive art och provyta. Lådans längd begränsas av första och tredje kvartilen och innehåller hälften av alla observationer. Strecken ut från lådorna visar max och min värden. Medianvärdet visas där de två färgerna möts i lådan.

Figure 12. Plant heights for seedlings of each species on clear-felled areas and surrounding forest respectively. The data is based on the three highest plants of each species from each plot. The box length is limited by the first and third quartile, and contains half of all observations. Lines going out from the boxes show max and min values. Where the two colors meet in the box the median is displayed.



Figur 13. Det relativa plantantalet i förhållande till avstånd (m) från hyggeskant. Summerade resultat från samtliga transekter per trädslag.

Figure 13. The relative number of plants in relation to the distance (m) from the edge of the clear-felled area. The data is summarized from all transects for each species.

För tall var det ett svagt signifikant negativt samband mellan avstånd till hyggeskant och antal planter (Tabell 8, Figur 13). Förklaringsgraden var dock mycket låg (Tabell 8). För övriga arter var det inget signifikant samband (Tabell 8) och ingen antydning till sjunkande plantantal med ökat avstånd till hyggeskant (Figur 13).

Tabell 8. Resultat av regressionsanalysen mellan relativt plantantal och avstånd från hyggeskant.

Table xx. Results of the regression analysis between the relative number of plants and distance from the clear-felled area edge.

| | Regressionskoefficient | P-värde | R-Sq(adj) (%) |
|-------|------------------------|---------|---------------|
| Tall | -0,0036 | 0,036 | 0,09 |
| Björk | 0,0009 | 0,801 | 0,00 |
| Asp | -0,0034 | 0,192 | 0,02 |
| Sälg | -0,0024 | 0,232 | 0,01 |

DISKUSSION

Mikromiljöns betydelse

Etableringsframgången var för samtliga arter starkt kopplad till humus- och kolskiktets tjocklek. Ingen observation gjordes för etablerade lövträd på en humus- och kolskiktstjocklek över 2 cm. För tall fanns endast tre observationer mellan 2 och 4,5 cm. Om man antar att fröna har fallit med samma täthet över hela markytan visar resultatet att ett kvarvarande humuslager är en mycket effektiv spärr mot plantetablering. Vatten är avgörande för att ett frö ska starta sin groningen samt för den första tidens överlevnad (Rytter, et al., 2008) och det är troligt att bristande vattenledningsförmåga i den ytbrända humusen har varit ett avgörande hinder för plantetableringen. Hur stor kapillärkraften och den vattenhållande förmågan är hos olika jordar beror på deras textur. Ju finkornigare mineraljorden är desto bättre är kapillärkraften och förmågan att dra upp vatten till ytan. Humus har god förmåga att hålla vatten som kommer uppifrån i form av regn eller dagg, men förmår inte att leverera kapillärt stigande markvattnet under torrperioder då det är för poröst i sin struktur (Winsa, 1995).

Regressionsanalysen visade en snabbt fallande etableringsframgång med ökande humus/koltjocklek. Modellen jämnar ut den verkliga situationen och överskattar därmed arternas förmåga att etableras på kvarvarande organiskt material. I själva verket återfanns hela 93 % av alla plantor i positioner som i grova drag saknade kol/humuslager (klass 0 - 4 mm). I fröet finns den startenergi som grodden har för att växa och utveckla rötter för att inhämta vatten och näring från omgivningen. Enligt Bergsten, et al. (2013) innehåller tallfröet upplagsnäring som räcker för ca 2 cm rottillväxt. Med ett obefintligt eller mycket tunt lager humus och kol hinner groddarna nå mineraljorden med dess jämnare vattentillgång innan den medhavda näringen är slut. Mina resultat visar tydligt att lövträden med sina små frön har minst lika svårt som tall att etablera sig i humus. Chansen att överleva då de inte hamnar på ren mineraljord är väldigt liten.

Studien visar på flera sätt att både brandintensiteten och bränningsdjupet varit hög i området. Brandintensitet definieras som energifrigöring per längdenhet av brandfronten (Byram 1959) och har en avgörande betydelse för trädens överlevnad. Utsätts barr, blad eller knoppar för en temperatur kring 60 C under 1 min är det oftast tillräckligt för att döda växtvävnaden (Precht et al. 1973). Detta är anledningen till att markvegetationens ovanjordiska delar dödas även i lågintensiva bränder då de bl.a. saknar skydd av tjock bark och har en låg position i förhållande till branden. Ett bevis för hög brandintensitet är de tolkade ortofotona, med förstärkt IR-färg, över brandfältet som tydligt indikerar låg överlevnad.

Till skillnad mot brandintensiteten styrs bränningsdjupet främst av humuslagrets fukthalt och är en anledning till de variationer i bränningsdjup som uppkommer (Schimmel och Granström, 1996; Miyanishi & Johnson, 2002; Lyntham, 2009). Av referenspunkterna hade närmare 50 % ett humusdjup på mindre än 0,5 cm och majoriteten av dessa hade inget humusskikt över huvud taget. Detta tyder på att det vid tiden för branden varit mycket torrt djupt nere i backen. I MSB:s observationsrapport (2015) kan man tydligt se hur väderleken under juli månad (månaden innan branden) orsakade det torra läget. Endast 20 mm regn under hela månaden i kombination med ett medeltal av 50-60% i relativ fuktighet var alltså orsaken till att det var torrt djupt ner i humusskiktet. Växtligheten på ytskiktet två år efter branden visar också på ett att stora delar av humusskiktet konsumerats i branden. Ytskiktet på drygt

hälften av referenspunkterna bestod av någon form av mossa eller sten i dagen. Schimmel och Granström (1996) fann i sin experimentella studie om vegetationens respons på variationer i bränningsdjup att björn- och brännmossa dominerade markvegetationen där den brända ytan bestod av kompakt förkolnad humus eller exponerad mineraljord. Även Johnstone & Chapin (2006) fann ett signifikant positivt samband mellan ökat bränningsdjup och mosstäckning. En trolig förklaring till detta är att dessa mossor är väldigt känsliga för uttorkning under det allra första utvecklingsstadiet (Thomas et al. 1994).

De etablerade plantornas växtplats i förhållande till mikrotopografin tyder på att etableringen lyckas oftare i svackor än på upphöjda ytor. Troligen är avdunstningen av vatten något högre på krön jämfört med svackor. Det är dessutom troligare att det oftare tillförs mer vatten i svackorna. Fördjupningar kanske därmed skapar en mer skyddad och fuktigare mikromiljö i början av gröningsprocessens. Enligt Winsa (1995) är frön innan de rotat sig ordentligt väldigt känsliga och tappar lätt markkontakten vid störning t.ex. av regn och regndroppar. I studieområdet bör dock inte omlokalisering av frön till följd av hårt regn vara så troligt p.g.a. den grovt strukturerade markytan

Den spontana plantetableringen på brandfältet har varit mycket lyckad för samtliga lövträd. Det finns även en god tillgång på tallplantor om än inte så tät som för lövet. Däremot var det väldigt glest med granplantor, vilket kan bero på att studieområdet innan branden var talldominerat och därmed hade färre potentiella frökällor. Granar är inte heller lika bra anpassade för att överleva bränder vilket kan ha bidragit ytterligare till minskad fröförekomst och i sin tur etablering.

När det gällde planthöjd hade ingen av arterna något signifikant samband med humus- och kolskiktets tjocklek på etableringspunkten. Lövplantorna var uppenbart högre än tallen vilket kan skapa en svår situation för tallen i framtiden med tanke på konkurrens om ljus och näring. Planthöjderna var också signifikant högre på hygget jämfört med skogen. Detta är förväntat med tanke på den konkurrens om ljus och näring som råder i skogen.

I den trädartssammansättning som nu är etablerad kommer troligen inte några större förändringar ske. De frön som härefter sprids över området kommer troligen inte klara av konkurrensen från de redan etablerade plantorna, även om grönningen lyckas, vilket betyder att de plantor som vid det här laget är etablerade kommer att bli stommen i det framtida skogsbeståndet. Ett undantag senare i successions-stegen är gran, som säkerligen kommer att växa in underifrån och vara konkurrenskraftig på de fuktigare områdena.

Att marksubstratet frilagd mineraljord innehöll knappt en fjärdedel organiskt material kan bero på flera saker. En förklaring är att de höga temperaturerna från branden inte nått de humusfragment, som normalt sett finns inblandat i mineraljorden. Enligt Schimmel och Granström (1996) är temperaturen brant avtagande med ökat djup under förbränningshorisonten. De fann att temperaturen 20-30 mm ner i det kvarvarande humuslagret endast var 60 °C jämfört med de 292-632 °C som mättes vid förbränningen av humuslagret. Även för mineraljorden var temperaturen snabbt avtagande. Bara några mm under förbränningshorisonten överstegs inte 100 °C. En annan förklaring kan vara att en del av det organiska materialet i ytskiktet endast förkolnats och inte förbränts fullständigt (förskats).

Fröspridningsavståndet, storskaliga spatiala mönster

Fröspridningsdiagrammen för de olika arterna var överraskande flacka. Både Hesselmanns (1938) studie om tall och Fries (1984) studie om björk fann en tydlig avtagande förekomst av frön på hyggen med ett ökat avstånd från hyggeskant. I mitt material syns inte någon tydlig minskning med avståndet. För de allra flesta vindspridda trädslagen följer fröspridningskurvan en exponentiellt avtagande funktion. Slutsatsen är att jag fångat ”svansen” av arternas fröspridningskurvor, och att merparten av fröna inte kommer från frökällor nära hyggeskanten. Etablering av de inkommande fröna skulle då troligen endast vara kopplade till god etableringsmiljö och inte avstånd. För asp och sälg är detta uppenbart. Under datainhämtningen i området såg jag inga överlevande träd eller ens potentiella fröspridare av dessa två arter i närheten av provtagningsområdena. De verkar vara de överlägset bästa trädslagen som med hjälp av vinden sprider sig flera hundratals meter. Vid datainsamlingen kunde bara enstaka levande alternativt nyligen döda björkar observeras, vilket tyder på att även björkens frön med hjälp av vinden sprider sig relativt långt. Dock inte som asp och sälg. Det fanns en tydlig skillnad i etableringsantalet av björk mellan område A och B. Den enda förklaringen till detta är att det var längre till frökällor i område A än B och därför mindre frö in-spridning och etablering.

Det är svårt att veta hur fröna i tallkronorna har påverkats av branden, om fröna överlevt och fortsatt mogna eller inte. Det som talar för att tallkottens frön överlevt, är kottens kompakta uppbyggnad som på så vis borde fungera som en sköld och vara motståndskraftig för värme. Carlstedt (2009) fann att gröningsprocenten för contortatallens (*Pinus contorta*) frön påtagligt började minska först efter att kotten utsatts för en 50 s lång värmeexponering i eldflammar (>400 C°). Detta tyder också på att tallar med delvis levande kronor borde fungera som frökällor genom att släppa och sprida frön i brandområdet. De tallar som då etablerades sommaren efter branden borde alltså delvis komma från dessa träd då fröfallet huvudsakligen sker i april-juni (Heikinheimo, 1937). Tall var det trädslag som hade störst andel överlevande träd efter branden i området. Trots detta liknar inte studiens fröspridningskurva för tall den som Hesselmann (1938) fick fram. Vilket borde innebära att etableringen på hygget kommer, i alla fall till stor del, från moderträd på längre avstånd.

Björkens fröhängen är troligen mer känsliga för värmeexponeringen och sannolikheten är större att frön inte klarat sig i trädskronorna genom branden. Björken har en fröfalls-topp i augusti-september (Karlsson, 2003) vilket borde betyda att frön som fallit tidigare än så konsumerats av branden, men att en hel del har fallit därefter. De plantor som sommaren efter branden etablerats på brandfältet kommer därför mest troligen från moderträd som inte utsatts för högintensiv brand. Sälgi och asp producerar och sprider fröna under vår/försommar och de första fröna kom alltså in på brännan i början av sommaren 2015. Särskilt sälg är brandkänslig och inga överlevande fröproducerande sälgi syntes i brandområdet, vilket styrker att plantorna kommer från verkligt långspridda frön.

Brand och skötsel

I Sverige har de allra flesta skogstyper varit påverkade av brand och brunnit med mellan 20 till 200 års intervaller (Granström & Niklasson, 2000; Niklasson & Drakenberg, 2001). Bränderna har dock minskat i takt med att det industriella skogsbruket utvecklats och

effektiviserats. En procent av skogsarealen brann årligen för cirka 150 år sedan medan den siffran idag ligger på 0,016 procent av skogsarealen (Selander, 2008). Detta är en stor ekologisk förändring på relativt kort tid. Det har minskat förekomsten av olika strukturer och substrat i skogslandskapet, såsom lövdominerade bestånd och branddödade eller brandskadade träd. Detta i sin tur anses påverka livsmiljön för en mängd olika arter negativt (Wikars, 2006). Min studie visar tydligt att denna typ av skogslandskap kan nybildas genom kontrollerade bränningar med ett stort bränningsdjup. På det nya brandfältet finns nu en förnygring bestående av huvudsakligen lövträd samt stora mängder branddödad ved, både stående och liggande, och brandskadade träd.

Idag arbetar länsstyrelserna aktivt med naturvårdsbränningar inom skyddade områden så som naturreservat, nationalparker och Natura 2000 områden. För större privata skogsägare och skogsbolag är naturvårdsbränningar ett krav för certifiering av virket (Svenska FSC, 2010). Att efterlikna brand i landskapet är alltså en viktig del i skogsbrukets arbete med att möta skogsvårdslagstiftningen och de miljökvalitetsmål som riksdagen beslutat om (Naturvårdsverket, 2016; Selander, 2008; Skogsstyrelsen, 2012). Skötselmässigt finns det även positiva följder av brandens närvaro. Genom en lyckad hyggesbränning med stort bränningsdjup kan t.ex. en mycket effektiv självförnygring uppstå.

Slutsatser

För samtliga arter hade bränningsdjupet en avgörande inverkan på etableringsframgången. Det fanns ingen statistiskt signifikant skillnad mellan arterna, men en tendens att asp, sälg och i viss mån björk klarar kvarvarade humus sämre än tallen. Plantornas höjdtillväxt hade inte något signifikant samband med humus- och kolskiktets djup.

Spridningsförmågan var överraskande god för samtliga trädslag i denna studie. Trots de omfattande skadorna på skogen där en stor andel av träden dödades så har skogen och hyggena i området fått en relativt tät förnygring. Brandfältets ovanligt stora utbredning tillsammans med få överlevande träd och potentiella frökällor visar på dessa trädarters effektiva spridningsförmåga, även på långa avstånd.

Denna studie har gett mig en större förståelse till hur det faktiskt kan ha gått till när enorma brandfält återetablerats i gången tid; de största brandfälten som dokumenterats har varit i storleksordningen 20-30 000 ha (Niklasson & Granström 2000). Så stora bränder var ofta av hög intensitet och förnygringsvillkoren efteråt kan förmodligen liknas med Salabrännans.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L., Valinger, E. & Skogsstyrelsen (2012). Skogsskötselserien 1, Skogsskötselns grunder och samband. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Anon. (2015). Bildande av naturreservatet Hälleskogbrännan i Västmanlands län. Länsstyrelsen, Västmanlands län.
- Bergsten, U., Sahlén, K. (2013). Skogsskötselserien 5, Sådd (2., omarb. uppl. ed.). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Bullock, J., Mallada González, L., Tammé, R., Götzenberger, L., White, S., Pärtel, M., & Hooftman, D. (2017). A synthesis of empirical plant dispersal kernels. *Journal of Ecology*, 105(1), 6-19.
- Byram, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. Pages 90- 123 in K. P. Davis, editor. *Forest fire: control and use*. McGraw-Hill, New York, New York, USA.
- Cain, M., Milligan, B. & Strand, A. (2000). Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal Of Botany*, 87(9), 1217-1227.
- Carlsson, M. & Uldal, M. (2009). Substrathanbok för biogasproduktion. Rapport SGC 200, Svenskt Gastekniskt Center.
- Carlstedt, F. (2009). Kan risken för spontan contortaföryngring elimineras genom hyggesbränning? (Examensarbeten (SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel), 2009:2). Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Chambers, J. & MacMahon (1994). A day in the life of a seed: Movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 25, 263-292.
- Ekström, G. (1927). Klassifikation Av Svenska åkerjordar. Sveriges geologiska undersökning, Ser. C, N:o 345. Kungl. boktryckeriet P. A. Nordström & Söner, Stockholm.
- Fries, C. (1984). Den frösådda björkens invandring på hygget. *Sveriges Skogsvårdförbunds Tidskrift* 3-4: 35-49.
- Granström, A. (1987). Seed viability of fourteen species during five years of storage in a forest soil. *Journal of Ecology*, 75(2), 321-331.
- Heikinheimo, O. (1937). Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume. *Commun. Inst. For. Fenn.* 24:4, 1-67.
- Hesselman, H. & Statens skogsförsöksanstalt (1938). Fortsatta studier över tallens och granens fröspridning samt kalhyggets besåning. *Weitere Studien über die Beziehung zwischen der Samenproduktion der Kiefer und Fichte und der Besamung der Kahlhiebs (Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt, 31:1)*. Stockholm: Statens skogsförsöksanstalt.

- Johnstone, J. & Chapin, F (2006). Effects of Soil Burn Severity on Post-Fire Tree Recruitment in Boreal Forest. *Ecosystems*, 9(1), 14-31.
- Karlsson, C. & Skogsstyrelsen (2009). Skogsskötselserien 4, Naturlig föryngring av tall och gran. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Karlsson, M. (2003). Naturlig föryngring av björk i södra Sverige: Kan man styra och förutsäga resultatet? (Fakta. Skog, 2003:1). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- 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 1. *Écoscience*, 13(2), 152-163.
- Linder, P., Jonnson, P. & Niklasson, M. (1998). Tree Mortality after Prescribed Burning in an Old-Growth Scots Pine forest in Northern Sweden. *Silva Fennica* 32, pp. 339-349.
- Lynham, T.J. (2009). Forest floor fuel consumption and carbon emissions in Canadian boreal forest fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(2), 367-382.
- Miyaniishi, K. & Johnson, E. (2002). Process and patterns of duff consumption in the mixedwood boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(7), 1285-1295.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB. (2015). Observatörsrapport - Skogsbranden i Västmanland 2014. MSB 798.
- Nathan, R., Schurr, F. M., Spiegel, O., Steinitz, O., Trakhtenbrot, A. & Tsoar, A. (2008). Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(11), 638-647.
- Naturvårdsverket (2016). Miljömålen, Årlig uppföljning av Sveriges miljökvalitetsmål och etappmål 2016. Bromma: Arkitektkopia AB.
- Niklasson, M. & Drakenberg, B. (2001). A 600-year tree-ring fire history from Norra Kvills National Park, southern Sweden: Implications for conservation strategies in the hemiboreal zone. *Biological Conservation*, 101(1), 63-71.
- Niklasson, M. & Granström, A. (2000). Number and sizes of fires: Long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape. *Ecology*, 81(6), 1484-1499.
- Niklasson, M. & Nilsson, S. (2005). Skogsdynamik och arters bevarande: Bevarandebiologi, skogshistoria, skogsekologi och deras tillämpning i Sydsveriges landskap (1. uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.
- Nilsson, B., Tyboni, M., Pettersson, A., Granström, A. & Olsson, H. (2014). Punktgittertolkning av brandområdet i Västmanland - Redovisning av uppdrag från Skogsstyrelsen, Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skoglig resurshushållning. Arbetsrapport 433 2014.
- Precht, H., Christophersen, J., Hensel, H. & Larcher, W. (1973). *Temperature and life*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Rytter, L., Karlsson, A., Karlsson, M. & Stenar, L-G. Skogsstyrelsen (2008). Skogsskötselserien 9, Skötsel av björk, al och asp. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Schimmel, J. & Granstrom, A. (1996). Fire Severity and Vegetation Response in the Boreal Swedish Forest. *Ecology*, 77(5), 1436-1450.

Selander, E. (2008). Naturvårdsbränning – Svar på vanliga frågor. Stockholm: Naturvårdsverket & Länsstyrelsen Gävleborg.

Svenska FSC. (2010). Svensk skogsbruksstandard enligt FSC med SLIMF-indikatorer. FSC-STD-SWE-02-02-2010 SW.

Skogsstyrelsen (2012). Skogsvårdslagstiftningen: Gällande regler 1 januari 2012. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Thomas, P. A., Proctor M. C. E. & Maltby, E. (1994). The ecology of severe moorland fire on the North York Moors: chemical and physical constraints on moss establishment from spores. *Journal of Ecology*, 82:457-474.

Wikars L-O. (2006). Åtgärdsprogram för bevarande av brandinsekter i boreal skog. Naturvårdsverket, Stockholm.

Winsa, H. 1995. Effects of seed properties and environment on seedling emergence and early establishment of *Pinus sylvestris* (L.) after direct seeding. SLU, inst. för skogsskötsel. Doktorsavhandling.

Örlander, G. & Gemmel, P. (1989). Markberedning. Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift, 89:3. Djursholm: Sveriges Skogsvårdsförbund.

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2015:13 Författare: Elisabet Ekblad
Förutsättningar för naturhänsyn i bestånd med contortatall (*Pinus contorta*)
- 2015:14 Författare: Jon Wikström
Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag
- 2015:15 Författare: Jenny Tjernlund
Grundvattenkemin tre år efter askgödsling på djupa torvmarker i Norrland
- 2015:16 Författare: Anton Hammarström
Utveckling av en modell för bärighetsklassificering av skogsmark
- 2016:1 Författare: Gustaf Dal
Tree cover and tree traits affects soil carbon and soil compaction in Parklands in Central Burkina Faso
- 2016:2 Författare: Julia Mellåker
Degradation and restoration method interact to affect the performance of planted seedlings in tropical rainforest restoration – evidence from plant functional traits
- 2016:3 Författare: Pia Sundvall
Kväverikt spillvatten från sprängämnesproduktion – potentiell råvara i gödsel?
- 2016:4 Författare: Marcus Larsson
Betydelsen av krukstorlek, odlingstäthet och planteringspunkt vid etablering och tillväxt hos täckrotsplantor – Analys av Jackpot & Powerpot
- 2016:5 Författare: Elin Kollberg
Tidiga tillväxteffekter av kvävetillförsel på SeedPAD och plantor
- 2016:6 Författare: Lukas Holmström
Restoration of degraded tropical rainforests through gap and line planting: Effects on soil and light conditions and seedling performance
- 2016:7 Författare: Lina Edgren
Naturvård och efterbehandling i Masugnsbyns dolomittäkt
- 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

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se