



**Kandidatarbeten
i skogsvetenskap**
Fakulteten för skogsvetenskap

2014:7

**Hur påverkas markvegetationen i boreala
skogsekosystem av produktionshöjande åtgärder?**

*On how forest floor vegetation of boreal forest ecosystems
changes after productivity increasing practices*



Foto: Lars Högbom

Martin Goude & Nils Bodin

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kandidatarbete i skogsvetenskap, 15 hp,
Handledare: Mona N. Högborg,

Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Examinator: Tommy Mörling
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Program: Jägmästarprogrammet

Kurs: EX0592 Nivå: G2E

Umeå 2014



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

| | |
|---|---|
| Enhet/Unit | Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management |
| Författare/Author | Martin Goude, Nils Bodin |
| Titel, Sv | Hur påverkas markvegetationen i boreala skogsekosystem av produktionshöjande åtgärder? |
| Titel, Eng | On how forest floor vegetation of boreal forest ecosystems changes after productivity increasing practices |
| Nyckelord/ Keywords | Skogsgödsling, gödslingseffekt, hyggeseffekt, kväve, täckningsgrad Forest fertilization, fertilization effect, clear-cut effect, nitrogen, cover |
| Handledare/Supervisor | Mona N. Högberg Institutionen för skogens ekologi och skötsel |
| Examinator/Examiner | Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management |
| Kurstitel/Course | Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science |
| Kurskod | EX0592 |
| Program | Jägmästarprogrammet |
| Omfattning på arbetet/ Nivå och fördjupning på arbetet | 15 hp G2E |
| Utgivningsort | Umeå |
| Utgivningsår | 2014 |

FÖRORD

Vi, Nils Bodin och Martin Goude, konstaterade under hösten 2013 att vi hade ett delat intresse för markens kemi och hur skogsekosystem påverkas av kvävegödsling. I god tid inför uppstarten av kursen “Kandidatarbete i Skogsvetenskap” så stiftade vi kontakt med forskaren Mona N. Högberg på Institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel på SLU. Hon såg till att vi kom i kontakt med Lars Högbom på Skogforsk som kunde förse oss med data från gödslingsförsöket 165 i Hagfors.

Vi vill tacka vår handledare Mona N. Högberg för all hjälp vi fått med både kontakter, analyser och skrivande. Vi vill även tacka Lars Högbom, Skogforsk, för att han delat med sig av det datamaterial som arbetet bygger på och för all vägledning och hjälp. Vi vill också passa på att tacka Annika Nordin, professor vid Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi, för den vägledning och guidning vi fått.

Umeå, april 2014

Nils Bodin och Martin Goude

SAMMANFATTNING

I den boreala vegetationszonens skogar är kväve i regel en tillväxtbegränsande faktor som ofta har en avgörande effekt på markvegetationen. Markvegetationen har betydelse för biologiska processer, biodiversitet och ger ekosystemtjänster. Kväve tillkommer dessa ekosystem genom atmosfärisk kvävedeposition, kvävefixering och skogsgödsling. I och med krav på ökad produktion kan skogsgödsling bli en allt vanligare åtgärd inom skogsbruket vilket skulle öka kvävemängderna i skogen. Vi undersökte därför vilken effekt detta skulle kunna ha på en medelgod tallskogs markvegetation.

Vår studie baserades på data från Skogforsks gödslingsförsök 165, Hagfors. Gödslingsbehandlingarna pågick med olika intervall och doser från 1981 till 2003. Sex arters täckningsgrader, uppmätta och skattade under sex år från och med avverkningen 2006 samlades in och tilldelades oss. Utvecklingen på försöksytorna jämfördes med utvecklingen på obehandlade kontrolltytor. Med dessa data analyserade vi effekten av de två gödslingsbehandlingarna på markvegetationens utveckling efter avverkningen.

Analyserna säkerställde inte att kvävegödslingarna hade en effekt på markvegetationens utveckling. Däremot säkerställdes en återkommande tidsmässig effekt på markvegetationens utveckling på både de gödslingsbehandlade ytorna och kontrolltytorna. Detta tolkade vi som en kraftig hyggeseffekt som överskuggade eventuell effekt av gödslingsbehandlingarna.

Försökets gödslingsbehandlingar var mångdubbelt kraftigare än dagens rekommenderade skogsgödslingar och atmosfäriska kvävedeposition. Därför kan detta resultat tolkas som att dagens skogsgödslingsåtgärder och kvävedeposition inte har någon nämnvärd effekt på markvegetationens utveckling efter avverkningar, jämfört med hyggeseffekten. Därmed inte sagt att skogsgödsling saknar effekt på markvegetationen, bara att denna studie inte kunde visa på den. För att testa generaliteten i studiens resultat krävs fler försöksstudier på ståndorter med varierande produktivitet.

Nyckelord: Skogsgödsling, gödslingseffekt, hyggeseffekt, kväve, täckningsgrad

SUMMARY

In forests of the boreal vegetation region, nitrogen is commonly a growth limiting factor and of great importance to the forest floor vegetation. The forest floor vegetation is essential to biological processes, biodiversity and providing ecosystem services. Nitrogen enters these ecosystems through atmospheric deposition, nitrogen fixation and forest fertilization. As the demand for forest production is increased, the more common fertilization might be which ought to alter the forest's nitrogen supply. Therefore we wanted to examine the effects that modified nitrogen levels would have on forest floor vegetation of a common, medium rich pine forest.

Our study was based on data of the Skogforsk experiment 165, Hagfors. The nitrogen fertilization treatments were conducted with different intervals and intensities on the site from 1981 until 2003. The data collected and assigned to us, was the cover data of six different species, measured and estimated during six consecutive years from clear cutting in 2006. The vegetation development on fertilized plots was compared to that of control plots. With these data we analyzed the effects of fertilization on the development of forest floor vegetation after the clear-cut.

Statistical analysis could not determine whether nitrogen fertilization affected the development of forest floor vegetation. But a reoccurring effect on the development of forest floor vegetation is that of time, both on fertilized and untreated plots. This was interpreted as the effect of clear-cutting, overriding possible effects of fertilization.

The intensities of these fertilization treatments were much higher than the sum of recommended forest fertilization and nitrogen deposition. Therefore we do not expect forest fertilization and atmospheric deposition to affect forest floor vegetation development after clear-cuttings, compared to the clear-cut effects. Though this does not mean that forest fertilization has no effect at all, just that this study could not detect it. To test the generality of these results additional experimental studies are needed and in stands of varying productivity.

Keywords: Forest fertilization, fertilization effect, clear-cut effect, nitrogen, cover

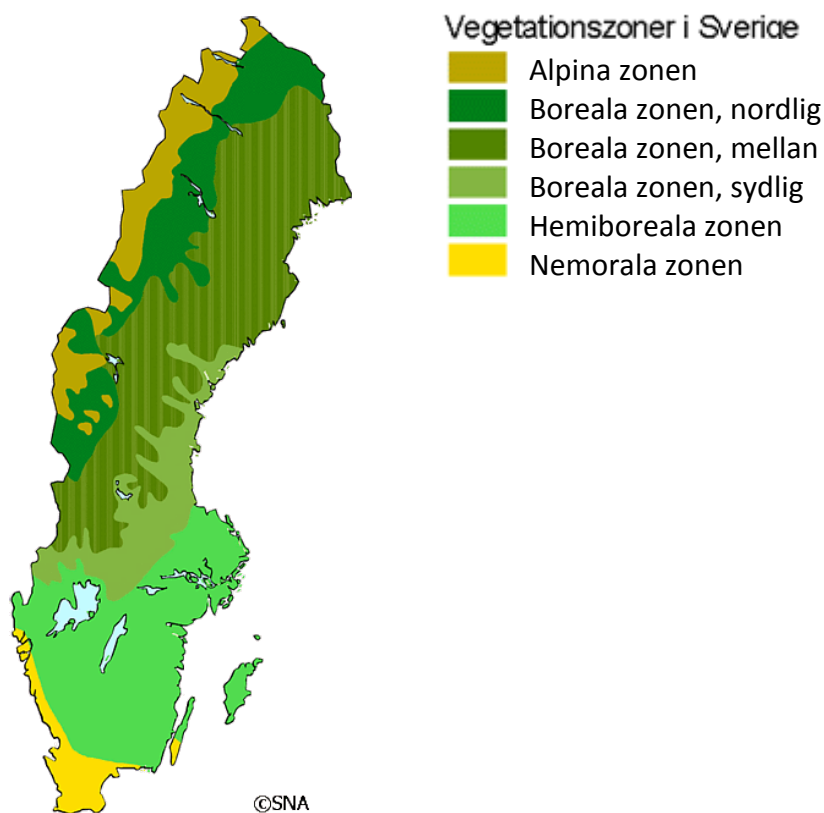
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|----|
| Förord..... | 2 |
| Sammanfattning..... | 3 |
| Summary | 4 |
| Innehållsförteckning..... | 5 |
| Inledning..... | 6 |
| Bakgrund | 6 |
| Hypoteser | 10 |
| Syfte..... | 10 |
| Material och metoder | 11 |
| Studielokal..... | 11 |
| Försökets uppställning och design | 11 |
| Datainsamling..... | 13 |
| Databearbetning och -analys | 13 |
| Resultat..... | 15 |
| Statistiska analyser | 16 |
| Diskussion..... | 18 |
| Resultaten | 18 |
| Analyserna..... | 19 |
| Resultat och praktisk tillämpning..... | 20 |
| Försöksdesignen..... | 20 |
| Slutsats | 21 |
| Referenser | 22 |

INLEDNING

Bakgrund

I den boreala vegetationszonens skogar är kväve en begränsande tillväxtfaktor för de flesta växter och påverkar växtsamhällets artsammansättning. Kväve tillkommer dessa ekosystem genom atmosfärisk kvävedeposition, kvävefixering och skogsgödsling. När kvävetillgången ökar, ökar även tillväxten för de flesta växtarterna (Jarvis m.fl. 2000; Tamm m.fl. 2001; Strengbom m.fl. 2001, 2008). Norra Skandinavien ligger i den boreala vegetationszonen vars sydliga gräns ligger ungefär vid den 60:e breddgraden och gränsar ner till den hemiboreala zonen (Olsson m.fl. 2006), (Figur 1).



Figur 1 Karta över Sveriges vegetationszoner. © Lantmäteriet i2012/901.
Figure 1 Map over the vegetation zones of Sweden. © Lantmäteriet i2012/901.

Det som skiljer zonerna åt är deras olika flora. Den boreala zonen täcks till stor del av barrskogar vars markflora domineras av långsamväxande arter inom *Ericaceae*-familjen till exempel: Blåbär (*Vaccinium myrtillus* L.) och lingon (*Vaccinium vitis-idaea* L.) på marker med låg- och medelhög skogsproduktion. Där skogsproduktionen är högre finns ett ökat inslag av lågörter och gräs som krustätel (*Deschampsia flexuosa* L.) (Hedwall m.fl. 2013). Markvegetationen spelar en viktig roll i de boreala skogarna. Den påverkar en mängd biologiska processer, bidrar till biodiversitet i de i övrigt relativt fattiga skogarna och ger mängder av ekosystemtjänster (Nilsson m.fl. 2005; Gilliam 2007). Ny forskning har visat att nyckelarters täckning i markvegetationen (blåbär, lingon och krustätel) under de senaste

decennierna har minskat i Sverige. Detta tros bero bland annat på ökad ljuskonkurrens på grund av tätare skogar (Jacobson m.fl. 2005). Om det istället berodde på den ökade kvävetillgången på grund av atmosfäriskt nedfall hade inte alla arter minskat, utan då hade de kvävegynnade arterna ökat. Detta på bekostnad av växter som gynnas av fattigare växtlokaler (Hedwall m.fl. 2013). Att skogarna blir tätare beror på att skogsägare och samhälle arbetar mot en förhöjd skogsproduktion av olika skäl. Det kan till exempel vara ett ökat krav på förnyelsebara drivmedel och produkter med mindre klimat- och miljöpåverkan.

Sveriges skogsareal utgörs av 28 miljoner hektar (Riksskogstaxeringen 2014). I storskogsbruket i Sverige har skogsgödsling länge varit en viktig produktionshöjande åtgärd. Kulmen för skogsgödslingens omfattning kom 1975 då ungefär 200 000 ha/år gödslades. Sedan dess har arealerna som gödslas i Sverige sjunkit till 50 000 ha/år, år 2012 (Ståhl m.fl. 2013).

I Skogsstyrelsens författningssamling står "När skogsgödsling utförs ska det ske så att skador förhindras eller begränsas" (Kvävegödsling 2013). De skador som här avses och ska begränsas innefattar:

- Kväveurlakning
- Förhöjda halter av oorganiskt kväve i yt- och grundvatten
- Att känsliga arter slås ut eller påverkas negativt
- Förurning av mark och vatten
- Skador på forn- och kulturlämningar

Skogsstyrelsens allmänna råd kring kvävegödsling i skogsmark delar in Sverige i fyra delar där en viss mängd tillsatt kväve per omloppstid inte bör överskridas (Kvävegödsling 2013), (Figur 2).



Figur 2 Karta över Skogsstyrelsens fyra gödslingszoner i Sverige. Bo Persson, 2009.

Figure 2 Map of the Forest Agency's four fertilization zones in Sweden. Bo Persson, 2009.

I område 1 som utgör södra och västra Götaland är rekommendationen att ingen kvävegödsling sker. I område 2 som utgör östra och norra Götaland bör normalt ingen kvävegödsling ske. Man kan dock tänka sig att gödsla max 150 kg N/ha och omloppstid i detta område om man skördat eller planerar att skörda GROT (GRenar och TOppar). I detta fall kan man kvävegödsla som en kompensationsåtgärd för GROT-skördens näringsuttag. Område 3 utgör Svealand och södra Norrland. Inom detta område rekommenderas som mest 300 kg N/ha och omloppstid. För område 4 vilket utgör de resterande delarna av Norrland rekommenderas max 450 kg N/ha och omloppstid.

Vissa marker bör undantas från skogsgödsling, oberoende av dess placering i landet:

- Marker med ståndortsindex högre än G30 och lägre än T16
- Lavmarker
- Torvmarker
- Grunda och genomsläppliga jordar
- Utströmningsområden eller blöta marker

Till en del marker som inte bör kvävegödslas bör även en skyddszon på ca 25 m lämnas som inte får gödslas med mer än 10 kg N/ha:

- Vattendrag och sjöar som är vattenförande året runt
- Våtmarker med höga eller mycket höga natur- och kulturvärden
- Hänsynsskyddade biotoper
- Formellt skyddad mark
- Tomtmark

Man vet att kvävegödsling av marker där kväve är en tillväxtbegränsande faktor kan vara ett sätt att öka produktionen (Johansson m.fl. 2013). Tidigare studier har visat på samband mellan gödsling och markvegetationens utveckling och sammansättning. Bland annat har studier utförda på både gran- och tallmark i mellersta Norrland visat på långvariga effekter av kvävegödsling på markvegetationen efter att gödsling avslutats (Olsson m.fl. 2002; Strengbom m.fl. 2001). Effekterna har oftast varit små och framför allt i form av förändrade konkurrensförutsättningar, vilket orsakat förändrad förekomst bland de arter som redan funnits etablerade. Man har i en tidigare studie inte observerat några tydliga vegetationstypsförändringar som effekt av kvävetillförsel (Olsson m.fl. 2006). Detta kan tyda på en hög resistens (motståndskraft mot yttre påverkan) i det boreala vegetationssamhället. Tydliga effekter på markvegetationen förekommer enligt Skogsforsks bok "Skogsgödsling" endast vid mycket höga kvävegivor (Jacobson m.fl. 2005). Trots de små effekterna på vegetationen kunde man dock se en långvarig påverkan som sträckte sig så långt som 20-30 år efter avslutad behandling. Detta tyder på att det boreala växtsamhället har låg resiliens (ekosystemet återhämtningsförmåga efter förändring) mot gödslingseffekter (Strengbom m.fl. 2001).

Gödslingens påverkan begränsas inte till vegetationen utan når även svampsamhället där mykorrhizasvampar drabbas negativt. Mängden mykorrhizasvampar och dess näringsupptagande markmycel minskar på de lokaler som tillförs extra kväve. Även artsammansättningen bland svamparna förändrades kraftigt på gödslade ytor jämfört med obehandlade kontrolltytor. Arter missgynnade av kväve minskar och kan helt försvinna medan kvävegynnade arter ökar (Strengbom m.fl. 2001).

Studier har visat att man kan se effekter av kvävegödsling även efter en avverkning (Strengbom m.fl. 2011). Gödslingseffekten är som störst på lokaler som har lågt kvävedefall (deposition), låg bördighet och låga stamtätheter. Detta beror på att abundansen för många skogsarter (t.ex. lingon och blåbär) är som störst vid medelproduktiva marker, vilket gör att gödsling av fattiga lokaler ger ökad fältvegetationstäckning (Hedwall m.fl. 2013; Strengbom m.fl. 2008). Det har också visat sig bero på den stora förekomsten av kvävekänsliga lavar på väldigt fattiga lokaler. Den negativa effekt som kvävetillförsel har på lavsamhällen i form av minskad förekomst är både kraftig och långvarig (Hedwall m.fl. 2013). Deposition av atmosfäriskt kväve leder generellt till att kvävegödslingens effekt på markvegetationen blir mindre tydlig. Ett årligt medelvärde för bulkdeposition av oorganiskt kväve i Sverige under slutet av perioden 2000 till 2010 beräknades i en rapport från Svenska Miljöinstitutet vara: 8 kg N/ha/år i sydvästra Sverige, 3 kg N/ha/år i sydöstra Sverige, och 2 kg N/ha/år i landets norra halva (Karlsson m.fl. 2012).

Avverkningseffekten innebär att ljusstillgången ökar då det skuggande trädsiktet tas bort, att näringstillgången ökar då trädens näringsupptag upphör och att mineralisering av organiskt bundet kväve ökar (Strengbom m.fl. 2011; Högbom m.fl. 2002). En viktig avverkningseffekt är också den mekaniska skada som markvegetationen utsätts för, som bland annat körskador från skogsmaskiner och/eller fallande träd. Det är känt att avverkningar har en stor effekt på markvegetationens sammansättning och arters totala täckning. En finländsk studie utförd i granskog (60:e bredgraden) visade bland annat att biomassan för blåbär och lingon minskar efter en avverkning (Palviainen m.fl. 2005). Störst visade sig effekten vara för blåbär. Markvegetationen hade en förhållandevis hög resiliens då blåbär hade återhämtat sig till ursprungsbiomassa inom fyra år och lingon inom tre år efter avverkning.

Effekten av gödsling visar sig vara störst efter att skogen avverkats då ljuset inte längre är en begränsande faktor. I glesare skogar är konkurrensen om ljus mindre och effekten av kvävegödsling blir då tydligare (Strengbom m.fl. 2011). Man har kunnat visa att det är konkurrensförhållandena mellan befintliga arter som förändras och indirekt artsammansättningen efter kvävegödsling (Hedwall m.fl. 2013). Effekterna på markvegetationen efter avverkningar och kvävegödslingar är i sig väl kända, men man vet lite om vilken effekt behandlingarna har i kombination. Hur stor del av den möjliga kombinationseffekten på markvegetationen kan tillskrivas gödslingen och hur stor del beror på avverkningen?

Hypoteser

Utifrån inhämtad information och kunskap har fyra huvudhypoteser formulerats som rör var sin del inom studien.

1. Avverkningseffekter
 - Den art som dominerar av blåbär eller lingon kommer att förstärka sin dominans vid ökad kväve- och ljustillgång efter avverkning.
 - Hypotesen ovan gäller om konkurrensen från gräs inte blir för stor.
2. Kvävegödslingens effekter
 - Ju högre ackumulerad mängd kväve som tillförs marken – desto större effekt på markens vegetation efter avverkning.
3. Samverkande effekter
 - Tidigare utförd gödsling accelererar nyetableringen av markvegetation efter avverkning.
4. Tidseffekter
 - Ett positivt samband finns mellan markvegetationens täckningsgrad och tiden efter avverkning.

Målet med studien, som är en av många delstudier från försöket, är att utifrån datamaterialet få en ökad förståelse och kunskap om hur avverkningseffekten samt tidigare utförd gödsling påverkar markvegetationssamhället över tiden under sex år. Den här studien kommer att visa om de ställda hypoteserna kan antas eller förkastas.

Syfte

Delstudiens syfte är att genom statistiska analyser av data insamlade av Skogforsk analysera effekten som två olika gödslingsbehandlingar har på markvegetationens utveckling efter avverkningen. Detta genom en jämförelse mellan ytor som kvävegödslats med ogödslade kontrolltytor. Studien kommer förhoppningsvis att kunna hjälpa till med att fylla i de kunskapsluckor som finns kring hur redan utförd kvävegödsling påverkar vegetationssamhällets utveckling och återhämtning efter avverkning. Resultaten kan komma att användas för formulering av framtida skogsskötselråd, samt för att utvärdera och förutse gödslingens effekter på markvegetationen. Men då inte bara på kort sikt under samma omloppstid, utan även på längre sikt efter etablerandet av nästkommande generation.

MATERIAL OCH METODER

Studielokal

Försöket utfördes i Hagfors på försöksytan 165 (60°00'N, 13°43'E). Det dominerande trädslaget på lokalen var tall och medelåldern var 65 år vid försökets uppstart 1981. Jordmånen var podsol bestående av sandig moig morän. Lokalen hade en medelhög skogsproduktion med en bonitet på T24. Den årliga medeltemperaturen var 4,2°C med en medelnederbörd på 720 mm/år. Den årliga totaldepositionen av kväve från atmosfären låg för lokalen på ca 6-9 kg N/ha (Jacobson m.fl. 2010).

Försökets uppställning och design

Försökets ursprungliga syfte var att mäta skillnader i stamtillväxt och ekonomiska utfall efter fyra olika gödslingsbehandlingar. De fyra behandlingarna bestod av en kontrollbehandling (0 kg N/ha), och tre olika gödslingsbehandlingar med totalmängderna 450 kg N/ha, 900 kg N/ha och 1800 kg N/ha. Varje enskild gödselgiva bestod av 150 N/ha. Kvävet tillsattes i form av NH₄NO₃, med 1 kg bor/ha för varje giva. Efter 1991 tillsattes även dolomit (N 27 %, Ca 4 %, Mg 1 %) till utgödslingen. I denna studie gjordes inga mätningar på markvegetationen efter behandlingen med 1800 kg N/ha och berörs därför inte av analyserna i denna studie. De olika behandlingarna hade även olika intervall mellan givorna för att få jämnare tillskott av N över tiden. För behandlingen med 450 kg N/ha var intervallet åtta år och för 900 kg N/ha var intervallet fyra år. Den årliga tillförseln för behandlingarna låg på 19,5 kg N/ha/år för behandlingen 450 kg N/ha, och 39 kg N/ha/år för behandlingen 900 kg N/ha. Behandlingsperioden varade mellan åren 1981 till 2003.

Tabell 1 De olika gödslingsintervallen för behandlingarna: 0 kg N/ha (0N), 450 kg N/ha (450N) och 900 kg N/ha (900N).

Table 1 The different fertilization intervals for the treatments: 0 kg N/ha (0N), 450 kg N/ha (450N) and 900 kg N/ha (900N).

| År | 0N | 450N | 900N | År | 0N | 450N | 900N |
|------|----|------|------|------|----|------|------|
| 1981 | - | 150 | 150 | 1993 | - | - | 150 |
| 1983 | - | - | - | 1995 | - | - | - |
| 1985 | - | - | 150 | 1997 | - | 150 | 150 |
| 1987 | - | - | - | 1999 | - | - | - |
| 1989 | - | 150 | 150 | 2001 | - | - | 150 |
| 1991 | - | - | - | 2003 | - | - | - |

Försöket lades upp som ett randomiserat blockförsök (Figur 3). Försökets huvudreplikat var de olika blocken (Block 1, Block 2, Block 3). Varje block delades in i tre 30 x 30 m stora ytor (1, 2, 3), och en av de tre olika gödslingsbehandlingarna utfördes i varje block. Varje yta delades dessutom upp i två halvor (A & B) och man valde slumpvis vilken av halvorna som skulle markberedas. I varje halva som inte markbereddes placerades sex fasta provytor (50 x 50 cm) ut. I varje delyta som markbereddes placerade man slumpmässigt 18 provytor - sex fasta provytor i fårorna, sex fasta provytor på vältorna och sex fasta provytor mellan fårorna. De data som analyserades i denna studie samlades in från de orörda provytorna mellan fårorna i de markberedda delytorna, då det inte var markberedningseffekter som skulle analyseras. Provytorna var replikat som användes för att skapa representativa medelvärden för varje huvudreplikat och medelvärden beräknades för varje delyta innan vidare analyser utfördes. Användandet av provytor är nödvändigt för att kunna mäta och skatta markvegetationens täckningsgrader korrekt mellan mätningarna över tiden. Blockförsök anläggs ofta för att inbegripa uppenbar naturlig variation och därmed stärks efterkommande statistiska tester. Försökdesignens syfte var att detektera skillnader inom varje enskilt block, det vill säga mellan behandlingarna och att inbegripa den naturliga variation som fanns mellan blocken.

Behandling:

| | Block 1 | | Block 2 | | Block 3 | |
|-------------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|
| 0 kg N/ha | 1 A | 1 B | 1 A | 1 B | 1 A | 1 B |
| 450 kg N/ha | 2 A | 2 B | 2 A | 2 B | 2 A | 2 B |
| 900 kg N/ha | 3 A | 3 B | 3 A | 3 B | 3 A | 3 B |

Figur 3 Det randomiserade blockförsöket, Hagfors 165.

Figure 3 The randomized block design experiment, Hagfors 165.

Datainsamling

Mätningar på markvegetationen utfördes i slutet av augusti månad från och med 2006 till och med 2011. Markvegetationens täckning skattades både subjektivt och objektivt och är ett indirekt mått på dess biomassa (Hedwall m.fl. 2013). Detta gjordes årligen för sex arter; blåbär, lingon, kruståtel, ljung (*Calluna vulgaris* L.), korsört (*Senecio vulgaris* L.) och hallon (*Rubus idaeus* L.). För att skatta arternas täckning i de fasta provytorna användades två metoder: En där man subjektivt skattade täckningsgraden i logaritmiska procentklasser: 0=0%, 1= 1-3%, 2=3-6%, 3= 6-12%, 4=12-25%, 5=25-50% och 6>50%. Anledningen till att man inte angav täckningen direkt i procent utan i dessa klasser var att man ville vikta upp de arterna med mycket låga täckningsgrader och därmed göra en jämförelse mer rättvisande. Betydelsen av att veta att en arts täckningsgrad var 0 - 1 % jämfört med om den exempelvis var 62 - 63 %, var mycket större. Det vill säga det är viktigare att veta om arten i fråga finns eller inte finns, jämfört med om den finns i stor eller liten omfattning. Med den andra metoden mättes biomassan objektivt, genom att mäta träffar med point-intercept-metoden. I varje provyta stacks 16 pinnar ner genom vegetationen och man noterade antal fysiska träffar med de sex arterna för varje pinne. I datamaterialet noterades det som totalt antal träffar per art och provyta. Detta var en mer objektiv inventeringsmetod än skattningen av täckningsgraden. Innan de årliga mätningarna avslutades 2011 samlades i juni markvegetation in i slumpvis utlagda 30 x 30 cm² provytor inom varje delyta. Insamlingen gjordes för att få fram näringsinnehåll och vikter för vegetationen. All vegetation klipptes av och torkades i 70°C för att kunna mäta torrsvikt och analysera kemiskt innehåll. Växtmaterialet analyserades på Institutionen för skoglig ekologi och skötsel i Umeå. Vegetationens kväve- och kolinnehåll (%), biomassa nettovikt (g/m²), samt kväve- och kolinnehåll i förhållande till vikten registrerades. För mer detaljerad information om mätningar och analyser hänvisas här till (Svensson m.fl. 2013; Johansson m.fl. 2013, 2010). Allt data som insamlats under sex år sammanställdes i Exceltabeller.

Databearbetning och -analys

Förekomsten av de sex arterna mättes för att bestämma effekterna av olika kvävegödslingsbehandlingar. I idealfallet - om effekten av en gödslingsbehandling var positiv ökade förekomsten och var den negativ så minskade den. Var effekten mycket negativ och livsmiljön blev helt oduglig, så uppmättes en nolla. Nollor tolkas av de statistiska analyserna som definitiva minimum. Ett datamaterial som innehåller allt för många nollvärden kan därför ge osäkra analyser (Peck 2010). Även extremfall kan uppstå om en pinne hamnat i en tuva av kruståtel och då gett mycket höga träffvärden, vilket ger missvisande analysresultat. Därför uteslöts datarader och -kolumner som endast innehöll nollor, samt de innehållandes enstaka extremt höga värden. Resterande träff-data standardiserades, genom att antalet träffar per art och provyta dividerades med antalet pinnar per provyta, totalt 16 stycken (Greig-Smith 1983). Detta gjorde att datamaterialet som mätts i träffar omvandlades till procentuell, objektiv täckningsgrad. Denna täckningsgrad användes istället för den subjektivt skattade i de utförda analyserna. Strukturen på Exceltabellerna anpassades till de statistiska analysprogram som kom att användas.

Normalfördelningstest utfördes i programmet SigmaStat på de olika arterna i datamaterialet för att ta reda på vilka arter som var lämpligast att använda vid de kommande statistiska analyserna. Dataseten för arterna lingon och blåbär var normalfördelade och lämpliga för parametriska test.

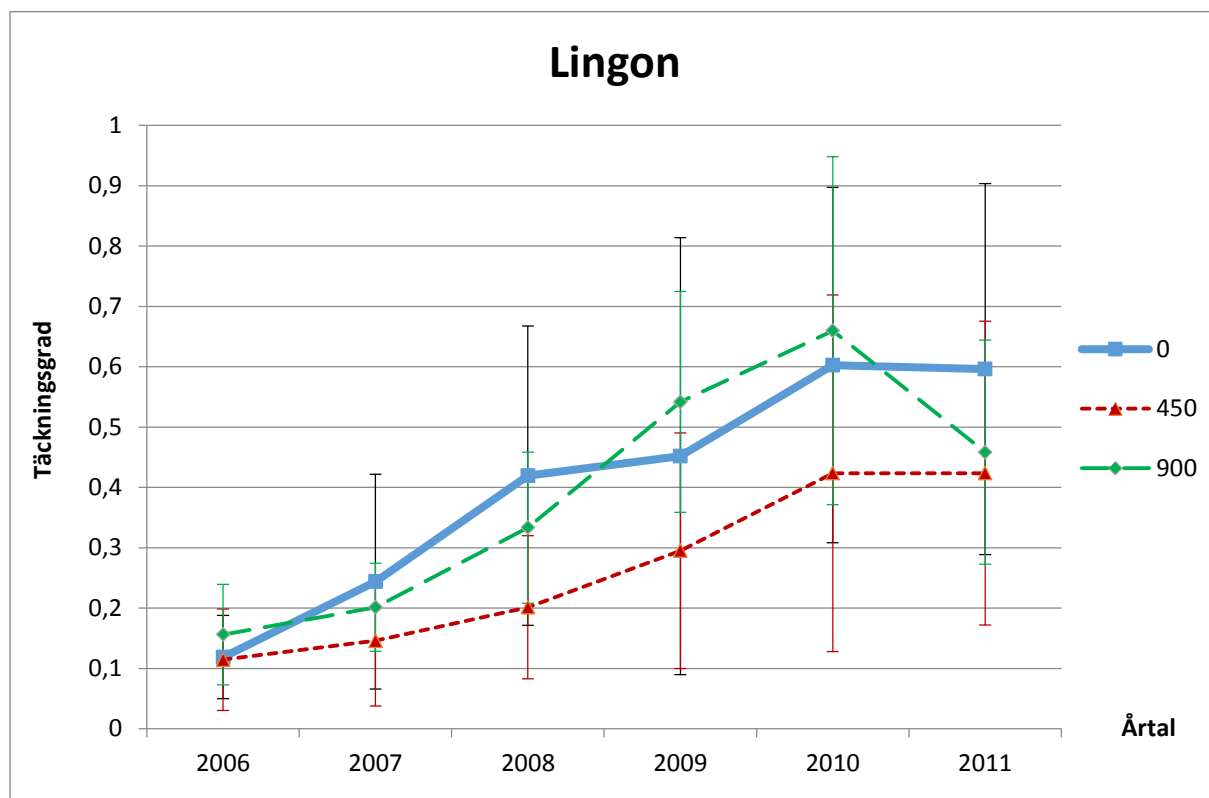
Aritmetiska medelvärden beräknades för de årliga täckningsgraderna, vilket gav 18 stycken medelvärden per art. Med dessa medelvärden konstruerades linjediagram som visar hur täckningsgraden för lingon och blåbär utvecklades under de sex åren.

T-tester utfördes i Minitab mellan de årliga täckningsgraderna för lingon och blåbär för att jämföra dess utveckling och för att kunna fastslå att en statistisk skillnad mellan arternas förekomst fanns.

53 aritmetiska medelvärden beräknades sedan fördelat mellan åren, de tre blocken och behandlingarna. I programmet SigmaStat utfördes sedan analyser med tvåvägs Repeated Measures ANOVA (RM-ANOVA) på arternas uppmätta täckningsgrader. Detta för att med statistisk säkerhet kunna anta eller förkasta studiens fyra hypoteser. Gränsen för statistisk signifikans sattes vid $p < 0,05$.

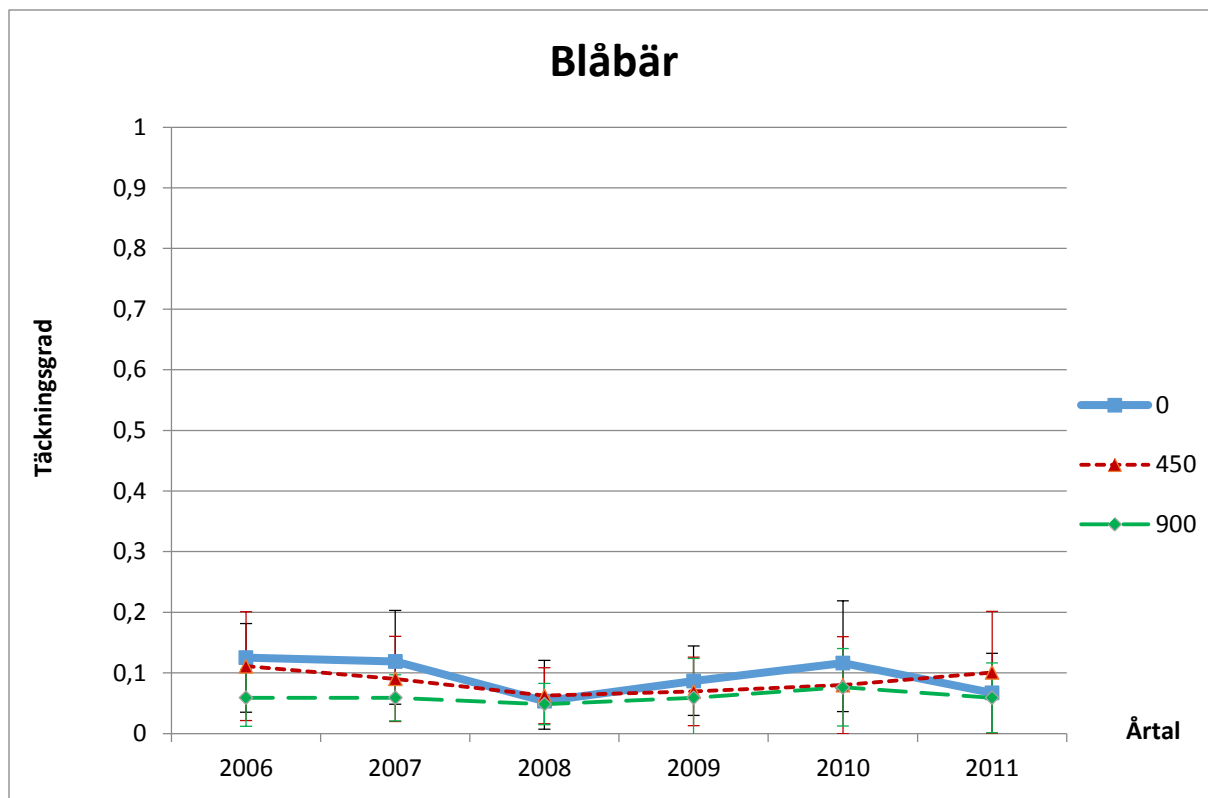
RESULTAT

Aritmetiska medelvärden för arternas årliga täckningsgrader redovisas i linjediagrammen med felstaplar på medelvärdenas medelfel (Figur 4 - 5). I diagrammen kan man se att lingonens täckningsgrad ökar med tiden oavsett behandling. Vad avser blåbärens täckningsgrad kan man inte se någon utveckling med tiden. Diagrammen visar inte på något samband mellan arternas täckningsgrader och kvävegödslingsbehandlingarna.



Figur 4 Diagrammet visar hur arternas täckningsgrad årligen skiljer sig mellan de olika behandlingarna: 0 kg N/ha (0), 450 kg N/ha (450) och 900 kg N/ha (900).

Figure 4 The diagram shows how the species cover annually differ between the treatments: 0 kg N/ha (0), 450 kg N/ha (450) and 900 kg N/ha (900).



Figur 5 Diagrammet visar hur arternas täckningsgrad årligen skiljer sig mellan de olika behandlingarna: 0 kg N/ha (0), 450 kg N/ha (450) och 900 kg N/ha (900).

Figure 5 The diagram shows how the species cover annually differ between the treatments: 0 kg N/ha (0), 450 kg N/ha (450) and 900 kg N/ha (900).

Statistiska analyser

Parade t-tester utfördes på de aritmetiska medelvärdena och säkerställde att täckningsgraden för lingon och blåbär skilje sig åt mellan alla behandlingar varje år. Lingon visade sig vid samtliga mättillfällen ha högre täckningsgrader än blåbär.

Signifikansen i de trender som kunde ses i form av mönster i diagrammen testades i SigmaStat med tvåvägs RM-ANOVA. Efter analyserna kunde inga signifikanta skillnader styrkas mellan markvegetationens utveckling på ogödslade kontrolltytor och de ytor som gödslingsbehandlats (Tabell 2).

Analysen med RM-ANOVA visade på en statistiskt signifikant effekt på täckningsgraden mellan lingon och tid ($p < 0,001$), (Tabell 2). Mellan blåbärens täckningsgrad och tid fanns inget signifikant samband. Inte heller några kombinationseffekter mellan tid och behandling på markvegetations täckningsgrad kunde statistiskt säkerställas för någon av arterna (Tabell 2).

Tabell 2 Sammanställning av resultaten från tvåvägs- RM-ANOVA-analyser. NS = inte significant.
Table 2 Compilation of the results from two-way RM-ANOVA analyzes. NS = not significant.

| Art | p (Tid) | p (Kvävebehandling) | p (Kombination) |
|--------|---------|---------------------|-----------------|
| Lingon | <0.001 | NS | NS |
| Blåbär | NS | NS | NS |

DISKUSSION

Resultaten

Det tydliga sambandet mellan tillväxten för lingon och tid säkerställdes ($p < 0,001$, Tabell 2) och följer det som tidigare studier visat, att den art som dominerar markvegetationen kommer att öka sin dominans efter avverkning (Högbom m.fl. 2002). Detta styrker *hypotes 1*; att avverkningseffektens ökade ljus- och kvävetillgång skulle öka täckningsgraden för lingon som redan var dominerande. Anledningen till att täckningsgraden för blåbär inte ökade såsom täckningsgraden för lingon gjorde kan bero på att den påverkades negativt av hyggeseffekten. Blåbär tål troligtvis inte hyggeseffekten och den mekaniska skada som uppkommer av själva avverkningen lika bra som lingon. Detta kan inte säkerställas i vår studie men har visats i en tidigare studie utförd i Finland på 63:e breddgraden (Palviainen m.fl. 2005). I denna studie visade man även att efter avverkning återhämtade sig blåbär och lingon till sin ursprungsbiomassa inom tre till fyra år. Det ska dock påpekas att den Finländska studien utfördes på granmark medan vår studie utfördes på tallmark. Det gör att resultaten inte direkt kan relateras till vår studie.

Inget samband mellan markvegetationens utbredning eller artsammansättning och de olika gödslingsbehandlingarna kan styrkas utifrån våra analyser ($p=NS$, Tabell 2). Detta gör att *hypotes 2* inte kan antas. Däremot har den kraftigaste gödslingsåtgärden i detta experiment på totalt 1800 kg N/ha påverkat markvegetationens utveckling (personlig kommunikation, Lars Högbom). Bland annat har kruståtel fått en mycket mer dominant roll i markvegetationen än vad den har i vår studie. Hade denna extrema behandling tagits upp i vår studie hade troligtvis ett samband kunnat styrkas mellan försökets gödslingsbehandlingar och markvegetationens utveckling. Detta antyder att det krävs en ackumulerad mängd på mellan 900 kg N/ha och 1800 kg N/ha för att markvegetationens utveckling och sammansättning på en medelgod tallmark ska påverkas. Tidigare forskning styrker detta antagande då de visat att extrema gödslingsbehandlingar, som till exempel 1800 kg N/ha, kan ha tydliga effekter på markvegetationens utveckling (Jacobson m.fl. 2005).

Vi kunde inte heller se samverkans effekter (kombinationseffekt) mellan avverkning och gödning som vi i *hypotes 3* förväntade oss ($p=NS$, Tabell 2). Vi kunde inte statistiskt säkerställa att markvegetationens etableringshastighet efter avverkning accelererades på de gödslade ytorna, jämfört med de ogödslade. Detta tror vi berodde på att gödslingsbehandlingarna inte hade en signifikant påverkan på markvegetationen och en eventuell samverkans effekt med tiden kunde därmed inte säkerställas.

Att täckningsgraden för lingon ökade med tiden är både tydligt i Figur 4 och säkerställt med statistiska analyser ($p < 0,001$, Tabell 2). Något samband mellan täckningsgrad för blåbär och tiden kunde inte statistiskt säkerställas (Tabell 2). Möjliga orsaker kan vara att konkurrensen mellan lingon och blåbär tilltar då täckningsgraden för lingon ökar, eller att arten blåbär inte klarar av det nya mikroklimatet på kalhygget. Ser man till arternas sammanlagda täckningsgrad sker ändå en ökning. Vi tror oss därför kunna anta *hypotes 4* om att täckningsgraden för markvegetationens arter har ett positivt samband med tiden. När den nya skogsgenerationen sluter sig och ljusförhållandena försämras kommer blåbär troligtvis att öka sin täckningsgrad. Man har i tidigare försök visat att förekomsten av blåbär ökar med skogens ålder (Högbom m.fl. 2002).

Sambandet med tiden är väntat efter ett så stort ingrepp som en kalavverkning innebär. Det blir helt förändrade mikroklimat- och tillväxtförhållanden efter avverkningen och markvegetationen behöver tid på sig att anpassa sig till de nya förhållandena. Med tanke på att den nya trädgeneration som etablerades tillväxer och ökar sin konkurrensförmåga med tiden väntas även markvegetationen förändras.

Varför kunde vi då inte visa att de olika kvävegödslingarna hade den förväntade effekten på markvegetationen, så som förändrad artsammansättning? En anledning skulle kunna vara att lokalen i Hagfors var kvävefattig innan gödslingarna påbörjades vilket antydde av trädens tillväxtökning efter gödsling (Jacobson m.fl. 2010). Drygt 25 % av det gödslingstillförda kvävet togs upp av vegetationen. Den resterande mängd kväve som tillsattes tros ha fixerats i markens organiska material eller mineraljord (Ring m.fl. 2011). I en kvävefattig miljö tar markmikroorganismer upp och immobiliserar ett tillskott av kväve till sin egen biomassa mycket effektivt. Detta gör att kvävet som tillförs binds upp i marken. I kombination med avverkningens helträdsuttag uteblev därför den annars vanliga effekten, att näringstillgången ökar efter en avverkning. Detta har även andra studier från detta experiment visat (Högbom m.fl. 2013). I den delstudien kom man fram till att en av anledningarna till att kvävetillgången inte ökade till den nivå man väntat sig efter avverkningen berodde på att även GROT tagits ut i samband med avverkning. En mark med initialt lågt kväveinnehåll som i fallet Hagfors och avverkningens helträdsuttag skulle alltså kunna dämpa gödslingsbehandlingarnas effekter på vegetationen efter avverkning.

Försöket utfördes på mellansvensk boreal tallmark och att eventuella effekter på markvegetationen av kvävegödsling uteblev kan bero på att det boreala ekosystemets markvegetation är relativt resistent mot förändrad kvävetillgång. Detta har konstaterats vid tidigare studier (Strengbom m.fl. 2001; Olsson m.fl. 2006). Dessa studier har dock visat på att om effekter uppstår i markvegetationen blir de långvariga (20-30 år). Detta tolkas som låg resiliens eller ett hos ekosystemet låg förmåga att återhämta sig till ursprungsläget. Tiden som gått mellan att försökets gödslingsbehandlingar avslutades och att vegetationsdata samlades in till vår studie (9 år för 450 kg N/ha och 5 år för 900 kg N/ha) förmodas därför inte ha en stor inverkan på resultatet.

Tidigare studier (Högbom m.fl. 2002) har även förklarat den här avsaknaden av kvävegödslingeffekter efter avverkningar med att effekterna är små och att de eventuellt överskuggas av de dramatiska hyggeseffekterna på markvegetationen. Detta gör det problematiskt att studera gödslingeffekter just i samband med avverkning. I vår studie tolkar vi tidens inverkan som en kraftig hyggeseffekt som överskuggar eventuella gödslingeffekter.

Analyserna

I det ursprungliga data-materialet ingick sex arters täckningsgrader; lingon, blåbär, ljung, kruståtel, korsört och hallon. I analyserna behandlades endast två av arterna på grund av flera orsaker. Först och främst berodde det på den stora förekomsten av nollvärden i datamaterialet som är mycket vanligt i vegetationssammansättnings- och utbredningsstudier. För analysens skull var kolumner och rader som innehöll för många nollvärden tvungna att uteslutas eftersom de inte innehöll någon information eller för lite information. Detta ledde till att hallon och korsört togs bort. För kruståtel och ljung fanns data, men det var alldeles för få värden för att kunna bidra till tillförlitliga analyser. Normalfördelningstestet visade att det endast var lingon och blåbär som var normalfördelade. Att mycket av våra data inte var normalfördelat, vilket är vanligt inom vegetations- och andra miljöstudier (Greig-Smith

1983), begränsade analyserna ytterligare eftersom de flesta variansanalysmetoderna kräver normalfördelning.

Själva försöksdesignen och inventeringsmetoden med årligt återkommande mätningar på samma provtytor gjorde att ANOVA-analyser inte kunde användas på ett statistiskt säkert sätt. För att studera variationen i täckningsgrader över tid/kvävebehandling och utan att inkludera provtyornas inbördes variation utfördes därför analyserna med RM-ANOVA (personlig kommunikation, Anders Muszta).

Resultat och praktisk tillämpning

Om man jämför den årliga medeltillförseln av kväve som behandlingarna innebar, med den årliga medeldepositionen av kväve som råder på lokalen så är behandlingarnas tillförsel många gånger större. Depositionen i området ligger i genomsnitt på 6-9 kg N/ha, år och försökets kvävetillförsel var 19,5 och 39 kg N/ha, år. Man kan även jämföra försökets intervall av gödselgivorna med de i Skogsvårdslagens allmänna råd (Kvävegödsling 2013). De säger att vid rekommenderade skogsgödslingsstyrkor bör givorna vara skilda åt med 10 års-intervall, men i försöket skedde det med intervall på åtta eller fyra år. Alltså har gödslingsbehandlingarna under försöket varit betydligt mer frekventa än vad som rekommenderas inom skogsbruket. Dagens skogsgödsling tillsammans med den atmosfäriska kvävedepositionen bör alltså inte direkt jämföras med försök som detta. Man kan dock anta att skogsgödsling och kvävedeposition inte har någon nämnvärd effekt på markvegetationen på en medelgod skogsmark som den i vår studie. Enligt en tidigare studie så kan lågintensiv men långvarig kvävetillförsel, så som deposition, ha en effekt på markvegetationen i både tall- och granskogar (Strengbom m.fl. 2001). I vår relativt kortvariga studie observerades därför inte denna effekt. Eftersom kraven på skogsproduktionen ökar kan man dock tänka sig att framtida skogsgödsling blir mer intensiv och då är resultat från extrema försök mer applicerbara.

Försöksdesignen

Vi anser att försökets ursprungliga experimentella design var en bidragande orsak till att de data vi erhöll var svåra att statistiskt bearbeta. De små provtytorna och låga antalet pinnar per provyta gjorde att sällsynta eller tuvbildande växter kunde få extremt stora utslag på resultaten, eller till och med utebli. En art skulle kunnat registreras slumpmässigt av en provyta och där få väldigt stort antal träffar eller uppskattad täckning. Detta skulle kunna vara en förklaring till att mätningarna innehöll extremt många nollytor utan någon täckning alls, samtidigt som på enstaka provtytor uppmättes väldigt höga träffantal. Dessa extrema avvikelser (eller out-liers) försvårar den statistiska bearbetningen och de kan få ett starkt genomslag på medelvärden, vilket i sin tur påverkar utfallet av analyserna. Analyserna kan då felaktigt peka på till synes tydliga mönster mellan artens höga täckningsgrad och den gödslingsbehandling som den enskilda provytan tilldelats. För att åtgärda detta problem hade man kunnat använda sig av större provtytor, mindre diameter på pinnarna och fler pinnar per provyta. Pinnarnas diameter spelar roll eftersom en träff inte sker vid en specifik punkt, utan inom pinnens tvärsnittsarea. Att använda pinnar med mindre diameter skulle minska risken att flera träffar per individ registreras med ett stick. Vilken effekt pinn diametern har på mätningen beror dock till stor del på växtens morfologi (Greig-Smith 1983). Att ha större provtytor gör att enstaka fläckar med extremt höga och avvikande täckningsgrader får ett mindre utslag på resultatet då det jämnas ut på en större areal. En större areal på provtytorna

leder också till att sannolikheten för att få med en art ökar vilket ger färre nollytor och mer analyserbart data.

Slutsats

Inget samband mellan kvävegödsling och utvecklingen av markvegetationens täckningsgrad observerades med de parametriska statistiska metoder som användes. Däremot säkerställdes en tydlig effekt av tiden på markvegetationens utveckling både på de ytor som gödslingsbehandlats och de obehandlade kontrollytorna. Vår tolkning av detta är att hyggeseffekten överskuggade eventuella gödslings effekter. Vi kan därför utifrån denna studie inte säga att kvävegödsling inte påverkar markvegetationen.

Med dagens rekommendationer kring kvävegödsling på skogsmark tillsammans med den atmosfäriska kvävedepositionen så förväntar vi oss inte se märkbara effekter på markvegetationens utveckling efter en avverkning, vid jämförelse med den kraftiga hyggeseffekten.

Vi studerade en ståndortstyp och fler studier behöver utföras för att pröva generaliteten i våra observationer. Fler studier på olika bördiga ståndorter, från fattiga till rika eftersom bördigheten, enligt litteraturen, har en stor inverkan på artsammansättningen och effekten av gödslingsåtgärder. Även de kortsiktiga kvävegödslingseffekterna som vi studerat, samt mer långsiktiga effekter över hela generationscykler behöver studeras ytterligare för att öka förståelsen för kvävegödslingens effekter på markvegetationen.

REFERENSER

- Gilliam, F. S. (2007). The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *Bioscience* 57:845–858
- Greig-Smith, P. (1983). *Quantitative plant ecology*. University of California Press, Berkeley, CA. tredje utgåvan. s. 45-46
- Hedwall, P. O., Nordin, A., Strengbom, J., Brunet, J. & Olsson, B. (2013). Does background nitrogen deposition affect the response of boreal vegetation to fertilization?. *Oecologia* 173: 615–624
- Hedwall, P. O., Brunet, J., Nordin, A. & Bergh, J. (2013). Changes in the abundance of keystone forest floor species in response to changes of forest structure. *Journal of Vegetation Science* 24: 296–306
- Högberg, P., Larsson, S., Lundmark, T., Moen, J., Nilsson, U. & Nordin, A. (2014). Effekter av kvävegödning på skogsmark. Kunskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen. Skogsstyrelsen, Jönköping. Rapport 1857
- Högbom, L. & Jacobson, S. (2002). Kväve 2002- en konsekvensbeskrivning av skogsgödning i Sverige. Skogforsk, redogörelse nr 6
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. (2005). Skogsgödning - en handledning från Skogforsk. Skogforsk
- Jacobson, S. & Pettersson, F. (2010). An assessment of different fertilization regimes in three boreal coniferous stands. *Silva Fennica* 44(5): 815–827.
- Jarvis, P. & Linder S. (2000). Constraints to growth of boreal forests. *Nature* 405: 904-905
- Johansson, K., Ring, E., Högbom, L. (2013). Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* 47(4) 18 s.
- Karlsson, P. G., Hellsten, S., Karlsson, P. E., Akselsson, C. & Farm, M. (2012), Kvävedeposition i Sverige. Jämförelse av depositionsdata från Krondroppsnetet, Luft- och nederbördkemiska nätet samt EMEP. Svenska miljöinstitutet AB, Göteborg. Rapport B2030
- Kvävegödning (2011). Jönköping. (SKSFS 2013:2)
- Lantmäteriet, Sveriges Nationalatlas. Vegetationszoner i Sverige. [Online] Tillgänglig: www.sna.se/webbatlas/kartor/kopia/vegetationszoner_i_sverige.html [2014-03-28]
- Lebauer, D. S. & Tresedor, K. K. (2008). Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecological Society of America* 89(2): 371–379
- Nilsson, M.C. & Wardle, D.A. (2005). Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Front Ecol Environ* 3:421–428
- Nordin, A., Strengbom, J. & Ericson, L. (2005). Responses to ammonium and nitrate additions by boreal plants and their natural enemies. *Environmental Pollution* 141: 167-174

- Nordin, A., Strengbom, J., Forsum, Å. & Ericson, L. (2009), Complex biotic interactions drive long-term vegetation change in a nitrogen enriched boreal forest, *Ecosystems* 12: 1204–1211
- Olsson, B. A. & Kellner, O. (2006). Long-term effects of nitrogen fertilization on ground vegetation in coniferous forests. *Forest Ecology and Management* 237: 458–470
- Palviainen, M., Finér, L., Mannerkoski, H., Piirainen, S. & Starr, M. (2005). Responses of ground vegetation species to clear-cutting in a boreal forest: aboveground biomass and nutrient contents during the first 7 years. *Ecological Research* 20: 652–660
- Peck, J.E. (2010). *Multivariate Analysis for Community Ecologists: Step-by-Step using PC-ORD*. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR. s.36-40
- Persson, B. Figur PR14. Ståhl, P. H. (2009). Produktionshöjande åtgärder. Skogsskötselserien del 16. Skogsstyrelsen . [Online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2014-04-04]
- Riksskogstaxeringen (2014). Statistik om skog från Riksskogstaxeringen. [Online] Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/webbtjanster-miljoanalys/statistik-om-skog/skogsmark/> [2014-04-04]
- Ring, E., Högbom, L. & Jansson, G. (2013). Effects of previous nitrogen fertilization on soil-solution chemistry after final felling and soil scarification at two nitrogen-limited forest sites. *Canadian journal of forest research* 43: 396–404
- Ring, E., Jacobson, S. & Högbom, L. (2011). Long-term effects of nitrogen fertilization on soil chemistry in three Scots pine stands in Sweden. *Canadian journal of forest research* 41: 279–288
- Strengbom, J. & Nordin, A. (2008). Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 256: 2175–2181
- Strengbom, J. & Nordin, A. (2012), Physical disturbance determines effects from nitrogen addition on ground vegetation in boreal coniferous forests. *Journal of Vegetation Science* 23: 361–371
- Strengbom, J., Nordin, A., Näsholm, T. & Ericson, L. (2001). Slow recovery of boreal forest ecosystem following decreased nitrogen input. *Functional Ecology* 15: 451–457
- Ståhl, P. H. & Bergh, J. (2013). Produktionshöjande åtgärder. Skogsskötselserien del 16, Skogsstyrelsen. s.47-59. [Online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2014-03-20]
- Svensson, T., Högbom, L., Johansson, K., Sandén, P. & Ring, E. (2013). Effects of previous nitrogen addition on chlorine in forest soil, soil solution and biomass. *Biogeochemistry* 116: 3-13
- Tamm, C. O. (1991). *Nitrogen in Terrestrial Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 115 s.