



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för ekologi

# Långsiktiga effekter av askåterföring och kvävegödsling på skogsmarkvegetationens sammansättning

Long-term effects of wood ash addition and nitrogen  
fertilization on the composition of the forest ground  
vegetation

*Fredrik Ingelsson*

Biologi och miljövetenskap  
Kandidatarbete 15 hp  
Uppsala 2016

Självständigt arbete/Examensarbete / SLU, Institutionen för ekologi 2016:19

## Långsiktiga effekter av askåterföring och kvävegödsling på skogsmarkvegetationens sammansättning

Long-term effects of wood ash addition and nitrogen fertilization on the composition of the forest ground vegetation

*Fredrik Ingelsson*

**Handledare:** Joachim Strengbom, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi

**Examinator:** Peter Torstensson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i biologi - kandidatarbete

**Kurskod:** EX0689

**Program/utbildning:** Biologi och miljövetenskap

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2016

**Serietitel:** Självständigt arbete/Examensarbete / SLU, Institutionen för ekologi

**Löpnummer:** 2016:19

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** askåterföring, kvävegödsling, markvegetation, långsiktigt

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
**Swedish University of Agricultural Sciences**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för ekologi

## Innehållsförteckning

Abstract .....	4
Inledning.....	5
Metoder.....	7
Experimentell design .....	7
Datainsamling.....	7
Statistiska analyser .....	7
Resultat.....	8
Diskussion.....	11
Slutsats .....	13
Referenser .....	14

## Abstract

Application of wood ash in forests is a method used to return (recycle) nutrients to the forest that is lost after forest harvesting. There are concerns that such application may influence plants and induce changes in species composition of the ground vegetation. Several studies have examined short-term effects of ash application on ground vegetation, but there few long-term studies have been conducted. The published studies examining the effects on ground vegetation show no consistent pattern in the response. Application of ash has been shown increased forest biomass production, but also influence some plants negatively, resulting in reduced cover of such species.

My study is a continuation of a study completed in 2001. In that study, they had six treatments including a control. The various treatments consisted of 3, 6 and 9 tons of ash ha<sup>-1</sup>, 3 tons of ash + 150 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg N ha<sup>-1</sup> and 3 tons of pelletized ash ha<sup>-1</sup>. Inventory data from the study have been compared with inventory data in this study. Using statistical analyzes, my results address the long-term effects (17 yrs) of wood ash application on composition of forest ground vegetation. This shows whether species have increased or decreased after the application of ashes 17 years ago.

My results show small differences in cover of plants between controls and plots exposed to wood ash application. Several species showed decreased cover as an initial response to wood ash application, but 17 years after application cover of almost all species had recovered from initial effects of the wood ash application. Some species, *Vaccinium myrtillus* and *Hylocomium splendens* even showed a tendency to have higher current cover in the ash treatments than in the controls. The only species that showed significant lower cover in the ash treatments, and showed no sign of recovery was *Cladonia rangiferina*. I suggest that this most likely is generated by changing competitive conditions. Based on how the ground vegetation responded I find no reason to stop or reduce return of wood ashes to the forestland. However, the long-lasting effects on the ground-living lichen *Cladonia rangiferina* imply that return of wood ash to areas utilized for reindeer husbandry (that is dependent on lichens as winter forage) should be avoided. .

## Inledning

Vid skogsavverkning försvinner stamveden och i många fall även grenar och toppar (GROT) från markerna. Med detta försvinner också näringsämnen från skogen och det finns risk för ett underskott av näring vilket kan begränsa föryngring och träd tillväxten i nästkommande skogsgeneration. Stamveden och GROT används som bränsle i kraftvärmeverk där aska blir en restprodukt. I askan finns, förutom kväve, alla näringsämnen kvar (Egnell et al, 1998). Därför anses återföring av aska vara en lösning för att få tillbaka näringsämnen till skogen, samtidigt som det löser värmeverkens problem med att bli av med sina restprodukter. Återförandet av aska kan då ses som ett led i ett kretslopp då näringen kommer tillbaka till skogen där den en gång varit. På kort sikt motverkar aska också försurningen av skogsmarker genom att neutralisera jorden och höja pH-värdet (Meiwes, 1995; Dolling, 1996).

Markvegetationens respons på askåterföring skiljer sig mellan olika studier. Vissa studier har visat på negativa effekter, som lägre täckningsgrad, minskad fertilitet och färgändringar i bladen (Dolling, 1996; Levula et al, 2000; Kellner & Weibull, 1998), medan andra inte har påvisat några effekter alls (Arvidsson et al, 2002). Att applicera aska på odlingsmarker har visat sig fungera som gödselmedel och i en studie fick man märkbart större biomassa av bland annat majs, havre och bönor efter askåterföring (Demeyer et al, 2000). Även större växter som träd, framför allt tall, har visats sig få en ökad stamtillväxt av aska (Moilanen et al, 2001). Andra studier har dock visat motsatt effekt. Bland annat örnbräken (*Pteridium aquilinum*) har visat sig producera kortare och färre skott i askbehandlade ytor (Dolling, 1996). Även täckningsgraden av lingon (*Vaccinium vitis-idaea*) kan påverkas negativt av askåterföring och effekten ökar med ökande mängd aska som tillförts (Levula et al, 2000). Detta visar att askåterföring kan leda till förändringar av artsammansättningen hos markvegetationen vilket väckt frågan om askåterföring kan ha negativa effekter på biodiversiteten.

Vid sidan av den tidigare nämnda effekten på lingon (Levula et al, 2000) har mossor visat sig vara en artgrupp som är känsliga för askåterföring. Både missfärgningar och minskad täckningsgrad av mossor har noterats efter att aska hade tillförts (Jacobson & Gustafsson, 2001). De flesta studier över effekter på markvegetationen har undersökt de kortsiktiga effekterna, det vill säga hur vegetationen påverkas direkt efter eller inom loppet av några år efter det att man tillsatt aska (Jacobson & Gustafsson, 2001; Kellner & Weibull, 1998; Dynesius, 2012). Långtidseffekterna på markvegetationen från askåterföring har studerats i betydligt mindre omfattning och kunskapen om de långsiktiga effekterna är därför begränsad.

För att kunna klargöra om askåterföring är en acceptabel metod för att återföra näringsämnen till skogen och förenlig med uppsatta miljömål kring hållbart skogsbruk och bevarande av biologisk mångfald behövs det mer forskning över de långsiktiga effekterna. Forskningen ska då kunna redogöra för om det finns långsiktiga effekter på markvegetationen och i så fall vilka arter som påverkas mest. Det är inte självklart hur man ska bedöma om effekter av åtgärder som exempelvis askåterföring är förenligt med uppsatta mål om bevarande av skoglig biodiversitet och hållbart skogsbruk, men om negativa effekter som uppstår är relativt kortvariga och inte bestående kan man argumentera för att metoden är förenlig med de uppsatta målen.

Syftet med denna studie är att klargöra om det finns långsiktiga negativa sidoeffekter på markvegetation från askåterföring. För att besvara detta undersöktes markvegetationens sammansättning i ett askåterföringsexperiment där det gått 17 år sedan senaste tillförseln av aska gjordes. I det experiment som användes i min studie ingick även en kvävegödslingsbehandling, och min studie inkluderar därför även vilken effekt kvävegödsling har på markvegetationen.

## Metoder

### Experimentell design

Experimentet varifrån data till denna studie kommer från genomfördes i en 70-årig tallskog i Västmanland med koordinaterna 59° 48' N, 15° 32' E. Experimentet startades 1995 och består av sex olika behandlingar inklusive en kontroll. De olika behandlingarna utgörs av 3 ton aska, 6 ton aska, 9 ton aska, 3 ton aska + 150 kg kväve, 150 kg kväve och 3 ton pelleterad aska. Varje behandling räknas till per hektar. Behandlingarna utfördes i kvadratiska ytor som var 30x30 meter och varje behandling upprepades i tre ytor, även för kontrollen (n=3). Markvegetationen i experimentet har tidigare inventerats tre gånger under perioden 1995 till 2000 (Jacobson & Gustafsson, 2001). För mer detaljer kring experimentet och kring kemisk sammansättning och behandling av askan innan appliceringen se Jacobson & Gustafsson (2001).

### Datainsamling

Data som används i denna undersökning samlades in i mitten av juni 2012, 17 år efter det att experimentet initierades. Markvegetationen inventerades i 12 smårutor (0,5 x 0,5 m) inom varje yta. I varje ruta uppskattades markfloras täckning visuellt i procent. Vid inventeringen uppskattades fältskiktets och bottenskiktets arter för sig.

### Statistiska analyser

Statistiska analyser baseras på medelvärden från varje behandlad yta. Det vill säga först togs värdena, täckningsgraden av varje art, från de 12 små rutorna i varje yta och räknades ihop till ett medelvärde för varje art i hela ytan. Sammanlagt blev det 21 medelvärden av totalt sju olika behandlingar. Värdena från de tre ytorna för samma behandling användes sedan för att räkna ut medelvärde och standardavvikelsen för varje behandling.

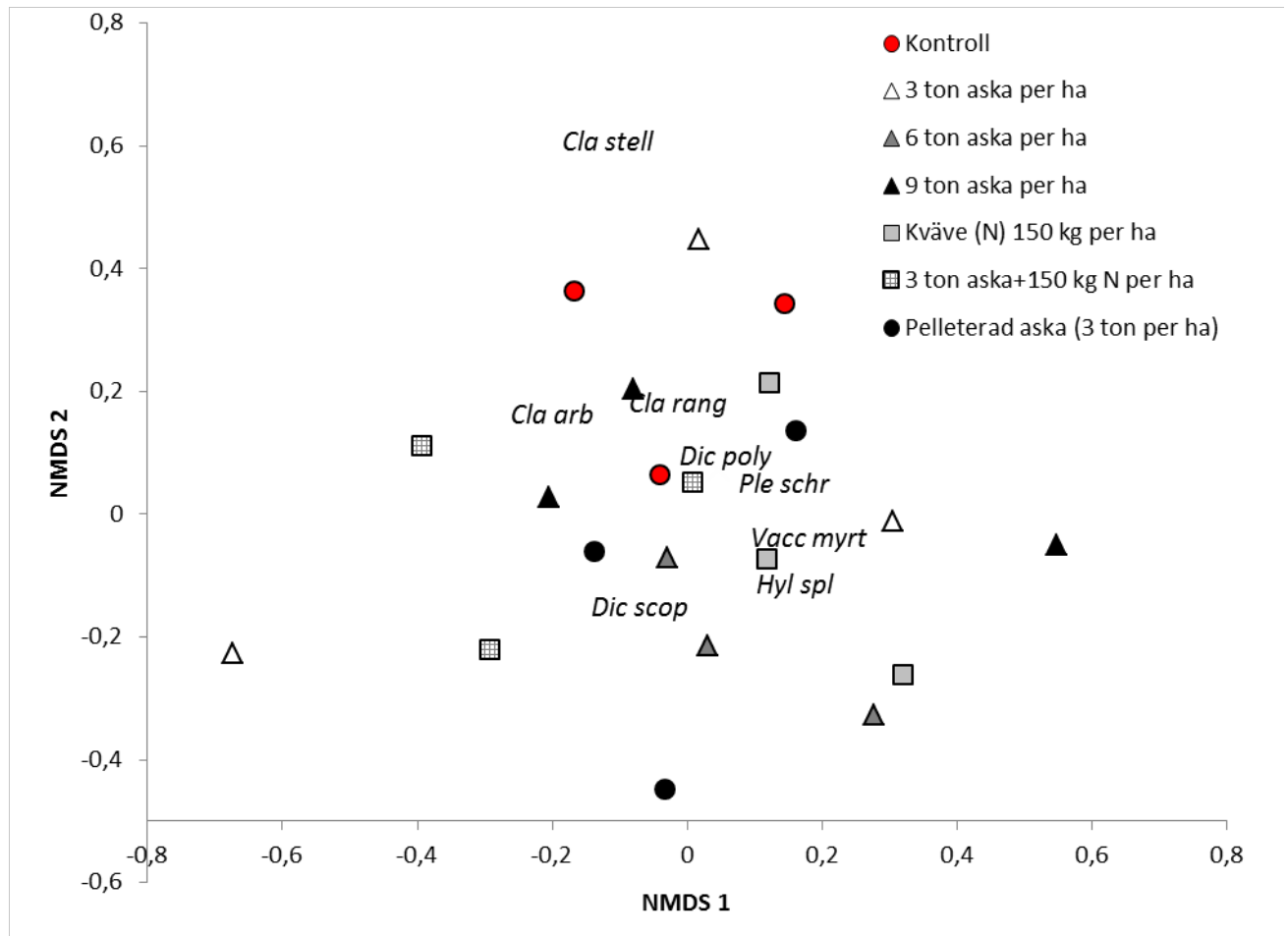
Shannons index (Cain, 2011) räknades för alla kvadrater med hjälp av formeln  $\sum [n_1/N] \cdot \ln[n_1/N]$ . Där  $n_1$  utgör en arts relativa proportion av den totala täckningen N. Det vill säga för varje art multiplicerades dess procentandel med den naturliga logaritmen av samma procentandel. Produkten från varje art summerades sedan ihop med resten av arterna för att få ut Shannons index för respektive markskikt.

För att få en överblick över skillnader och likheter i artsammansättning mellan de olika behandlingarna analyserades data först med hjälp av en NMDS (Non-metric multidimensional scaling) ordination. Analysen gjordes med hjälp av veganpaketet (Oksanen et al 2014) i R 3.1.0 (R Core Team 2014). Data analyserades för tre dimensioner (K=3). Bray-Curtis dissimilarity användes som mått på skillnader mellan provytor. Innan analysen transformerades data med hjälp av en dubbel Wisconsinstransformation.

För analyser av skillnader i artrikedom, Shannons diversitetsindex, jämnhet och täckningsgrad för vanligt förekommande arter användes generalized linear models i R (R Core Team 2013). Shannons diversitetsindex analyserades med antagandet att data var normalfördelat. För analyser av skillnader i artrikedom användes Poissonfördelning och för analyser av skillnader i jämnhet och täckningsgrad användes quasipoissonfördelning. Alla statistiska analyser gjordes i R 3.1.0 (R Core Team 2014).

## Resultat

17 år efter avslutad behandling kan man inte finna några distinkta skillnader i artsammansättning mellan obehandlade ytor och de som behandlats med aska och kväve. NMDS analyser visar att artsammansättning mellan behandlingarna överlappar varandra (Figur 1). Shannon diversitetsindex visar att fördelningen av arter mellan ytorna inte skiljer sig ifrån varandra, varken i fältskikt eller bottenskikt (Tabell 1).



**Figur 1.** Förhållandet i artsammansättningen mellan de olika behandlingarna och förhållandet mellan vissa arter *Cladonia stellaris* (fönsterlav) *Cla stell*, *C. rangiferina* (grå renlav) *Cla rang*, *C. arbuscula* (gulvit renlav) *Cla arb*, *Dicranum polysetum* (vågig kvastmossa) *Dic poly*, *D. scoparium* (kvastmossa) *Dic scop*, *Pleurozium schreberi* (väggmossa) *Ple schr*, *Hylocomium splendens* (husmossa) *Hyl spl* och *Vaccinium myrtillus* (blåbär) *Vacc myrt*.

Behandlingarna gav inte heller upphov till några skillnader i artrikedom, uttryckt som totalt antal arter, i vare sig fält- eller bottenskikt (Tabell 1).

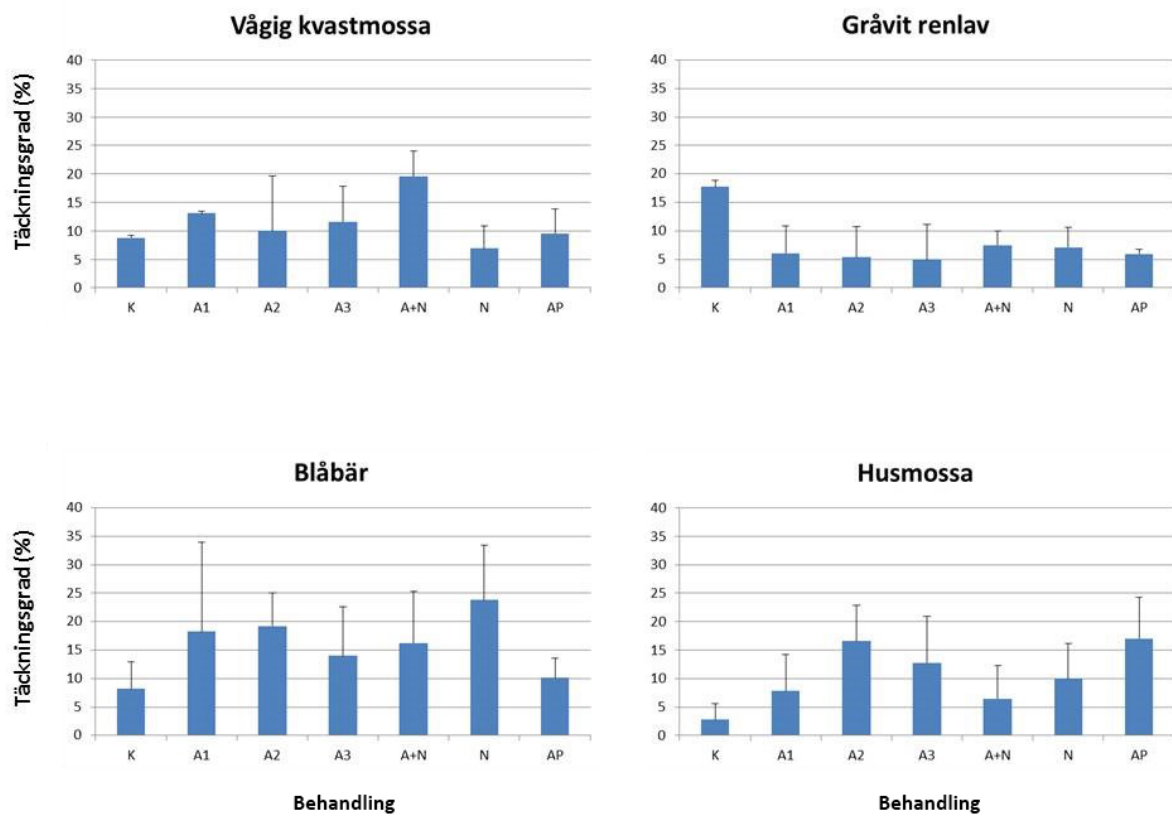
Vidare orsakade inte heller behandlingarna några skillnader i täckningsgrad för de flesta enskilda arterna (Tabell 1). Även om täckningsgraden för vissa arter i medeltal var högre i vissa behandlingar (Figur 2), så var dessa skillnader med ett undantag inte statistisk säkerställda (Tabell 1). För gråvit renlav var täckningsgraden i medeltal en tredjedel lägre i de behandlade ytorna jämfört med obehandlade kontrollerna (Figur 2), vilket gav upphov till en statistisk säkerställd skillnad (p-nivå med 0,05)



**Tabell 1.** z-värde, t-värde och p-värde över artantal, Shannon diversitetsindex, jämnheten och specifika arter från den statistiska analysen. I tabellen visas z-värdet, t-värdet och p-värdet över olika testvariabler från den statistiska analysen.

Testvariabel	Värde		
	z	t	p
Totalt antal arter	0,01	-	0,992
Artantal fältskikt	0,522	-	0,602
Artantal bottenskikt	-0,375	-	0,707
Shannon diversitetsindex, fältskikt	-	-0,297	0,77
Shannon diversitetsindex, bottenskikt	-	-0,525	0,605
Jämnhet fältskikt	-	-1,59	0,12825
Jämnhet bottenskikt	-	-0,196	0,847
Blåbär	-	0,626	0,539
Husmossa	-	1,828	0,0834
Vågig kvastmossa	-	-0,144	0,887
Gråvit renlav	-	-2,504	0,0216

För husmossa (*Hylocomium splendens*) var täckningsgraden i medeltal lite mer än 4 gånger högre i de behandlade ytorna än i de obehandlade kontrollerna (Figur 2). Trots detta blev skillnaden inte statistiskt säkerställt eftersom att variationen mellan ytorna var stor (Tabell 1). För vågig kvastmossa (*Dicranum polysetum*) var täckningsgraden i medeltal 1,3 gånger högre i de behandlade ytorna än i de obehandlade kontrollerna (Figur 2), men den skillnaden är inte statistisk säkerställd (Tabell 1). För blåbär (*Vaccinium myrtillus*) var täckningsgraden i medeltal dubbelt så hög i de behandlade ytorna än i de obehandlade kontrollerna (Figur 2), men som för de ovan nämnda mossorna var variationen mellan ytorna stor och skillnaden inte statistiskt säkerställd (Tabell 1).



**Figur 2.** Täckningsgrad i procent från respektive behandling på fyra utvalda arter. Data i figuren är medelvärde och standardavvikelse (n=3). K=kontroll, A1=3 ton aska, A2=6 ton aska, A3=9 ton aska, A+N=3 ton aska och 150 kg kväve, N=150 kg kväve och AP=3 ton pelleterad aska

## Diskussion

Resultaten i denna studie visar att de långsiktiga effekterna på markvegetationen av askåterföring och kvävegödsling är små. I samma experiment som min studie baseras på har man tidigare visat att vissa arter påverkas negativt av askåterföring upp till fem år efter behandlingen (Jacobson & Gustafsson, 2001). Kort tid efter behandling med aska noterades skador på flera marklevande mossor, främst väggmossa, vågig kvastmossa och husmossa. De initiala effekterna av askåterföring kvarstod upp till fem år för vissa arter, bland annat för blåbär, vågig kvastmossa och många lavar hade lägre täckningsgrad i askbehandlade ytor än i kontrolltytor (Jacobson & Gustafsson, 2001). Mina resultat visar på små skillnader mellan obehandlade kontrolltytor och de ytor som behandlats med aska 17 år tidigare vilket tyder på att vegetationen återhämtat sig från de tidigare noterade effekterna. För blåbär och husmossa finns det till och med en tendens till högre täckningsgrad i de behandlade ytorna jämfört med kontrollen.

Av alla testade arter var det bara den gråvita renlaven som hade signifikant lägre täckningsgrad i behandlade ytor jämfört med kontrollen. Inga andra arter visar på en signifikant skillnad i täckningsgraden av behandlingarna. Fem år efter behandlingen noterades det att gråvit renlav hade påverkas negativt av askåterföring (Jacobson & Gustafsson, 2001), och fortfarande 17 år efter behandlingen har den alltså ännu inte återhämtat sig. Den tidigare studien visar att gråvita renlaven initialt inte påverkas av askåterföring utan täckningsgraden håller sig stabil de första två åren efter behandling med aska (Jacobson & Gustafsson, 2001). Det var något även Kellner & Weibull (1998) visade då gråvit renlav knappt visade någon negativ respons under de första 15 månaderna efter behandling. I Jacobson & Gustafsson (2001) var det inte först efter fem år som gråvit renlav minskade med 20-40 % från den ursprungliga täckningsgraden. I denna studie har gråvita renlaven ca en tredjedel lägre täckningsgrad i alla behandlingar jämfört med kontrollen. Eftersom gråvit renlav inte minskade direkt efter behandlingsstarten, kan man misstänka att den negativa effekten som tidigare noterats inte orsakas av en direkt förgiftningseffekt, utan har någon annan orsak. Möjligen kan nedgången av renlav bero på ökad konkurrens från kärlväxter, vilket tidigare visat sig vara fallet efter kvävegödsling (Cornelissen et al, 2001). Det vill säga att om vissa arter minskar kan en annan art växa sig starkare och påverka en annan art negativt. Med tanke på mina resultat och de av Jacobson & Gustafsson (2001), så var studietiden i (Kellner & Weibull, 1998) sannolikt för kort för att kunna se några effekter av förändrade konkurrensförhållanden, vilket kan förklara varför man inte noterade några negativa effekter för gråvit renlav. I mina data finns en tendens till ökad täckningsgrad för blåbär i de behandlade ytorna, vilket kan innebära ökad konkurrens om ljus för bottenskiarters. Eftersom grå renlav tvärt emot responsen för mossorna inte visar några tecken på återhämtning tyder mina resultat på att effekterna på renlav är betydligt mer långlivade än för andra arter.

Kvastmossa, kammossa (*Ptilium crista-castrensis*) och husmossa är tre arter som påverkas negativt av askåterföring (Kellner & Weibull 1998; Jacobson & Gustafsson 2001; Ozolinčius et al, 2007). De uppvisar ofta skador som förändrad färg och minskad skottäthet efter behandling med lös och krossad aska, vilket har tolkats som att de drabbas av en direkt förgiftningseffekt (Kellner & Weibull, 1998). Men trots direkta skador på skotten, så återhämtade de sig i princip helt femton månader efter behandlingen (Kellner & Weibull, 1998). Mina resultat, att askåterföring inte orsakar några långlivade effekter på dessa marklevande mossor stödjer alltså tidigare resultat att effekterna av askåterföring kan ses som övergående.

Mina resultat visar inga skillnader beroende på i vilken form aska tillsätts. Detta kontrasterar tidigare rapporterade korttidseffekter. Dynesius (2012) noterade till exempel minskad täckningsgrad (upp till 50 % för vissa arter) för 19 av 28 undersökta mossarter när krossad aska använts, medan tillförsel av pelleterad aska gav signifikant mindre skador. Resultaten från (Jacobson & Gustafsson, 2001) visar samma tendens. Även om påverkan på mossor i ett kortare tidsperspektiv är mindre om man använder pelleterad aska verkar formen på den tillförda asken i ett längre tidsperspektiv inte ge upphov till några skillnader i påverkan på mossor. När det gäller täckningsgraden av gråvit renlav verkar det dock inte spela någon roll om askan är pelleterad eller krossad när den tillsätts.

Blåbär är en art som hushåller med kväve och kan antas missgynnas när kvävetillgången ökar och arten har rapporterats att minska efter kvävegödsling (Olsson & Kellner, 2006; Strengbom & Nordin, 2008). Mina resultat kontrasterar, då de visar att det inte finns någon effekt på blåbärsrisets täckningsgrad från kvävegödsling. Mina resultat överensstämmer dock med resultaten från Jacobson & Gustafsson (2001) som inte heller kunde konstatera någon effekt av kvävegödsling på blåbärsrisets täckningsgrad. Även om det inte var statistiskt signifikant går det inte att bortse ifrån skillnaden i täckningsgrad mellan kontroll och behandlingarna som syns i figur 2. Skillnaden i resultat kan bero på att responsen hos blåbär skiljer sig beroende på markens underliggande produktivitet, vilket också till viss del stöds av Olsson & Kellner (2006) som rapporterar mindre eller inga effekter på blåbär på magrare marker men större effekter på rikare och mer produktiva marker. Min studie baseras på data från en tallmark som är mindre produktiv än de skogsbestånd som inkluderades i studier som visat på negativa effekter på blåbär (t ex Strengbom & Nordin, 2008)

Som för askåterföring är effekter av kvävetillförsel ofta större och mer påtagliga för mossor än för kärlväxter (Skrindo & Økland, 2002; Kellner & Mårshagen, 1990). I studien av Skrindo & Økland (2002) visade det sig att till och med halter ner mot 30 kg N ha<sup>-1</sup> påverkade mossor. I min studie kunde jag 17 år efter gödsling inte hitta några skillnader i täckningsgrad för mossor mellan kvävegödslade ytor och obehandlade kontrolltytor, vilket indikerar att långtidseffekterna av kvävegödsling inte är så stora. Det kan dock inte uteslutas att effekter av tidigare kvävegödsling uppstår efter det att beståndet avverkas. Den störning som slutavverkning innebär kan förstärka effekten av tidigare gödsling. Sådana effekter har visats både för markvegetationen artsammansättning (Strengbom & Nordin, 2012) och för trädutväxt (From et al., 2015)

## Slutsats

Mina resultat visar att de långsiktiga effekterna på markvegetation av askåterföring och kvävegödsling är små. De tidiga effekter som uppstår försvinner och vegetationen verkar återhämta sig efter 17 år. Baserat på hur markvegetationen reagerar så finner jag inga skäl till varför man inte kan återföra aska till skogsmark. Dock ska det påpekas att täckningsgraden av gråvit renlav minskar och man bör därför överväga lämpligheten i askåterföring på marker som utnyttjas för renbete. På grund av detekteringsproblem är det svårt för mig att dra några slutsatser om hur effekten har varit på de lite mer ovanligare arterna. Det kan finnas arter som har drabbats negativt av behandlingarna som inte har uppmärksamats i min studie. Det ska även sägas att i den statistiska analysen testades bland annat bara de arter som fanns i alla kvadrater. Till exempel testades inte franslevermossa eftersom den bara fanns i kontrollen. Data över den arten finns inte registrerad i den tidigare undersökningen (Jacobson och Gustafsson 2001). Det skulle kunna tänkas att franslevermossa fanns i någon av de behandlade kvadraterna innan behandlingarna och sedan blivit påverkad negativt och försvunnit.

## Referenser

- Arvidsson, H., Vestin, T., Lundkvist, H. (2002). Effects of crushed wood ash application on ground vegetation in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 161, 75-87.
- Cain, M.L., Bowman, W.D., Hacker, S.D. (2011). *Ecology*. 2. Uppl. Sunderland: Sinauer Associates, Inc
- Cornelissen, J. H. C., Callaghan, T.V., Alatalo, J. M., Michelsen, A., Graglia, E., Hartley, A. E., Hik, D. S., Hobbie, S. E., Press, M. C., Robinson, C. H., Henry, G. H. R., Shaver, G. R., Phoenix, G. K., Gwynn Jones, D., Jonasson, S., Chapin III, F. S., Molau, U., Neill, C., Lee, J. A., Melillo, J. M., Sveinbjörnsson, B., Aerts, R. (2001) Global change and arctic ecosystems: is lichen decline a function of increases in vascular plant biomass? *Journal of Ecology* 89, 984-994.
- Demeyer, A., Voundi Nkana, J. C., Verloo, M. G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology* 77, 287-295.
- Dolling, A. (1996). Changes in *Pteridium aquilinum* growth and phytotoxicity following treatments with lime, sulphuric acid, wood ash, glyphosate and ammonium nitrate. *Weed Research* Vol: 36, 293-301
- Dynesius, M. (2012). Responses of bryophytes to wood-ash recycling are related to their phylogeny and pH ecology. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14, 21-31.
- Egnell, G., Nohrstedt, H-Ö., Weslien, J., Westling, O., Örlander, G. (1998). Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. *Skogstyrelsen* 310
- From, F., Strengbom, J., Nordin, A. (2015). Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests* 6, 1145-1156.
- Hedvall, R., Erlandsson, B., Mattson, S. (1996). Cs-137 in fuels and ash products from biofuel power plants in Sweden. *Journal of environmental radioactivity*. Vol. 31 No. 1, 103-117
- Högbom, L. & Jacobson, S. (2002). Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling i Sverige. *SkogForsk Redogörelse* nr 6.
- Jacobson, S., Gustafsson, L. (2001) Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic and Applied Ecology* 2: 233-241
- Kellner, O., Mårshagen, M. (1990). Effects of irrigation and fertilization on ground vegetation in a 130-year-old stand of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 21, 733-738.
- Levula, T., Saarsalmi, A., Rantavaara, A. (2000). Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and <sup>137</sup>Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). *Forest Ecology and Management* 126, 269-279.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hokkanen, T. J. (2001). Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management* 171, 321-338.
- Meiwes, K. J. (1995). Application of lime and wood ash to decrease acidification of forest soils. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol 85. Issue 1, 143-152

Narodoslawsky, M., Obernberger, I. (1996). From waste to raw material – the route from biomass to wood ash for cadmium and other heavy metals. *Journal of Hazardous Materials* 50, 157-168.

Oksanen J, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O’Hara B et al. (2014) *Vegan: community ecology package*. R package version 2.0-5. Available at <http://vegan.r-forge.r-project.org/>.

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.

Ozolinčius, R., Buožytė, R., Varnagirytė-Kabašinskienė, I. (2007). Wood ash and nitrogen influence on ground vegetation cover and chemical composition. *Biomass and Bioenergy* 31, 710-716.

Skrindo, A. & Økland, R. H. (2002). Effects of fertilization on understorey vegetation in a Norwegian *Pinus sylvestris* forest. *Applied Vegetation Science* 5, 167-172.

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. (2008). Gödsling orsakar långvariga förändringar av skogsmarksvegetationen. Fakta Skog 7, Sveriges Lantbruksuniversitet.

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.