

ARBETSRAPPORT

A:33

Asktillförsel på skoglig fastmark och dess påverkan på trädens tillväxt

Staffan Jacobson

**Asktillförsel på skoglig fastmark och dess påverkan
på trädens tillväxt**

**Addition of wood ash to Swedish coniferous stands
on mineral soils – effects on stem growth**

Staffan Jacobson

Q9-731

Abstract

Increasing use of forest fuels for energy production is generating increasing quantities of wood ash. A common understanding is that this ash should be spread in forests to counteract soil acidification, but also avoid potential future nutrient deficiencies.

A series of eleven field experiments was established in Sweden in 1990-2006 to study the effects on tree growth Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands on mineral soil after additions of wood ash of different origins and in different doses as well as combinations of both wood ash and nitrogen. The experiments were, with one exception, established as randomised block experiments with three to six replicates, and distributed among sites with a wide range of climatic conditions and site fertility classes

All growth measurements were performed in a circular area at the centre of each plot, with a radius of 10 m. At the time of establishment, all trees with a diameter >5 cm at breast height (1.3 m above ground) were permanently numbered and measured. The measurements included diameter at breast height, determined by cross-callipering at permanent marks on the stem, and height of the trees. At the end of the study period (5–15 years), the measurements were repeated. In addition, in six of the studied experimental sites, increment cores were taken with a borer at breast height. The annual growth ring widths were measured under a microscope with an accuracy of ± 0.01 mm.

The results showed that the most pronounced growth responses occurred when N was added, either alone or in combination with wood ash. The stem growth responses to additions of wood ash without N were small and variable, and not statistically significant at any of the studied experimental sites. However, there were indications that the addition of wood ash may increase stem-wood growth on fertile sites and decrease it on less fertile sites. Hence, on fertile sites, there is a possibility that an addition of wood ash may, at least temporarily, compensate for the growth reductions that normally follow whole-tree harvest, presumably due to its effects on soil N turnover. On less fertile sites, addition of N is most probably a prerequisite to counteract the reductions in growth. In order to be able to draw more accurate conclusions regarding possible effects on tree growth on varying site types after wood ash additions, the amounts of empirical data, as well as the length of the observation periods, need to be extended.

Detailed results from the individual experiments will be published in a peer-reviewed journal.

Sammanfattning

Biobränslen från skogen är redan idag en viktig del av den svenska energiförsörjningen. Ett ökat uttag av biomassa innebär också ett ökat uttag av näringsämnen från skogen jämfört med ett uttag av endast stamved. För att kompensera för det ökade näringsuttaget är rekommendationen att vedaska bör återföras till skogsmarken för att motverka biomassauttagets försurande effekter men även att motverka en långsiktig utarmning av markens näringsförråd.

En serie om elva försök anlades under perioden 1990-2006 i svenska tall- och granbestånd på fastmark i syfte att studera effekter på trädens tillväxt efter tillförsel av olika typer och doser av vedaska samt kombinationer av vedaska och kväve. Försöken är anlagda som parcellförsök med upprepningar i randomiserade block och är geografiskt spridda över Sverige. Före behandling korsklavades och höjdmättes samtliga träd inom en nettoprovyta med 10 m radie. Vid tillväxtrevision upprepades dessa mätningar. I sex försök togs dessutom en borkärna från varje träd för mätning under mikroskop av årsringarnas tillväxt.

Tillväxteffekterna efter tillförsel av enbart aska var små och varierande och ej signifikanta i något försök. Dock fanns en svag tendens till positiv respons på den bördigaste ståndorten och negativ på den minst produktiva försökslokalen. Signifikant positiva tillväxteffekter erhöles endast i försöksled där kväve tillförts, i renodlad form eller tillsammans med aska. För att mer säkra slutsatser om askans eventuella effekter på trädens tillväxt på skoglig fastmark ska kunna dras bör dock både försöksmaterialet och observationsperiodens längd utökas.

Mer detaljerade försöksresultat kommer att publiceras i en vetenskaplig tidskrift med granskning enligt *peer-review* systemet.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	ÅSKÅTERFÖRING I SAMBAND MED TILLVÄXTHÖJANDE KVÄVEGÖDSLING	2
1.3	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.4	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.5	MÅL OCH MÅLGRUPP	2
2	MATERIAL OCH METODER	4
2.1	LOKALBESKRIVNING OCH FÖRSÖKSDESIGN	4
2.2	TILLVÄXTREVISION	6
2.3	STATISTISK BEARBETNING	7
3	RESULTAT	11
4	DISKUSSION	12
5	SLUTSATSER	14
6	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEJTE	15
7	ERKÄNNANDEN	16
8	LITTERATURREFERENSER	17

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Biobränslen, bl.a. i form av hyggesrester (GROT, grenar och toppar), utgör redan nu en viktig del av den svenska energiförsörjningen. Ett ökat uttag av biomassa innebär också ett ökat uttag av näringsämnen från skogen jämfört med ett uttag av endast stamved. Tillväxten minskar oftast efter helträdsavverkning jämfört med konventionell avverkning av endast stamved [4] [22] [5] [30] [9]. Den troliga orsaken är minskad tillgång på växttillgängligt kväve [21] [9].

För att kompensera för det ökade näringsuttaget är Skogsstyrelsens rekommendation att vedaska bör återföras till skogsmarken efter GROT-uttag [29]. Ett av de skogliga sektorsmålen anger att på sikt ska den areal som erhåller aska vara lika stor som den där GROT skördas vid föryngringsavverkning. Huvudsyftet med att återföra aska till skoglig fastmark anses vara att motverka biomassauttagets markförsurande effekter och därmed eventuellt följande negativa effekter på grundvatten och ytvatten, men även för att motverka en långsiktig utarmning av markens näringsförråd och därmed äventyra den långsiktiga skogsproduktionen [29]. Tillförsel av aska till såväl fast- som torvmark, kan dock även påverka skogsproduktionen på kort sikt. Hittills redovisade data visar att tillväxteffekten efter askåterföring på fastmark oftast är relativt liten och inte statistiskt påvisbar i enskilda försök [8] [11] [24] [25]. Tillgängliga resultat antyder att det på kort sikt finns en tendens till ökad tillväxt (0–10 %) på bördiga fastmarker och minskad tillväxt (0–10 %) på intermediära och svaga fastmarker, efter tillförsel av såväl lös som stabiliserad aska [11]. Den mest sannolika förklaringen till båda dessa tillväxtförändringar är förändrad tillgång på växttillgängligt kväve [16]. En minskad tillväxt kan dock motverkas med kvävetillförsel [8].

Kvoten mellan kol och kväve (C/N) i humusen har föreslagits som ett mått för att bedöma om en pH-höjning i marken kommer att medföra en ökad eller minskad nettomineralisering av kväve. Tillförsel av kalk påverkar kväveomsättningen i marken [17] [2] [6], och enligt en grov tumregel, baserad på erfarenheter från skogskalkningsförsök, sker en ökad nettomineralisering efter kalkning om C/N i humusen är lägre än 30 [15] [18]. En ökad skogsproduktion kan således troligen förväntas på fastmarker med C/N < 30 (de bördiga fastmarkerna) och tvärtom på fastmarkerna med C/N > 30 (de svaga fastmarkerna). Podsolen är Sveriges helt dominerande jordmånstyp. Man kan därför anta att huvuddelen av en eventuell asktillförsel kommer att ske på denna jordmånstyp. Enligt data från det andra omdrevet i Ståndortskarteringen har ca 75 % av landets podsoler en C/N i humusen på över 30. Om en eventuell asktillförsel fördelar sig jämnt över landet skulle således, enligt hypotesen ovan, en stor areal kunna få en något minskad skogstillväxt. Å andra sidan skulle, enligt samma hypotes, en askåterföring på bördigare marker i framför allt södra Sverige kunna leda till en något ökad tillväxt och därmed eventuellt kunna kompensera för de tillväxtförluster som normalt följer efter ett helträdsuttag.

1.2 Askåterföring i samband med tillväxthöjande kvävegödsling

I några försök har man studerat asktillförsel i kombination med kvävegödsling. Enbart kvävegödsling ger oftast en ökad tillväxt [20] [8]. Frågan är om en kombinerad tillförsel av aska och kväve påverkar tillväxteffekten av kvävet. Det finns exempel på att samtidig spridning av aska och kväve gett en sämre tillväxteffekt än enbart kväve [19] [11]. I ett försök blev tillväxtökningen större om askan tillfördes ett halvår efter kvävegödslingen, jämfört med om askan tillfördes samtidigt med kvävet [11]. En trolig förklaring till en reducerad tillväxteffekt vid samtidig spridning är att askan orsakat en förlust av kväve genom ammoniakavgång. Vid högt pH kan ammonium-N i gödselmedlet omvandlas till ammoniak. Men, det finns även exempel på att kvävet gett förväntad effekt vid samtidig tillförsel [11]. Det finns också data från ett finskt försök som har antytt att aska och kväve i kombination kan ge en något bättre tillväxteffekt än enbart kväve [26]. Dessa varierande resultat visar på behovet av att bättre utreda frågan om effekten av samtidig tillförsel av både kväve och aska efter skogsbränsleuttag.

I sex utav de elva försöken i denna studie ingår även försöksled med kvävetillförsel, som enskild behandling och i kombination med aska.

1.3 Beskrivning av forskningsområdet

Tillgången på försök med studier över hur trädens tillväxt påverkas av en asktillförsel är begränsad. Merparten av de idag hittills redovisade studierna har behandlat askans effekter på relativt bördiga marker med låga kol/kväve-kvoter (C/N). Representationen av redovisade försök i mellersta och norra Sverige har dessutom varit mycket låg.

1.4 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Om det ovan refererade skogliga sektorsmålet uppfylls kommer askåterföring till skogsmark att bli en omfattande åtgärd. Därför är det angeläget och nödvändigt att få ett bättre och mer heltäckande kunskapsunderlag om askåterföringens effekter på skogsproduktionen.

Sedan mitten av 1990-talet och framåt har Skogforsk löpande anlagt nya försök som i viss mån har förbättrat försöksunderlaget. Elva utav dessa försök har tillväxtreviderats under perioden 2009-2011. I sex utav dessa försök ingick även försöksled med kvävetillförsel, som enskild behandling och i kombination med aska. Resultat från dylika kombinerade behandlingar efterfrågas av skogsbruket, framförallt i norra Sverige.

1.5 Mål och målgrupp

Målet med projektet är att ge askavnämare och skogsbruket ett bättre underlag för att kunna bedöma effekterna av en askåterföring på trädens tillväxt i barrskog på fastmark.

Den hypotes som testas, i enlighet med tidigare erfarenheter, är att tillförsel av aska på skoglig fastmark leder till minskad stamtillväxt på lågproduktiv mark (hög C/N i humus), oförändrad stamtillväxt på medelproduktiv mark, medan stamtillväxten ökar på bördig skogsmark (låg C/N).



Figur 1. Askspridning i contortaförsöket 279 Skorped

Figure 1. Application of wood ash at the Pinus contorta site 279 Skorped.

2 Material och metoder

2.1 Lokalbeskrivning och försöksdesign

Försöket 241 Torup, beläget ca 3 mil nordost om Halmstad, anlades 1990 i ett första generationen rent granbestånd. Försöksmarken får betecknas som bördig samt i viss mån kulturpåverkad. I detta försök testades tre olika doser av en granulerad aska (1, 3 och 6 ton ha⁻¹), samt kombinerade behandlingar med aska+kväve. Askan, som hade sitt ursprung från värmeverket i Eskilstuna, hade en kolhalt på bara några få procent (andel oförbränt 4,5 %), vilket medförde att granulerna fick en hög hållfasthet. I denna aska tillsattes dessutom 4% cement i samband med granuleringen.

Under 1995 anlades och behandlades två tallförsök, 250 Ridderhyttan och 251 Älvsbyn (tabell 1). I försöket i Ridderhyttan testades tre olika doser av krossaska (3, 6 och 9 ton ha⁻¹) samt en pelleterad aska (3 ton). I dessa försök finns även försöksled med enbart kväve (150 kg N ha⁻¹) samt kombinerade aska+kväve-behandlingar. Utförlig beskrivning av dessa försök, samt tillväxtresultat efter fem år, återfinns i [10] [23] [12].

Under 1999 anlades och behandlades två tallförsök i Småland, 260 Gislaved och 261 Skillingaryd (tabell 1). Provade askor (3 ton ha⁻¹) i dessa försök är: i) valspletterad aska från Frövi bruk, ii) krossaska från Frövi bruk samt iii) krossaska från Ljungby.). I dessa försök finns även försöksled med enbart kväve (150 kg N ha⁻¹) samt kombinerade aska+kväve-behandlingar. Försöken behandlades i augusti 1999. En allmän beskrivning av använda askor i dessa försök samt dessas lakningsegenskaper finns redovisade i [13].

Två granförsök anlades i södra Dalarna (262 Svartnäs) respektive Hälsingland (264 Öjung) (tabell 1). Provad aska i dessa försök var en valspletterad aska (3 ton ha⁻¹) från Fors (Stora Enso). I försöket 262 Svartnäs finns även ett försöksled med kväve (150 kg N ha⁻¹). Försöken behandlades i juni 2000.

Plantförsöket 275 Ängsarvet anlades under 2003 på ett nyupptaget hygge (fröträdsställning), ca fem mil norr om Uppsala. Studerade tallplantor planterades i samband med försöksanläggning i markberedda fåror (harv). Tillförd krossaska (3 ton per hektar) koncentrerades till fåror.

I samarbete med Mittuniversitetet anlades ett askförsök med sex upprepningar i en relativt bördig tallsluttning strax utanför Bispgården i Jämtland (tabell 1). I detta försök spreds i september 2004 en krossaska (3 ton ha⁻¹) från sågverket Jämtlamell i Stugun.

Under 2006 anlades två försök i Västernorrland. Försöket 280 Björna är förlagt till en bördig gransluttning och 279 Skorped ligger i ett högproducerande contortabestånd (tabell 1). Försöket är anlagda som randomiserade blockförsök med sex, respektive fem upprepningar. Askan (2,8 ton krossaska ha⁻¹) som spreds i början av augusti 2006, kommer från Ljungbyverket i Ljungby (Sydkraft Värme Syd AB).

Tabell 1. Ståndorts- och beståndsdata vid tidpunkt för anläggning för de olika försöken

Table 1. Site and stand characteristics of the experimental sites at time of establishment

	241 Torup	250 Riddarh yttan	251 Älvsby n	260 Gislav ed	261 Skilling aryd	262 Svarnä s	264 Öjung	275 Ängsar vet	276 Fanber get	279 Skorp ed	280 Björn a
Latitud	56° 55′	59° 48′	64° 12′	57° 16′	57° 23′	60° 57′	61° 40′	60° 22′	63° 35′	63° 45′	63° 62′
Longitud	13° 05′	15° 30′	19° 28′	13° 33′	13° 59′	16° 04′	15° 26′	17° 26′	16° 41′	17° 50′	18° 41′
Höjd över havet (m)	135	135	155	160	180	415	410	50	290	325	360
Trädslag	gran	tall	tall	tall	tall	gran	gran	tall	tall	Contorta	gran
Ståndortsindex (H100, m)	G32	T25	T21	T28	T25	G26	G26	T25	T24	T31, C24 (H50)	G26
Ålder, tot. (år)	40	50	60	40	40, 55	25	25	0	50	20	25
Stamantal (n ha ⁻¹)	1320	1100	1050	1000	1000	2100	1800	2500	1300	2200	2000
Virkesförråd (m ³ sk ha ⁻¹)	250	170	160	175	150	40	65	-	160	100	60
Vegetationstyp	utan fältskikt	blåbär	blåbär	gräs	blåbär	blåbär	blåbär/gräs	lingon	blåbär	Blåbär	blåbär
C:N-kvot i humus	27	32	44	27	32	30	32	31 *	36	35	28
Jordart-textur	sa-mo-morän	mellan-sand	sa-mo-morän	grovm o	mellan-sand	sa-mo-morän	sa-mo-morän	mellan-sand	mellan-sand	sa-mo-morän	sa-mo-morän
Antal upprepningar (block)	3	3	3	4	4	5	4	16	6	5	6
Startår	1990	1995	1995	1999	1999	2000	2000	2003	2004	2006	2006
Effektperiod, antal år	15	15	15	10	10	10	10	8	7	5	5

Samtliga försök är anlagda som parcellförsök med upprepningar i randomiserade block, förutom försöket 275 Ängsarvet som är fullständigt randomiserat. Parcellstorleken är 30 × 30 m, förutom i plantförsöket 275 Ängsarvet som består av 10 m plantrader i harvspår. Vid behandlingen delades varje parcell in i nio stycken delytor, inom vilka handspridning av askor respektive N-gödselmedel utfördes med noggrant uppvägda mängder och med stora krav på jämnhet i spridningen. Testade behandlingar i de olika försöken redovisas i tabell 2. Antalet upprepningar av varje behandling i respektive försök återfinns i tabell 1.

De i försöken använda askprodukternas innehåll av olika ämnen redovisas i tabell 3. Vid en jämförelse med de av Skogsstyrelsens [29] rekommenderade minimi- och maximihalter (tabell 4) framgår att halterna i de använda askorna, med ett fåtal undantag, får betecknas som godkända. Askpellets från Fors hade något låga värden av P, K och Mg. Askprodukterna från Frövi liksom från en av krossaskorna från Ljungby hade något för höga värden av Cr och Ni.

Kvävet tillfördes i form av kalkkammonsalpeter (27,5 % N, 4 % Ca, 1 % Mg och B 0.2%) i samtliga försök där sådana behandlingar ingick i försöksdesignen.

Tabell 2. Studerade behandlingar i de olika försöken

Table 2. Studied treatments at the different experimental sites

	Granförsök				Tallförsök						
	241	262	264	280	250	251	260	261	275	276	279
kontroll	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 ton aska ha ⁻¹	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 ton aska ha ⁻¹	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6 ton aska ha ⁻¹	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
9 ton aska ha ⁻¹	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
150 kg N ha ⁻¹	-	X	-	-	X	X	X	X	-	-	-
3 ton aska +150 kg N ^a ha ⁻¹	X	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-
3 ton aska +150 kg N ^b ha ⁻¹	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-

^a samtidig spridning

^b askan spreds minst 1 månad efter kvävet.

2.2 Tillväxtrevision

I samtliga parcellförsök utfördes alla mätningar av tillväxt på nettoparceller i form av cirkelytor med radien 10,0 m (314 m²). Alla träd på nettoytan med en diameter >5 cm i brösthöjd (1,3 m över marken) numrerades permanent vid försöksanläggningen. Före behandling korsklavades och höjdmättes samtliga dessa träd. Vid tillväxtrevision upprepades dessa mätningar. I sex försök togs dessutom en borkkärna från varje träd för mätning av årsringarnas tillväxt under mikroskop. Trädens stamvolym beräknades med Näslunds [14] funktioner.

2.3 Statistisk bearbetning

Resultaten bearbetades försöksvis statistiskt i en linjär modell med hjälp av statistikpaketet SAS/STAT, procedur GLM [27]. Beroende variabler som testades var grundyte- och volymtillväxt. Eventuella skillnader mellan ytor före behandling korrigerades för medelst kovariansanalys. Testade kovariat var; grundyta och volym före behandling, stamantal samt grundyte- och volymtillväxt fem år före behandling. Kovariaten inkluderades i modellerna om dess p -värde var $<0,20$.

Vid testen av skillnader mellan medeltalen för de olika blocken och behandlingarna nyttjades LSD-test (least significant difference). Tukey's test för multipla jämförelser användes i de fall försöken innehöll mer än två olika behandlingar.

Användningen av kovariat, liksom typ av kovariat som inkluderades i modellerna, varierade mellan försöken. Vid samkörning av alla experiment användes därför de framräknade medelvärdena från de valda modellerna i de enskilda försöken. För att justera för varierande varianser mellan de olika försöken så log-transformerades denna modell. I denna analys inkluderades endast försöksleden med dosen 3 ton aska ha^{-1} .

Modellekvation för de enskilda försöken:

$$y_{jk} = \mu + u_j + t_k + b(c_{jk} - \bar{c}) + e_{jk}$$

Modellekvation för sambearbetning av flera försök:

$$\log y_{ik} = \mu + l_i + t_k + e_{ik}$$

där y_{jk} , y_{ijk} är volym/grundytetillväxt för försök i , block j och behandling k ; μ är totalmedelvärde; l_i är fix effekt av försök i ; u_j är fix effekt av block j ; t_k är fix effekt av behandling k ; b är koefficient för regression av kovariat; c_{jk} är kovariatvariabel för parcell jk ; och e_{jk} , e_{ik} är residualer för observation jk eller ik , N.I.D. $(0, s^2_e)$.

Medelst regressionsanalys analyserades eventuella tillväxteffekters samband mot markens C/N-kvot (humuslagret) samt ståndortens bördighet (uttryckt som bonitet). I dessa analyser användes relativ tillväxteffekt (volym) som beroende variabel, ett värde per försökslokal. I de försök med flera askbehandlingar användes vid dessa regressionsanalyser medelvärdet från samtliga i försöket förekommande askbehandlingar.

Tabell 3. De använda askprodukternas innehåll av olika ämnen. Analyserna utförda på SGAB Analys i Luleå

Table 3. Elemental concentrations of the wood ashes used

	Ask-granul	Frövi-pellets	Frövi-kross	Ljungby-kross 1	Fors-pellets	Piteå-kross	Ortviken-pellets	Ljungby-kross 2	Stugun -kross	Ljungby -kross 3
Försök	241	260, 261	261	260, 261	262, 264	250, 251	250	275	276	279, 280
TS	92,4	91,9	77,6	84,8	73,6	73,7	86,1	63,0	51,0	62,6
LOI	4,5	8,3	9,9	9,1	20,9	8,7	33,6	27,0	30,8	34,9
% TS										
Si	24,0	18,7	18,3	18,5	11,7	5,6	9,4	11,0	9,7	5,8
Al	4,6	8,3	7,9	8,1	8,7	1,9	3,1	2,1	3,0	2,3
Ca	14,0	13,0	13,0	13,0	16,8	13,7	15,2	22,0	20,5	22,0
Fe	1,3	1,7	1,6	1,7	1,3	1,1	2,1	1,0	1,3	0,8
K	4,1	3,1	2,8	2,9	1,7	6,4	3,5	2,3	3,1	3,4
Mg	1,5	1,4	1,4	1,4	0,9	1,4	1,4	2,4	1,6	2,5
Mn	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,8	1,0	0,8	1,2	1,1
Na	1,3	1,5	1,5	1,5	1,0	10,8	1,1	0,8	0,6	0,6
P	0,9	0,8	0,8	0,8	0,4	0,8	0,8	0,6	1,0	1,4
Ti	<0,1	1,4	1,3	1,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
mg/kg TS										
As	5	<48	<48	<48	19	9,3	15,2	<3	<3	<10
Cd	21	7	8	7	4	12	9	7	4	13
Co	11	14	16	15	18	15	21	7	6	7
Cr	108	154	209	182	78	56	54	71	40	69
Cu	99	71	68	69	188	108	104	82	64	81
Hg	0,30	0,13	0,15	<0,10	0,21	0,28	0,87	0,26	0,03	0,08
Mo	<6	16,4	<6	<6	5,4	7,7	<6	<6	<6	<6
Ni	48	78	100	89	42	114	39	20	24	19
Pb	63	56	63	59	96	108	70	59	9	21
V	32	67	57	62	41	76	37	22	19	18
Zn	2030	1050	1160	1105	1057	3360	3990	950	831	1740

Tabell 4. Skogsstyrelsens rekommenderade minimi- och maximihalter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning i skogsmark [29]

Table 4. Recommended elemental concentrations of wood ashes used for spreading in the forest, according to the Swedish Forest Agency [29]

Rekommenderade halter		
Element	Min.	Max.
% TS		
Ca	12,5	
K	3,0	
Mg	1,5	
P	0,7	
mg/kg TS		
As		30
B		800
Cd		30
Co		14
Cr		100
Cu		400
Hg		3
Ni		70
Pb		300
V		70
Zn	500	7000

3 Resultat

Effekten av asktillförsel på trädens stamtillväxt har i dessa försök generellt varit liten, och inte i något försök statistiskt signifikant ($p < 0,05$). Vid samkörning av samtliga försök uteblev effekten helt.

Den mest markerade tendensen till tillväxtökning noterades efter behandling med 6 ton aska i ett högproduktivt granförsök. I det minst produktiva beståndet fanns en tendens till minskad tillväxt i det askbehandlade försöksledet. I övriga försök fanns inga tydliga tendenser på tillväxteffekten åt något håll i studerade rena askbehandlingar ($p > 0,50$).

De mest markerade tillväxteffekterna erhöles i de försöksled där kväve tillförts, antingen som separat behandling eller i kombination med aska. I de fyra försök där denna jämförelse var möjlig, kunde någon skillnad i tillväxteffekt mellan renodlad N-tillförsel och kombinerad tillförsel av aska+N ej utläsas. Inte heller fanns någon skillnad i tillväxteffekt mellan samtidig tillförsel av aska och kväve och tillförsel av de två produkterna vid skilda tillfällen.

4 Diskussion

Resultaten från de enskilda försöken visade att tillförsel av aska inte resulterade i statistiskt signifikanta förändringar av trädens stamtillväxt. Dock fanns indikationer på att asktillförsel kan leda till ökad stamtillväxt på bördiga marker och minskad tillväxt på mindre bördiga, kvävefattiga, ståndorter. I detta sammanhang bör man dock ha i minne att en tillväxtförändring på några procent kan få stora effekter på möjliga avverkningsnivåer, regionalt och nationellt, om man skalar upp arealerna.

Försöksmaterialet är fortfarande litet och studerad observationsperiod behöver utökas i en del av försöken. Skillnader i askornas sammansättning och löslighet, askdos samt skillnader i observationsperiodens längd mellan de olika försöken försvårar tolkningen av resultaten. Detta oaktat, är tendenserna i detta material konsistenta med tidigare resultat från askningsförsök [8] [11] [24] [25] samt med erfarenheterna från kalkningsförsök (cf. [1]). Trots det antropogena nedfallet tycks N kväve fortfarande vara det primärt tillväxtbegränsade ämnet i våra svenska skogar på fastmark [20] [3], och tillförseln av aska har sannolikt påverkat tillgången på oorganiskt N tillgängligt för trädttillväxt. Askgödsling på bördigare mer N-rika ståndorter, såsom moder/mull-jordar, har troligen ökat nettomineraliseringen av N markens översta horisonter, medan det på mer N-fattiga ståndorter mer sannolikt resulterat i en ökad N-immobilisering. Varaktigheten av denna minskade tillgång på lättillgängligt kväve är en viktig fråga att studera, och möjliggörs endast genom upprepade provtagningar i mark- och trädskikt under lång tid (30 år och mer) i befintliga långliggande försök.

Sambanden mellan bonitet och de relativa tillväxteffekterna av aska under de första 5–15 åren i detta material var i överensstämmelse med tidigare analyser med liknande effektperioder [7] [11] [28]. I den här studien påvisades liknande samband även mellan tillväxteffekter och C/N. Att göra linjära regressioner på små material kan ifrågasättas. Eliminering av en eller ett par observationer (försöksresultat) ger omedelbart utslag i form av mer osäkra samband. Man skulle också kunna ifrågasätta om sambanden överhuvudtaget skall göras linjära. Teoretiskt sett skulle sambanden mellan de relativa tillväxteffekterna och markens bördighet kunna ha ett mer trappstegsliknande utseende (tre steg), med ökad nettomineralisering av N och N-immobilisering i trappans ändrar samt en noll-respons däremellan. Det faktum att asktillförseln i de nio intermediärt bördiga bestånden i denna försöksserie sammantaget ej resulterade i någon effekt på tillväxten stödjer detta resonemang.

Resultaten visade ej på några tydliga positiva effekter av kombinerade behandlingar med aska och kväve. Samtidigt kunde vi i detta material ej heller se några tydliga effekter till minskad N-effekt vid samtidig spridning av aska och kväve som antytts i tidigare studier [19] [11]. Risken för ammoniakbildning vid samtidig spridning av aska och N är dels mycket väderberoende, men sannolikt också till stor del beroende på tillförd askas löslighet och reaktivitet. I dagsläget finns inga direkta ekonomiska incitament till att sprida askan och kvävet samtidigt. De olika produkterna sprids i skogen med helt olika teknik. Det är också stora skillnader i vilka mängder som ska spridas, och för det relativt dyra N-gödselmedlet är det oerhört viktigt att man får en jämn spridning i beståndet. Det är också svårt att se några logistiska fördelar, då

produkterna transporteras från olika håll. Men med teknikutveckling är det inte omöjligt att det i framtiden eventuellt kan bli mer kostnadseffektivt med en kombinerad behandling.



Figur 1. Spridning av aska i september 1995 i försöket 250 Riddarhyttan.

Figure 1. Application of wood ash in September 1995 at the experimental site 250 Riddarhyttan.

5 Slutsatser

I Sverige rekommenderar Skogsstyrelsen att askåterföring bör ske på marker där avverkningsrester tas ut i betydande omfattning någon gång under omloppstiden.

Resultaten från denna studie indikerar att tillförsel av de näringsämnen som finns i askan ej påverkat tillväxten. På bördiga marker, antyder resultaten dock att en asktillförsel kan leda till en ökad nettomineralisering av N, och därmed, åtminstone på kort sikt, öka tillväxten och kompensera för de tillväxtförluster som normalt följer efter ett helträdsuttag. På mindre bördiga marker behöver man tillföra N för att kompensera för dessa tillväxtförluster. På mer uttalat N-fattiga marker finns en risk för minskad tillväxt efter asktillförsel. För dessa typer av marker har dock Skogsstyrelsen gjort undantag från den allmänna rekommendationen att återföra askan.

6 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Om askåterföring till skogsmark blir en storskalig åtgärd behövs bättre och mer heltäckande kunskap om effekterna på träd tillväxt och andra miljöfaktorer. I Sverige, och även internationellt, finns det få fältförsök med aska. Behovet av att utöka antalet fältförsök är därför stort. Sedan mitten av 1990-talet och framåt har Skogforsk löpande anlagt nya försök som i viss mån förbättrat underlaget, men det behövs fler försök för att kunna generalisera effekterna av askåterföring på exv. träd tillväxt. Som jämförelse kan nämnas de prognosfunktioner som finns framtagna för att uppskatta tillväxteffekten av kvävegödsling i svensk tall- och granskog. Dessa funktioner baseras på data från 230 försökslokaler (totalt 961 provytor) [20] medan antalet försök med asktillförsel uppgår till mindre än 20. Befintliga försök måste även skötas och vidmakthållas för att möjliggöra studier av eventuella mer långsiktiga effekter.

Huvudsyftet med att återföra askan till skoglig fastmark är enligt Skogsstyrelsen att motverka markförsurning och att bibehålla god kvalitet i våra avrinnande vatten. Nyttan och effektiviteten av att tillföra aska har i detta sammanhang understundom ifrågasatts från forskarhåll. Därför är det givetvis oerhört viktigt att även löpande undersöka askåterföringens eventuella effekter på mark och vatten, både i parcellförsök och i avrinningsområden, i norra liksom i södra Sverige etc.

7 Erkännanden

Ett tack till Värmeforsks forskningsprogram ”Miljövänlig användning av askor” (Askprogrammet), som bidragit med merparten av finansieringen till detta projekt. Ett stort tack även till projektets referensgrupp för värdefulla synpunkter vid projektets start samt på slutrapportens innehåll.

8 Litteraturreferenser

- [1] Andersson F., Hallbäcken L. & Popovic B. 1996. Kalkning och träd tillväxt. I: Staaf, H., Persson T. och Bertills U. (red) Skogsmarkskalkning – Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet. Naturvårdsverket, Rapport 4559, s. 122–133. Stockholm.
- [2] Arnold G., Van Beusichem M.L. & Van Diest A. 1994. Nitrogen mineralization and H⁺ transfer in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest stand affected by liming. *Plant and Soil* 161: 209–218.
- [3] Binkley, D. & Högberg, P. 1997. Does atmospheric nitrogen threaten Swedish forests? *For. Ecol. Manage.* 92: 119–152.
- [4] Compton J. & Cole D.W. 1990. Impact of harvest intensity on growth and nutrition of second rotation Douglas-fir. In: W.J. Dyck and C.A. Mees (Eds.) Long term field trial to assess environmental impacts of harvesting, Proceedings IEA/BE Workshop, pp. 151–162.
- [5] Egnell G., Nohrstedt H.-Ö., Weslien J., Westling O. & Örlander G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1/1988. Skogsstyrelsens förlag. Jönköping. 170 p.
- [6] Huber C., Baier R., Göttlein A. & Wendelin W. 2006. Changes in soil, seepage water and needle chemistry between 1984 and 2004 after liming an N-saturated Norway spruce stand at the Högwald, Germany. *For. Ecol. Manage* 233: 11–20.
- [7] Jacobson, S. 1997. Ash fertilization can lead to growth losses. The Forestry Research Institute of Sweden, Resultat No. 23. Uppsala. 4 pp. (In Swedish with English summary.)
- [8] Jacobson, S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. Doctoral thesis. *Silvestria* 217, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 34 pp.
- [9] Jacobson S., Kukkola M., Mälkönen E. & Tveite, B., 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *For. Ecol. Manage.* 129, 41–51.
- [10] Jacobson, S. & Gustafsson, L. 2001. Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic Appl. Ecol.* 2: 233–241.
- [11] Jacobson, S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils – effects on stem growth and needle nutrient concentrations. *Silva Fennica* 37(4): 437–450.
- [12] Jacobson, S., Högbom, L., Ring, E. & Nohrstedt, H.-Ö. 2004. Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *Water, Air, and Soil Pollut.* 158 (1): 113–125.
- [13] Lövgren, L., Lundmark, J.-E. & Jansson, C. 2000. Kretsloppsanpassning av bioaskor. Utvärdering av ny teknik för pelletering av bioaska med avseende på dels driftsegenskaper, dels miljöeffekter i skogen av askåterföring. Rapport Etapp 1, Statens energimyndighet, projekt P11647-1.

-
- [14] Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. Medd. Statens Skogsforskningsinst. 36: 3-36.
- [15] Persson, T. 1988. Effects of acidification and liming on soil biology. I: Andersson, F. & Persson, T. (red.). Liming as a measure to improve soil and tree condition in areas affected by air pollution. National Swedish Environmental Protection Board, Report 518: 53–71.
- [16] Persson, T., Wirén, A. & Andersson, S. 1991. Effects of liming on carbon and nitrogen mineralization in coniferous forests. *Water Air Soil Pollut.* 54: 351–364.
- [17] Persson T., Lundkvist H., Wirén A., Hyvönen R. & Wessén B. 1989. Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. *Water Air Soil Pollut.* 45: 77-96.
- [18] Persson, T. & Wirén, A. 1996. Effekter av skogsmarkskalkning på kväveomsättningen. I: Staaf, H., Persson, T. & Bertills, U. (red.) Skogsmarkskalkning. Naturvårdsverket, Rapport 4559. s. 70–91.
- [19] Pettersson, F. 1990. Kompensationsgödsling efter träddeleggallring. Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring-skogsproduktion Nr 2 1990/91. Uppsala. 4 s.
- [20] Pettersson, F. 1994. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. The Forestry Research Institute of Sweden, Report No. 3. Uppsala. 56 pp.
- [21] Proe M.F., Dutch J., Griffiths J., 1994. Harvest residue effect on micro-climate, nutrition, and early growth of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) seedlings on a restock site. *N.Z. J. For. Sci.* 24, 390–401.
- [22] Proe M.F., Cameron A.D., Dutch J. & Christodoulou X.C., 1996. The effect of whole-tree harvesting on the growth of second rotation Sitka spruce. *Forestry* 69: 389–401.
- [23] Ring, E., Jacobson, S. & Nohrstedt, H-Ö. 2002. Massaindustrins barkaska åt skogen. Slutrapport till Energimyndigheten.
- [24] Saarsalmi A., Mälkönen E. & Kukkola M. 2004. Effects of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland. *Scand. J. For. Res.* 19: 217-233.
- [25] Saarsalmi A., Derome J. & Levula, T. 2005. Effects of wood ash fertilisation on stand growth, soil, water and needle chemistry, and berry yields of lingonberry (*Vaccinium vitis-idea* L.). *Forestry Studies* 42: 13–33.
- [26] Saarsalmi A., Kukkola, M., Moilanen, M. & Arola, M. 2006. Long-term effects of ash and N fertilisation on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand. *For. Ecol. Manage.* 235: 116–128.
- [27] SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT™, Guide for personal computers, version 8, edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 3884 p.
- [28] Sikström, U., Jacobson, S., Johansson, U., Kukkola, M., Saarsalmi, A. & Holt-Hansen, K. 2009. Långtidseffekter på skogsproduktion efter askåterföring och kalkning – Preliminära resultat från en pilotstudie. Värmeforsk Service AB, Rapport 1107, 22 s., ISSN 1653-1248.

-
- [29] Skogsstyrelsen, 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Skogsstyrelsen, Meddelande 2-2008. 22 s.
- [30] Sterba H. 1988. Increment losses by full-tree harvesting in Norway spruce (*Picea abies*). *For. Ecol. Manage.* 24, 283–292.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35