

Återföring av aska på skoglig fastmark

– effekter på trädens koncentration av tungmetaller

Staffan Jacobson

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl., som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien **Arbetsrapport** dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report: Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Inledning	3
Material och metoder	5
Försöksområden	5
Använda askor	5
Försöksmaterial	6
Provtagning	7
Kemisk analys	7
Statistisk analys	7
Resultat	7
Diskussion.....	11
Tillkännagivanden.....	11
Referenser	12
Bilaga 1:1	13
Bilaga 1:2	14
Bilaga 1:3	15

Sammanfattning

Syftet med denna undersökning var att studera tungmetallkoncentrationer i tall- och granbarr efter tillförsel av olika doser av stabiliserad träaska på fastmark. För detta ändamål utnyttjades material insamlat från tre olika fältförsök. I två av dessa försök var askan tillförd i form av granuler, medan askan i det tredje försöket var en mer löslig självhårdad krossaska.

Variationen av de olika tungmetallernas koncentrationer i barren var för de flesta ämnen stor. Två respektive tre upprepningar av varje behandling var ofta för lite för att kunna säkerställa skillnader mellan behandlingar. Trots få upprepningar visar resultaten från denna studie ganska entydigt att barrrens koncentration av Cd och framförallt Zn ökade efter asktillförsel. Dessa höjningar gällde för såväl den lösliga krossaskan som för den granulerade askan, och för både låga och höga givor. Huruvida den ökade tillgängligheten av dessa metaller var orsakad av tungmetallinnehållet i askan eller utbyteseffekter i marken är en fråga som ej kan besvaras av denna studie. Jämförelser av askåterföring och kvarlämnande av trädrester på tungmetallers tillgänglighet ingick ej i denna studie.

Inledning

Den ökade användningen av skogsbränsle ger stora mängder aska. Denna aska är idag en avfallsprodukt som deponeras. En vanlig uppfattning är att askan bör återföras till skogsmarken för att skapa ett kretslopp av näringsämnen och motverka att marken försuras. Bakom detta ligger bl.a. farhågor om att helträdsuttag kan försämrade skogsmarkens långsiktiga produktionsförmåga.

Aska innehåller, förutom viktiga växtnäringsämnen, även tungmetaller som träden tagit upp från marken (Eriksson & Börjesson, 1991). Många tungmetaller är starkt toxiska för biologiska processer. När det gäller markprocesser räknar man att en förhöjning från bakgrundsnivån med ca 3 gånger, är tillräcklig för att ge störningar (Bååth, 1989). I jämförelse med de trädrester som normalt lämnas tillförs tungmetallerna med vedaskan i en mer löslig form och koncentrerad till markens ytskikt vilket innebär en ökad risk för utlakning samt en åtminstone temporär risk för ökat tungmetallupptag i växter och djur. I samband med askgödsling kan dock askans pH-höjande effekt på marken bidra till att, åtminstone inledningsvis, hålla kvar tungmetallerna från askan i markens övre horisonter och därmed minska utlakningsrisken. Å andra sidan är det också möjligt att ett höjt pH kan påverka humusens nedbrytning och löslighet och därmed öka frigörelsen av redan befintliga tungmetaller. Ytterligare en tänkbar effekt av askspridning är att askans baskatjoner förtränger de tungmetaller som redan finns bundet i jorden, s.k. utbyteseffekter.

Tungmetallhalterna i askan kan variera kraftigt beroende på varifrån trädbränslet kommer, vilka trädfraktioner som ingår (stam, bark, grenar och barr), vilken typ av panna som används vid förbränningen, var askavskiljningen sker (bottenaska/flygaska) samt hur askan behandlas efter avskiljningen. Tungmetallhalterna (exkl. Ni) i aska från förgasningsanläggningar är i regel lägre än i aska från förbränningsanläggningar (Jönsson & Nilsson, 1996).

Många av de ämnen som finns i askan ingår i relativt svårlösliga föreningar, medan andra ingår i lösliga salter. Den takt varmed ämnen kan lakas ut från askan, beror också på askans partikelstorlek och grad av kemisk stabilisering. Eriksson (1993) undersökte ett antal olika askor med avseende på innehåll och löslighet av växtnäringsämnen och tungmetaller. Hans slutsats var bl.a. att de flesta tungmetaller tycks bindas relativt hårt så länge askan håller ett relativt högt pH. De tydligaste undantaget var Cr som var relativt lösligt vid alla pH-nivåer.

Flertalet studier som redovisar trädbiomassans tungmetallkoncentrationer efter tillförsel av vedaska är utförda på torvmark. Bramryd & Fransman (1985) utvärderade såväl ett antal äldre som yngre försök på torvmark. I flera fall kunde man se att tidigare asktillförsel fortfarande efter lång tid innebar förhöjda halter av tungmetaller i barr och blad. Detta gällde framförallt Cd och Cr. Vedaska har även prövats som gödselmedel i samband med energiskogsodlingar på torvmark. Stora ökningar av tungmetallhalterna erhöles härvid i stam och blad av Salix, framförallt för Cd, Cr och Cu, för vilka halten ökade 5–10 gånger (Bramryd, 1985).

Westling & Orth (1997) analyserade tungmetallerna Cu och Zn i årsbarr från tre avrinningsområden med äldre granskog, som behandlats med 2 ton granulad vedaska tillsammans med 3–4 ton krossad dolomitkalk. Barrproverna, som togs efter fem år, indikerade en ökning av halten Zn med 14 % och Cu med 25 %, men variationen var stor. I och med att endast kombinationen aska och kalk prövades kan man inte uttala sig om effekten av vardera medlet för sig.

Syftet med denna undersökning var att studera tungmetallkoncentrationer i tall- och granbarr efter tillförsel av olika doser av stabiliserad träaska på fastmark.

Material och metoder

Försöksområden

Tre olika fältförsök där man tillfört trädaska användes i denna studie. Försöken 241 Torup och 242 Vindeln är två doseringsförsök med granulerad aska, som anlades och behandlades i början av augusti 1990. Försöket 250 Riddarhyttan, som anlades 1994 och behandlades i september 1995, är ett doseringsförsök med en härdad och krossad blandaska. I detta försök ingår även en behandling med en pelleterad vedaska. Samtliga behandlingar i de olika försöken framgår av tabell 1.

Tabell 1.
Försöksled i de i studien ingående försöken

Torup och Vindeln	Riddarhyttan
☆ Kontroll	☆ Kontroll
⌚ 1 ton aska/ha (ts)	⌚ 3 ton krossaska/ha (ts)
⌚ 3 ton aska/ha (ts)	⌚ 6 " "
⌚ 6 ton aska/ha (ts)	⌚ 9 " "
⌚ 3 " " + 150 kg N/ha. (Samtidig spridning)	⌚ 3 " " + 150 kg N/ha. (Samtidig spridning)
⌚ 3 " " + 150 kg N/ha. (Askan sprids efter N)	⌚ 3 " " + 150 kg N/ha. (Askan sprids efter N)
	⌚ 150 kg N/ha
	⌚ 3 ton pelleterad aska/ha (ts)

Torup-försöket är anlagt i ett bördigt granbestånd på en sandig-moig morän. Övriga två försök är anlagda i tallbestånd på sedimentmark. Försöket 250 Riddarhyttan är beläget på ett plant sandigt sediment. 242 Vindeln är beläget i en sydväst sluttning, och där jordartens textur är sandig-moig-stenig, med inslag av mjåla. Ståndorts- och beståndsdata för de olika försöken redovisas i tabell 2.

Tabell 2.
Ståndorts- och beståndsdata för de i studien ingående försöken

Försökets nr och namn	Latitud	Longitud	Höj (m)	Trädslag	Ståndortsindex (H _{100m})	Ålder (år)	Volym (m ³ sk/ha)	Löpande (tillväxt) (m ³ sk/ha,år)
241 Torup	56° 55'	13° 05'	135	G	G 32	40	250	13,0
242 Vindeln	64° 12'	19° 28'	230	T	T 25	43	160	9,8
250 Riddarhyttan	59° 48'	15° 30'	135	T	T 24	45	180	

Använda askor

Askgranulerna som användes i Torup och Vindeln har sitt ursprung från det fliseldade värmekraftverket i Eskilstuna (ES:89). Andelen oförbränt var låg, vilket gjorde att granulerna fick en hög hållfasthet. Vid granuleringen tillsattes dessutom 4–5 % cement.

Krossaskan som användes i försöket i Riddarhyttan kommer från ASSI Kraftliner i Piteå. Den befuktade lösa askan lades på hög för härdning under ca en månad. Efter krossning siktades askan över en sikt med maskvidden 10 mm. Torrsiktning av askan för kontroll av kornstorleksfördelningen upp-

visade ett mycket bra resultat. I genomsnitt var endast ca 15 % finfraktion (<0,25 mm), ca 25 % i intervallet 0,25 – 2,0 mm och 60 % av vikten hade kornstorlek större än 2,0 mm. Trots de till synes mycket hårda och fasta askkornen visade det sig vid senare analyser att härdningen varit ofullständig och att krossaskan därför var relativt reaktiv. Nickel- och vanadinhalterna är relativt höga (se tabell 3), vilket med största sannolikhet beror på den stödelning med olja som förekommer i den aktuella pannan.

Den pelleterade askan i Riddarhytte-försöket kom från Ortvikens pappersbruk. Pelletering utfördes av IKAB AB i Iggesund. Vid pelletering tillsettes tallolja (8–10 %) som bindemedel. Noterbart från analyserna av askpelletsen är kanske framförallt den höga halten oförbränt (se tabell 3). Trots detta blev pelletsen relativt hårda och lätthanterliga samt tåliga mot väta.

Tabell 3.

Ämnesinnehåll i de askor som använts i försöken. Analyserna har utförts på SGAB Analys i Luleå (upplösningsteknik: LiBO₂-smälta)

	TORUP o VINDELN		RIDDARHYTTAN	
	Askgranuler		Krossaska	Askpellets
Halt oförbränt, %	4,5		8,7	33,6
<u>Makroelement.</u>				
<u>totalhalt i % (ts)</u>				
P	0,8		0,8	0,8
K	4,1		6,4	3,5
Ca	14,0		13,7	15,2
Mg	1,5		1,4	1,4
<u>Spårelement.</u>				
<u>totalhalt i ppm (ts)</u>				
As			9	15
Pb	21		108	70
Cd	6		12	9
Co	11		15	21
Cu	24		108	104
Cr	75		56	54
Mo	<5,2		8	<5,9
Ni	28		114	39
Zn	1 006		3 360	3 990
V	56		77	37
Hg			0,28	0,87

Försöksmaterial

I de två doseringsförsöken med granulerad aska (241 Torup och 242 Vindeln) insamlades, i två utav de tre blocken, årsbarr under år 1–5 samt år 7 efter behandling. I försöket i Riddarhyttan insamlades prover av årsbarr år 0 (året innan behandling), år 1 samt år 2, i samtliga tre block.

Provtagning

Prover av årsbarr togs under intervåll (december–mars) från tio träd per parcell. Kvistar från sydsidan på den övre tredjedelen av kronan sköts ner med hagelgevär. Barren från provträden på en parcell slogs samman till ett generalprov representerande parcellen. Generalproven torkades i 70° C, maldes och blandades väl före analysen.

Kemisk analys

De kemiska analyserna utfördes av Svensk Grundämnesanalys AB i Luleå i en ICP-MS (plasma+masspektrometer), efter uppslutning i salpetersyra/väteperoxid. Denna analysteknik har en betydligt högre känslighet och ger lägre detektionsgränser jämfört med standard plasmateknik (emissions-spektrometri) eller atomabsorption med flamma. Haltbestämning gjordes på följande tungmetaller: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb. Analyserna gjordes på samtliga års barrprovtagningar i alla tre försöken. Av försöks-leden i tabell 1 uteslöts försöksled 6 från analys.

Tabell 4.
Angivna detektionsgränser vid
ICP-MS analys av organiskt material

Element	Detektionsgräns, mg/kg TS
As	0,03
Cd	0,005
Co	0,005
Cr	0,15
Cu	0,05
Hg	0,05
Ni	0,09
Pb	0,03
Zn	0,25

Statistisk analys

Den statistiska bearbetningen omfattade ANOVA och linjär regression, användande statistikpaketet SAS/STAT, procedur GLM (1987).

Resultat

Koncentrationerna av As och Hg var med få undantag under angivna detektionsgränser, varför dessa ämnen ej kommenteras vidare.

I Riddarhyttan gjordes askbehandlingen först i mitten av september 1995. Någon eventuell effekt av denna askbehandling på barren redan samma år (år 1) är därför ej att förvänta. Därför koncentreras redovisningen från detta försök till resultaten från år 2.

Det var stor variation av de olika tungmetallernas koncentration i barren. Koncentrationernas variationsvidd redovisas i tabell 5. Resultaten från Pb-analyserna skall tolkas med stor försiktighet i försöken Torup och Vindeln.

Barrproverna sköts i dessa försök ned med blyhagel. Vid den sista provtagningen i Torup (år 7) användes dock stålhagel, varvid Pb-halterna sjönk dramatiskt (se tabell B1 i bilaga). I försöket i Riddarhyttan användes dock stålhagel genomgående.

Tabell 5.

Genomsnittliga-koncentrationer (mg kg^{-1}) för respektive tungmetall och försök, samt min- och maxvärden. Samtliga 183 analyser

Ämne	Torup			Vindeln			Riddarhyttan		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Cd	0,11	0,04	0,66	0,09	0,05	0,16	0,19	0,11	0,29
Co	0,10	0,04	0,26	0,13	0,06	0,25	0,08	0,01	0,25
Cr	0,31	0,16	0,56	0,62	0,21	6,41	0,46	0,20	1,04
Cu	3,08	2,41	4,07	2,78	1,94	4,34	3,09	2,30	4,35
Ni	1,68	0,69	4,98	3,36	1,19	12,10	3,21	0,97	26,10
Pb	6,15	0,55	42,60	5,37	0,41	56,50	1,14	0,45	19,60
Zn	33,07	19,90	51,30	49,80	36,00	64,50	51,31	43,40	61,10

Behandlingseffekterna var ej signifikanta för enskilda behandlingar, med ett undantag. Dock fanns en del mer eller mindre tydliga tendenser till att askbehandlingarna gett upphov till vissa koncentrationsförändringar. Genom att slå ihop alla askgivor och titta på kontraster mellan obehandlade och askbehandlade ytor blir dessa tendenser tydligare, och materialet blir också mer överskådligt (tabell 6–8). Resultaten från samtliga variansanalyser, uppdelat på enskilda försöksled och år, redovisas i Bilaga 1.

Tabell 6.

Kontraster mellan obehandlade ytor och samtliga askbehandlade ytor (1, 3 och 6 ton granulerad aska) i försöket 241 Torup. P-värde. Inom parentes anges om askbehandling ökat eller minskat koncentrationen i barren

Ämne	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 7
Cd	0,04 (+)	0,02 (+)	0,87 (+)	0,11 (+)	0,35 (+)	0,40 (+)
Co	0,44 (+)	0,43 (+)	0,64 (+)	0,45 (+)	0,12 (+)	0,73 (+)
Cr	0,47 (-)	0,18 (+)	0,36 (-)	0,09 (-)	0,34 (+)	0,40 (-)
Cu	0,28 (-)	0,50 (+)	0,31 (+)	0,68 (+)	0,74 (+)	0,40 (-)
Ni	0,32 (-)	0,58 (+)	0,58 (+)	0,86 (-)	0,69 (+)	0,51 (+)
Pb	0,69 (+)	0,65 (+)	0,30 (-)	0,70 (-)	0,89 (-)	0,37 (+)
Zn	0,22 (+)	0,12 (+)	0,37 (+)	0,03 (+)	0,28 (+)	0,02 (+)

Tabell 7.

Kontraster mellan obehandlade ytor och samtliga askbehandlade ytor (1, 3 och 6 ton granulerad aska) i försöket 242 Vindeln. P-värde. Inom parentes anges om askbehandling ökat eller minskat koncentrationen i barren

Ämne	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 7
Cd	0,09 (+)	0,27 (+)	0,24 (+)	0,14 (+)	0,13 (+)	0,15 (+)
Co	0,51 (-)	0,37 (-)	0,04 (-)	0,02 (-)	0,08 (-)	0,37 (-)
Cr	0,21 (+)	0,77 (-)	0,72 (+)	0,98 (+)	0,18 (+)	0,64 (+)
Cu	0,048 (+)	0,21 (+)	0,27 (-)	0,52 (+)	0,48 (+)	0,19 (+)
Ni	0,19 (+)	0,11 (+)	0,89 (+)	0,38 (+)	0,53 (+)	0,93 (+)
Pb	0,29 (-)	0,52 (+)	0,55 (+)	0,34 (+)	0,85 (-)	0,70 (+)
Zn	0,19 (+)	0,28 (+)	0,70 (-)	0,10 (+)	0,25 (-)	0,48 (+)

Tabell 8.

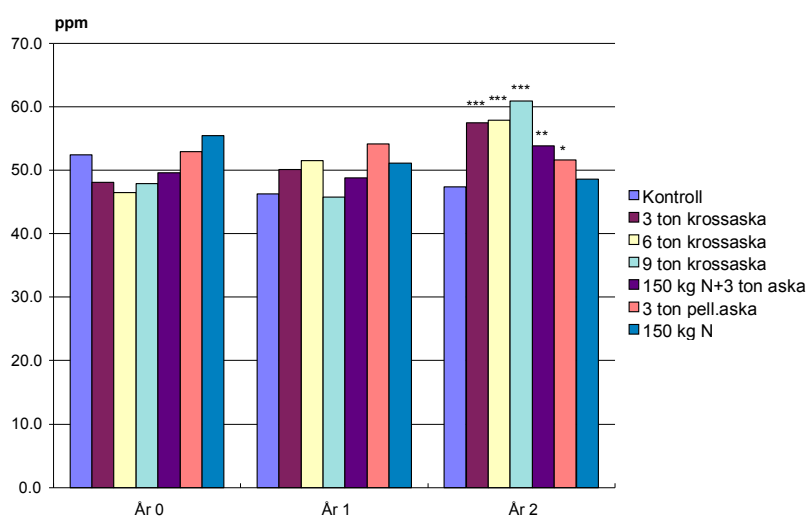
Kontraster mellan obehandlade ytor och **1)** krossaska (3, 6 och 9 ton), **2)** 3 ton pelleterad aska, **3)** 150 kg N, **4)** 3 ton krossaska + 150 kg N, i försöket 250 Riddarhyttan. P-värde. Inom parentes anges om askbehandling ökat eller minskat koncentrationen i barren. Värdena från år 0 (före behandling) är utnyttjade som kovariat vid analyserna för år 2

År 2				
Ämne	Krossaska, 3, 6 och 9 ton	Pelleterad aska, 3 ton	150 kg N	krossaska 3 ton+150 kg N
Cd	0,08 (+)	0,63 (+)	0,88 (+)	0,26 (+)
Co	0,35 (+)	0,98 (+)	0,38 (+)	0,76 (+)
Cr	0,71 (+)	0,95 (+)	0,51 (+)	0,29 (-)
Cu	0,90 (-)	0,80 (-)	0,87 (-)	0,26 (+)
Ni	0,35 (+)	0,44 (-)	0,27 (-)	0,96 (-)
Pb	0,39 (-)	0,43 (-)	0,27 (-)	0,26 (-)
Zn	0,0001 (+)	0,04 (+)	0,53 (+)	0,006 (+)

Sett över hela materialet var det mest tydliga mönstret att koncentrationerna av Cd och Zn ökade efter askbehandling. Övriga ämnen uppvisar en stor variation mellan olika provtagningsår, och oftast höga p-värden. Co-halterna minskade i Vindeln, speciellt tydligt mellan år 3–5, men visade i de andra två försöken en svag tendens till ökning. En tydlig ökning av Cu-halterna uppvisades vid ett tillfälle i ett försök (Vindeln år 1).

Signifikanta behandlingseffekter för enskilda askbehandlingar erhöles för Zn i Riddarhyttan år 2 (se figur 1). Signifikant ökade Zn-halter i barren registrerades även i försöksledet med 3 ton pelleterad aska i detta försök. Gödsling med enbart kväve gav inga tendenser till ökade tungmetall-halter i barren. Kombinationen 3 ton krossaska och 150 kg N gav lägre Zn-halter jämfört med enbart 3 ton krossaska.

För Zn erhöles även tydliga doseffekt-samband i två utav försöken. Resultat från regressionsanalyser, med de olika askgivorna som oberoende variabel, redovisas i tabell 9–11.



Figur 1.

Zn-halter i årsbarr i försöket 250 Riddarhyttan. Ev. signifikanta effekter av de olika behandlingarna jämfört med kontroll är angivet med *; där * $p \leq 0.05$, ** $p < 0.01$, och *** $p < 0.001$.

Tabell 9.

P-värden från linjär regression med 1, 3 och 6 ton granulerad aska som oberoende variabel. 241 Torup. Inom parentes anges tecknet för linjens riktningskoefficient

Ämne	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 7
Cd	0,73 (+)	0,58 (+)	0,51 (+)	0,12 (+)	0,15 (+)	0,73 (+)
Co	0,99 (+)	0,29 (+)	0,60 (+)	0,39 (+)	0,02 (+)	0,59 (+)
Cr	0,03 (-)	0,21 (+)	0,90 (-)	0,34 (-)	0,35 (+)	0,53 (-)
Cu	0,80 (-)	0,89 (+)	0,42 (+)	0,72 (+)	0,31 (+)	0,85 (-)
Ni	0,41 (-)	0,09 (+)	0,90 (-)	0,60 (+)	0,87 (+)	0,71 (-)
Pb	0,71 (-)	0,20 (+)	0,46 (-)	0,26 (-)	0,84 (+)	0,25 (+)
Zn	0,99 (+)	0,59 (+)	0,36 (+)	0,34 (+)	0,69 (+)	0,64 (+)

Tabell 10.

P-värden från linjär regression med 1, 3 och 6 ton granulerad aska som oberoende variabel. 242 Vindeln. Inom parentes anges tecknet för linjens riktningskoefficient

Ämne	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 7
Cd	0,13 (+)	0,40 (+)	0,55 (+)	0,86 (+)	0,11 (+)	0,44 (+)
Co	0,44 (-)	0,34 (-)	0,77 (-)	0,03 (-)	0,03 (-)	0,45 (-)
Cr	0,07 (+)	0,57 (-)	0,93 (-)	0,48 (-)	0,86 (+)	0,90 (+)
Cu	0,04 (+)	0,44 (+)	0,91 (-)	0,28 (+)	0,15 (+)	0,33 (+)
Ni	0,65 (+)	0,96 (+)	0,59 (-)	0,57 (-)	0,63 (-)	0,65 (+)
Pb	0,56 (-)	0,60 (+)	0,77 (+)	0,40 (+)	0,95 (-)	0,80 (+)
Zn	0,03 (+)	0,08 (+)	0,39 (+)	0,40 (+)	0,006 (+)	0,04 (+)

Tabell 11.

P-värden från linjär regression med 3, 6 och 9 ton krossaska som oberoende variabel. 250 Riddarhyttan. Inom parentes anges tecknet för linjens riktningskoefficient. Värdena från år 0 (före behandling) är utnyttjade som kovariat vid analyserna för år 1 och år 2

Ämne	År 0	År 1	År 2
Cd	0,25 (-)	0,70 (-)	0,32 (+)
Co	0,65 (+)	0,38 (+)	0,07 (+)
Cr	0,79 (-)	0,32 (+)	0,27 (+)
Cu	0,73 (-)	0,78 (-)	0,63 (-)
Ni	0,89 (+)	0,95 (-)	0,52 (+)
Pb	0,90 (-)	0,64 (-)	0,71 (-)
Zn	0,26 (-)	0,73 (-)	0,009 (+)

Diskussion

Variationen av de olika tungmetallernas koncentrationer i barren var för de flesta ämnen stor. Detta är inte förvånande, då det är visat att metallhalter i skogsväxter kan variera avsevärt även inom små ytor (Leinonen, 1989). Två respektive tre upprepningar (Torup och Vindeln resp. Riddarhyttan) av varje behandling är för lite för att kunna påvisa signifikanta skillnader mellan behandlingar. Trots bristen på upprepningar visar resultaten från denna studie ganska entydigt att barrrens koncentration av Cd och framförallt Zn ökade efter asktillförsel. Dessa höjningar gällde för såväl den lättlösliga krossaskan som för den granulerade askan, låga som höga givor.

Att just Cd och Zn utmärker sig är kanske inte så förvånande, då båda metallerna är relativt rörliga och lätt tas upp av växter (Jonsson, 1995). Huruvida den ökade tillgängligheten av dessa metaller är orsakad av tungmetallinnehållet i askan eller p.g.a. utbyteseffekter i marken är en fråga som ej kan besvaras av denna studie. Generellt sett låg tungmetallhalten lägre i försöksleden med kombinationen aska plus N, jämfört med samma askgiva utan N. En gödsling med 150 kg N, i form av Skog-Can, ger ett tillskott av drygt 500 kg lättlösliga salter. Detta tillskott av salter borde teoretiskt sett ytterligare ha bidragit till eventuella utbyteseffekter. Å andra sidan kan N-tillskottet ha medfört en utbyggnad av trädens barrmassa, vilket kan ha resulterat i en utspädningseffekt av tungmetallerna.

Askåterföring är ju föreslagen som en närings- och försurningskompenserande åtgärd efter uttag av trädrester. Om trädrester lämnas blir dess innehåll av tungmetaller också kvar. Jämförelser av askåterföring och kvarlämnande av trädrester på tungmetallers tillgänglighet kunde inte utföras i denna studie, men måste betraktas som en angelägen uppgift. Likaså måste den långsiktiga effekten av askåterföring på tungmetallers tillgänglighet, när pH-effekten har ebbat ut, bli föremål för fler studier.

Ökade tungmetallhalter i våra skogsträd efter askåterföring behöver inte enbart ses som någon negativ effekt. Så länge vi inte uppnår för trädet toxiska nivåer, kanske ett ökat upptag i träden kan minska riskerna för tungmetall-läckage till vattensystemet i samband med askåterföring. Å andra sidan kan ett ökat tungmetallupptag i träden initiera en anrikning i näringskedjan när trädförnan konsumeras. Om ambitionen är att avlasta den svenska skogsmarken från tungmetaller, och minska den i Sydsverige alltjämt pågående upplagringen av framförallt Cd, Pb och Hg, bör askan antingen renas från tungmetaller, alternativt ej återföras.

Tillkännagivanden

Studien finansierades av NUTEK's program "Uthållig produktion av biobränslen från skogsmark".

Referenser

- Bramryd, T. & Fransman, B. 1985. Utvärdering av äldre gödlings- och kalkningsförsök med torv- och vedaska i Finland och Sverige. Naturvårdsverket Rapport 1991. Stockholm. 60 s.
- Bååth, 1989. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water, Air and Soil Pollution* 47, 335-379.
- Eriksson, J. & Börjesson, P. 1991. Vedaska i skogen – en litteraturstudie. Vattenfall, FUD-Rapport U(B) 1991/46, Vällingby. 77 s.
- Eriksson, J. 1993. Karakterisering av vedaska. Vattenfall, FUD-Rapport U(B) 1992/48, Vällingby. 77 s.
- Jonsson, L. 1995. Tungmetaller i träd och energigrödor – en litteraturstudie Vattenfall, FUD-Rapport 1995/5, Vällingby. 30 s.
- Jönsson, O. & Nilsson, C. 1996. Aska från biobränslen. *KSLA's tidskrift* 135 (13), 25-36.
- Leinonen, K.P. 1989. The influence of soil preparation on the levels of aluminium, manganese, iron, copper, zink, cadmium and mercury in *Vaccinium myrtillus*. *Chemosphere* 18: 1581-1587.
- SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT™, Guide for personal computers, version 6, edition. Cary, NC: SAS Institute INC. 1028 s.
- Westling, O. & Orth, L. 1997. Tillförsel av aska och kalk i södra Sverige. Prel. rapport från projekt Skogskraft. Opubl. ms. IVL Aneboda. 40 s.

Bilaga 1:1

Tabell B1.

Tungmetallhalter i årsbarr i försöket 241Torup. Medelvärde av två upprepningar

	Försöksled	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
År 1	kontroll	0,078	0,099	0,283	3,45	1,78	8,20	29,35
	1 t aska	0,117	0,144	0,300	3,35	1,92	14,15	36,30
	3 t aska	0,089	0,114	0,262	3,15	1,17	8,23	35,20
	6 t aska	0,106	0,120	0,237	3,36	1,46	6,92	31,65
	3 t aska+N	0,096	0,112	0,207	3,36	1,37	4,50	35,10
År 2	kontroll	0,066	0,075	0,433	2,93	0,99	1,65	25,75
	1 t aska	0,098	0,087	0,476	3,34	0,87	1,34	32,60
	3 t aska	0,114	0,084	0,547	3,17	1,01	0,96	31,65
	6 t aska	0,091	0,101	0,522	3,21	1,32	4,51	31,50
	3 t aska+N	0,086	0,054	0,512	3,01	0,75	3,33	27,30
År 3	kontroll	0,071	0,046	0,531	2,47	1,25	2,90	23,95
	1 t aska	0,068	0,049	0,478	2,78	1,38	2,40	27,15
	3 t aska	0,062	0,053	0,469	2,48	1,38	2,10	23,85
	6 t aska	0,090	0,058	0,512	2,87	1,27	1,88	28,45
	3 t aska+N	0,088	0,068	0,446	2,73	0,91	2,70	32,25
År 4	kontroll	0,056	0,108	0,218	3,07	2,21	15,80	26,00
	1 t aska	0,071	0,142	0,203	3,14	1,76	19,25	38,70
	3 t aska	0,091	0,132	0,227	3,25	2,13	15,47	38,90
	6 t aska	0,095	0,140	0,183	3,16	2,23	2,91	36,25
	3 t aska+N	0,089	0,190	0,224	3,37	3,08	15,64	36,80
År 5	kontroll	0,074	0,110	0,213	3,41	2,44	7,31	34,15
	1 t aska	0,079	0,120	0,230	3,28	2,69	1,84	40,65
	3 t aska	0,085	0,120	0,223	3,31	2,30	5,90	41,95
	6 t aska	0,129	0,154	0,241	3,90	2,62	8,92	41,05
	3 t aska+N	0,127	0,133	0,231	3,63	1,99	21,87	49,25
År 7	kontroll	0,095	0,084	0,214	2,76	1,52	0,72	23,30
	1 t aska	0,107	0,089	0,200	2,65	1,62	0,73	30,80
	3 t aska	0,415	0,082	0,197	2,57	1,71	0,87	35,60
	6 t aska	0,123	0,091	0,186	2,69	1,50	0,84	29,60
	3 t aska+N	0,223	0,090	0,213	2,77	1,77	0,82	36,95

Bilaga 1:2

Tabell B2.

Tungmetallhalter i årsbarr i försöket 242 Vindeln. Medelvärde av två upprepningar

	Försöksled	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
År 1	kontroll	0,062	0,106	0,398	2,37	1,87	1,97	45,85
	1 t aska	0,098	0,088	0,418	2,71	2,76	1,31	45,85
	3 t aska	0,089	0,109	0,446	2,75	2,08	1,23	48,55
	6 t aska	0,134	0,081	0,475	3,03	2,71	1,07	56,85
	3 t aska+N	0,095	0,087	0,467	2,52	1,93	0,94	49,95
År 2	kontroll	0,070	0,125	0,447	2,90	1,67	3,11	42,45
	1 t aska	0,099	0,123	0,444	3,27	3,24	3,89	45,25
	3 t aska	0,090	0,087	0,442	3,32	1,96	5,45	48,75
	6 t aska	0,119	0,082	0,442	3,44	2,48	4,52	52,90
	3 t aska+N	0,101	0,086	0,457	2,96	2,25	4,57	42,40
År 3	kontroll	0,062	0,165	1,850	2,64	4,78	1,14	50,65
	1 t aska	0,053	0,119	2,005	2,50	5,23	2,11	43,95
	3 t aska	0,116	0,183	3,575	2,73	5,27	1,10	50,90
	6 t aska	0,082	0,109	1,505	2,53	3,87	1,85	52,40
	3 t aska+N	0,076	0,104	1,350	2,15	3,17	0,88	53,30
År 4	kontroll	0,084	0,221	0,255	2,65	2,90	5,21	42,90
	1 t aska	0,130	0,153	0,267	2,84	7,19	7,31	49,25
	3 t aska	0,090	0,136	0,267	2,47	3,19	10,21	50,80
	6 t aska	0,107	0,100	0,233	3,02	3,16	10,64	47,95
	3 t aska+N	0,086	0,135	0,233	2,23	3,49	13,50	48,05
År 5	kontroll	0,069	0,163	0,224	2,65	2,34	4,58	43,70
	1 t aska	0,098	0,143	0,256	2,63	7,24	5,68	44,95
	3 t aska	0,117	0,131	0,268	2,82	2,24	1,10	49,55
	6 t aska	0,115	0,099	0,236	2,90	2,72	5,36	50,75
	3 t aska+N	0,106	0,154	0,264	2,20	2,85	5,40	46,80
År 7	kontroll	0,089	0,198	0,255	2,74	3,75	9,10	56,05
	1 t aska	0,109	0,193	0,241	3,55	4,05	6,20	52,75
	3 t aska	0,110	0,141	0,429	2,92	2,82	29,33	59,15
	6 t aska	0,107	0,151	0,241	3,63	4,56	9,58	64,00
	3 t aska+N	0,086	0,137	0,242	2,30	3,19	2,81	57,40

Bilaga 1:3

Tabell B3.

Tungmetallhalter i årsbarr i försöket 250 Riddarhyttan. Medelvärde av tre upprepningar

	Försöksled	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
År 0	kontroll	0,200	0,159	0,282	3,49	2,18	1,02	52,33
	3 t krossaska	0,193	0,162	0,259	3,41	8,08	0,86	48,07
	6 t krossaska	0,178	0,170	0,273	3,45	9,53	1,17	46,50
	9 t krossaska	0,181	0,171	0,249	3,33	2,56	0,77	47,83
	3 t aska+150 kg N	0,140	0,150	0,257	3,27	2,44	1,05	49,60
	150 kg N	0,182	0,184	0,293	3,55	3,56	1,17	55,40
	3 t askpellets	0,195	0,183	0,288	3,73	10,62	1,19	52,90
År 1	kontroll	0,160	0,026	0,516	2,91	2,18	0,68	45,38
	3 t krossaska	0,194	0,009	0,512	2,90	2,17	1,27	51,04
	6 t krossaska	0,180	0,039	0,531	2,84	2,00	0,32	53,19
	9 t krossaska	0,150	0,043	0,541	2,87	2,20	1,28	46,84
	3 t aska+150 kg N	0,180	0,017	0,540	2,81	1,87	6,89	49,07
	150 kg N	0,195	0,031	0,583	2,85	5,21	0,16	48,88
	3 t askpellets	0,205	0,014	0,630	2,82	1,83	0,27	53,00
År 2	kontroll	0,175	0,032	0,590	2,95	1,54	0,97	47,36
	3 t krossaska	0,210	0,038	0,603	3,03	1,84	0,98	57,45
	6 t krossaska	0,191	0,043	0,668	2,77	1,33	0,69	57,84
	9 t krossaska	0,236	0,070	0,631	2,96	1,94	0,85	60,86
	3 t aska+150 kg N	0,207	0,039	0,433	3,28	1,53	0,76	53,84
	150 kg N	0,178	0,053	0,493	2,90	1,32	0,76	48,61
	3 t askpellets	0,186	0,033	0,581	2,88	1,38	0,82	51,62