



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Lakning av vedaska -en laboratoriestudie

Per-Erik Larsson och Olle Westling
B 1325
Aneboda, januari 1999

<p>Organisation/Organization Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning</p> <p>Adress/Address IVL Aneboda SE-360 30 LAMMHULT</p> <p>Telefonnr/Telephone 0472-26 20 75</p>	<p>RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary</p> <p>Projekttitel/Project title Lakning av vedaska</p> <p>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Skogsstyrelsen Ramprogram askåterföring (NUTEC, Vattenfall och Sydkraft)</p>
<p>Rapportförfattare, author Per-Erik Larsson och Olle Westling</p>	
<p>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Lakning av vedaska -en laboratoriestudie.</p>	
<p>Sammanfattning/Summary Nedfallande luftburna föroreningar av svavel och kväve över Sverige, i kombination med en hög skogsproduktionen leder till en minskning av markens förråd av baskatjoner och mikronäringsämnen genom utlakning och upptag i biomassa. Dessa förluster kan kompenseras till exempel genom spridning av vedaska, vilket innebär en återcirkulering av baskatjoner och näringsämnen. Eftersom olika askor har så skiftande egenskaper krävs praktiska och relativt enkla metoder för karakterisering som kan förutsäga effekterna efter spridning i skogen</p> <p>Denna studie beskriver en metod för lakning av vedaska som kan visa på ett troligt förlopp i fält avseende syraneutraliserande förmåga (ANC, acid neutralising capacity) och utlösning av näringsämnen. Den är också ett hjälpmedel vid utarbetandet av rutiner vid askproduktion så att slutprodukten har bästa möjliga egenskaper. Metoden bygger på upprepad lakning i laboratoriemiljö. Askans exponering för lakvätskan motsvarar flera decenniers nederbörd i fält.</p> <p>Med avseende på pH-höjande förmåga och ANC är askorna mer reaktiva i det korta perspektivet än kalkprodukterna. Mindre kornstorlek gav en större ANC. Kornstorleken hade mindre betydelse för askorna än för kalken. Askorna uppvisar varierande lakhastighet för olika näringsämnen. Kornstorleken har mindre betydelse för den totalt lakade mängden hos askorna än hos kalken.</p> <p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område, näringsgren eller vattendrag/Keywords Syraneutralisering, ANC, lakning, kretslopp, vedaska, skogsmark, skogsbränslen.</p> <p>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport B 1325</p> <p>Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Biblioteket, Box 21060, SE-100 31 Stockholm, Sweden</p>	

Innehåll

Sammanfattning	4
Summary	5
1. Förord	6
2. Bakgrund	7
2.1 Syfte med återföring av vedaska till skogsmark	7
2.2 Vedaskans egenskaper	9
2.3 Metoder för att karaktärisera askans egenskaper i skogsmark.....	11
3. Upprepad lakning av vedaskor	13
3.1 Syfte med metoden	13
3.2 Material och metoder	13
3.3 Resultat	14
3.4 Diskussion	19
4. Referenser	21

Sammanfattning

Nedfallande luftburna föroreningar av svavel och kväve över Sverige, i kombination med en hög skogsproduktionen leder till en minskning av markens förråd av baskatjoner och mikronäringsämnen genom utlakning och upptag i biomassa. Om markens tillskott via vittring och nedfall är mindre än förlusterna via läckage och skörd finns en risk att markens långsiktiga produktionsförmåga sjunker. Dessa förluster kan kompenseras på annat sätt, till exempel genom spridning av vedaska, vilket innebär en återcirkulering av baskatjoner och näringsämnen. Eftersom olika askor har så skiftande egenskaper krävs praktiska och relativt enkla metoder för karakterisering som kan förutsäga effekterna efter spridning i skogen.

En grundläggande karakterisering av en askprodukt bör bestå av:

- ♦ Kemisk analys av totalhalter av näringsämnen och spårämnen (inklusive tungmetaller).
- ♦ En analys som kan användas för att bedöma det långsiktiga utlakningsförloppet för närings- och syraneutraliserande ämnen, samt salter.
- ♦ Analys av askans textur och vattenhalt (kornstorleksfördelning, volymvikt).

Denna studie beskriver en metod för lakning av vedaska som kan visa på ett troligt förlopp i fält. Metodens syfte är att påvisa och beskriva variationen mellan olika askor avseende syraneutraliserande förmåga (ANC, acid neutralising capacity) och utlösning av näringsämnen. Den är också ett hjälpmedel vid utarbetandet av rutiner vid askproduktion så att slutprodukten har bästa möjliga egenskaper. Metoden beskriver indirekt det långsiktiga utlakningsförloppet med ett realistiskt förhållande mellan aska och lakvätska. Metoden bygger på upprepade lakning i laboratoriemiljö. Askans exponering för lakvätskan, med måttliga doser (1 till 4 ton per ha) av aska, motsvarar flera decenniers nederbörd i fält.

Lakningen utfördes genom att blanda aska eller kalk med en lakningsvätska bestående av avjoniserat vatten som justerats till pH 4,0 (blandningsförhållandet 1:2000). Lakningsvätskan dekanterades efter ett dygn och ny vätska tillsattes. Den dekanterade vätskan analyserades. Denna procedur med vätskebyte pågick i 30 dygn.

Med avseende på pH-höjande förmåga och ANC är askorna mer reaktiva i det korta perspektivet än kalkprodukterna. Mindre kornstorlek gav en större ANC. Kornstorleken hade mindre betydelse för askorna än för kalken. I lakningsstudien uppvisar askorna varierande lakhastighet för olika ämnen. Den lakade mängden från askor är i medeltal för Ca 79% (variation 45%-100%), Mg 53% (20-96), Mn 27% (12-41), Al 22% (0-60) och P 48% (20-76). Kornstorleken har mindre betydelse för den totalt lakade mängden hos askorna än hos kalken.

Summary

Deposition of acidifying compounds (sulphur and nitrogen) in combination with harvest of forest biomass leads to diminished amounts of exchangeable base cations, and micro nutrients in soil. Larger loss of base cations than contributions from weathering and deposition leads to diminished production capacity of the soil. This might be compensated by spreading of wood ash, thereby returning mineral nutrients to forest soils.

The purpose of this study was to illuminate variation between different wood ashes, with respect to acid neutralising capacity (ANC), base cations and mineral nutrient solubility. This has been done as a laboratory leach study. Leaching was made by mixing wood ash and distilled water, adjusted to pH 4.0 (ratio 1:2000). Leachate was poured off after 24 h and new solution added. Leachate was analysed. This procedure, with daily change of solution, continued for 30 days.

Concerning ANC, tested ash products were more reactive during short time tests than lime products. Rates of leaching varied between different substances in the ashes. Mean values for totally leached amounts from ashes were 79%, 53%, 27%, 22%, and 48% for Ca, Mg, Mn, Al and P, respectively. Particle size was less important for ANC and leached amounts from ashes than from lime products.

1. Förord

Denna studie initierades, och finansierades, först inom Skogsstyrelsens (SKS) storskaliga försök med kalkning och vitalisering av skogsmark. Ett behov uppstod att kunna förutsäga effekten av olika vedaskor i skogsmark så att akuta effekter orsakade av snabb löslighet kunde undvikas. Askor med mycket långsam lösning och bristfälligt näringsinnehåll samt syraneutraliserande förmåga var också angelägna att identifiera i förväg. Institutet för vatten- och Luftvårdsforskning (IVL) i Aneboda prövade därför lagningsmetoder på ett relativt stort antal vedaskor som var aktuella inom SKS försöksverksamhet. Frågan hur askornas egenskaper i fält skall kunna karakteriseras i förväg med praktiskt tillämpbara laboratoriemetoder är komplex. Behovet av karakterisering styrs av syftet med askåterföringen och vilka önskade egenskaper som skall kontrolleras i askan. Dessutom måste risken för skadliga effekter kunna bedömas genom kunskap om vedaskornas egenskaper.

Behovet av karakterisering av vedaskor har bland annat diskuterats på en workshop i Alvesta den 13 juni 1996 med deltagare från flertalet organisationer i landet som arbetar med studier av askåterföring till skogsmark. Resultat från diskussionerna, tillsammans med annan kunskap, utgör bakgrundsbeskrivningen i denna studie (avsnitt 2). Bakgrundsbeskrivningen analyserar syftet med att använda vedaska i skogsmark, och vilka konsekvenser det får för behovet av karakterisering. Ovanstående workshop, samt komplettering och utvärdering av den lagningsmetod som beskrivs i denna studie, finansierades av Ramprogram askåterföring (NUTEK, Vattenfall och Sydkraft).

2. Bakgrund

2.1 Syfte med återföring av vedaska till skogsmark

Huvudprincipen för extensivt skogsbruk, som i Sverige innebär skörd av stamved, är att utnyttja skogsmarkens "naturliga produktionsförmåga". Begreppet naturlig produktionsförmåga är svårt att exakt definiera, men det extensiva brukandet av skogen har skett utan att kompensera för biomasseuttagets effekt i form av näringsförluster från ståndorten. Intensiv markanvändning, som huvuddelen av jordbruket, förutsätter att markerna gödslas regelbundet med en rad näringsämnen för att upprätthålla produktionen på en ekonomiskt acceptabel nivå.

Kväve, som långsiktigt tillförs endast från atmosfäriskt nedfall (och i de flesta skogstyper även marginellt från kvävefixering), är normalt begränsande för skogens tillväxt på fastmark. Andra näringsämnen som baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium), fosfor och olika spårämnen finns då i överskott, och förluster vid skörd kompenseras av naturliga processer som vittring och atmosfäriskt nedfall i ett extensivt skogsbruk. Tillförsel av näringsämnen till fastmark i stor skala har i Sverige endast skett med det tillväxtbegränsande ämnet kväve, med syfte att öka produktionen av stamved.

På senare år har den långsiktiga hållbarheten av svenskt skogsbruk, med avseende på hushållningen av näringsämnen, ifrågasatts (Olsson, 1996). Flera faktorer har bidragit till att förlusterna av näringsämnen från skogsmarken har ökat under 1900-talet:

- ♦ Volymproduktionen per ytenhet har ökat på grund av förbättrad skogsskötsel och i vissa områden stort nedfall av kväve från luften.
- ♦ Nedfallet av försurande luftföroreningar har orsakat en onormalt stor utlakning av näringsämnen från skogsmarken i en stor del av landet.
- ♦ Även om hela den årliga volymtillväxten inte avverkas i Sverige så har skogsbruket blivit mer intensivt i många områden, främst i samband med uttag av skogsbränslen där relativt näringsrika avverkningsrester skördas.

I områden i Sverige där främst de två första punkterna ovan kombineras har skogsmarken förändrats kraftigt under 1900-talet. Markerna har försurats och basmättnadsgraden har minskat påtagligt (Eriksson, 1992). I många fall har mineraljordens övre skikt förlorat hälften av det utbytbara förrådet av baskatjoner. Denna utveckling är dock inte dokumenterad i stora delar av Norrland.

Försurningen av skogsmarken har effekter på skogsekosystemet i sig, men även grund- och ytvatten. I rinnande vatten och sjöar påträffas de tydligaste biologiska effekterna av skogsmarkens och avrinningsvattnets försurning (Bernes, 1991). Även skogsekosystemet har påverkats. I fält är det dock svårt att i nuläget visa att trädens (främst gran) tillväxt och vitalitet är påverkad av graden av markförsurning (Örlander m. fl., 1994). Nedfall av kväve kan förändra markvegetationen, även om det finns flera faktorer som inverkar (till exempel betestryck från rådjur). Trots svårigheten att visa på alla effekter av försurning och av näringsobalans i skogsmarken är åtgärder för att minska problemen högt prioriterade i Sverige. Flera nationella miljömål har formulerats, där skogsbruk inklusive biobränsleuttag och askåterföring kan påverka miljötilståndet:

- ♦ *Klimatpåverkande gaser.* Målet är att internationellt och nationellt begränsa de av människan orsakade klimatförändringarna till en nivå som inte skadar människan och naturen.
- ♦ *Försurning av mark och vatten.* Målet är att nedfallet av försurande luftföroreningar begränsas till nivåer som inte skadar naturen och människors hälsa. Försurade miljöer skall behandlas så att naturen kan återhämta sig.
- ♦ *Övergödning av mark och vatten.* Målet är att naturligt förekommande arter i havs- och vattenområden skall kunna bevaras i livskraftiga balanserade populationer. Föroreningar skall inte begränsa användningen av vatten från sjöar och vattendrag som vattentäkt.
- ♦ *Nyttjande av mark och vatten som produktions- och försörjningsresurs.* Målet är att nyttjande av marken och vattnet skall karaktäriseras av långsiktig hushållning.

Ersättning av fossila bränslen är nödvändigt för att minska utsläppen av klimatpåverkande gaser. Skogsproduktionen erbjuder en stor tillgång till biobränslen, utöver stamveden, som är värdefulla ur miljösynpunkt. Uttag av skogsbränslen innebär i praktiken ett mer eller mindre konsekvent helträdsutnyttjande (ovan mark) där trädets olika delar blir olika produkter. De samlade näringsförlusterna vid avverkning måste kompenseras med markens vittring och tillskott via nedfall för att balans skall upprätthållas. Beräkningar baserade på vittring och borttransport vid avverkning visar att nettoförluster kan uppträda på all skogsmark, oavsett näringsstatus och trädslag, i samband med helträdsutnyttjande (Olsson, 1996). Störst risk för nettoförluster av framför allt baskatjoner och fosfor finns efter avverkningar i bördiga granbestånd i södra Sverige. Dessa bestånd är ofta av stort intresse för biobränsleuttag (uttag av grenar och toppar i samband med avverkning) utöver skörd av stamved.

Nedfallet av baskatjoner har beräknats till samma storleksordning som vittringen (Westling m. fl., 1997). Om tillskottet via vittring och nedfall är mindre än förlusterna i form av upp- tag/avverkning samt utlakning finns en risk att markens långsiktiga produktionsförmåga sjunker och mark och vatten försuras. Detta är speciellt allvarligt i områden som redan har en kraftig försurning och där en återhämtning är nödvändig för att undvika försurningsskador. Samtidigt kan ett ökat uttag av avverkningsrester vara ett sätt att minska uppbyggnaden av onormala kväveförråd i marken och undvika kraftig utlakning i hyggesfasen (Olsson m.fl., 1996, Örlander m.fl., 1997). Gödsling med vedaska efter skogsbränsleuttag kan motiveras av flera skäl:

- ♦ Som kompensation av förluster av baskatjoner, fosfor och spårämnen efter avverkning för att bibehålla markens nuvarande näringsstatus. Askan innehåller dessa näringsämnen i tämligen likartade proportioner som de föreligger i bortförda grenar och toppar (som kan eldas och ge upphov till vedaska). Om barren lämnas kvar spridda på hygget minskar kompensationsbehovet. Askstillförseln kan komma att kombineras med kvävegödsling i norra Sverige. Stamvedsuttaget kan kompenseras genom nedfall från luften och markens vittring.
- ♦ Som en åtgärd för att förbättra marktillståndet i områden med hög belastning av försurande luftföroreningar (svavel och kväve), genom att minska kväveförråden och öka basmättnadsgraden och på så sätt påskynda återhämtningsförloppet. Uttag av grenar och toppar utöver stamved kompenseras med vedaska och kalk eller andra syraneutraliserande produkter. En viss överdos av näringsämnen kan ges i dessa fall som kompensation för näringsförluster på grund av försurningen. I en storskalig verksamhet förutsätter detta att det i försurade områden finns tillgång till aska som kommer från andra regioner. Skogsstyrelsen bedriver sedan mitten av 1990-talet storskaliga försök med vedaska blandad med krossad kalk som vitaliseringsmedel.

- ♦ Som ett led i tillämpningen av kretsloppsprincipen. Vedaska återförs till skogsmarken för att storskaligt cirkulera näringsämnen och undvika att näringsrika avfall koncentreras i deponier.

Behovet av kompensationsgödsling efter uttag av avverkningsrester har utretts i en MKB (Egnell m. fl., 1998). MKBn konstaterar att det finns ett långsiktigt behov att kompensera på de flesta marker om nettoförluster av baskatjoner och andra näringsämnen skall undvikas. Den produkt som ligger närmast till hands för kompensationsgödsling är aska från skogsbränslen. Skogsstyrelsen har efter MKBn meddelat allmänna råd om uttag av skogsbränslen och kompensationsgödsling. Av råden framgår att kompensationsgödsling med i första hand vedaska är lämpligt eller nödvändigt i många fall. Frågan är om aska som står till förfogande alltid har de egenskaper som krävs för att uppfylla målen med olika gödslingsåtgärder?

2.2 Vedaskans egenskaper

Den ökande produktionen av energi från skogsbränslen (trä- och barkflis) i Sverige innebär att en allt större mängd vedaska kommer att produceras vid värmeverken och skogsindustrierna. Denna aska utgör en resurs med tanke på dess innehåll av näringsämnen och pH-höjande förmåga. De viktiga vanliga ämnena är kalcium, kalium och magnesium som träden tagit upp. Kvävehalten är låg eftersom kväve avgår vid förbränningen. Vedaskor från kommunala värmeverk och skogsindustrier är inte någon homogen produkt. Olika bränslen, förbränningsteknik och efterbehandling av askan kan ge stora variationer i löslighet, syraneutraliserande förmåga, näringsinnehåll samt förekomst av tungmetaller och andra miljögifter.

Lös aska som inte behandlats på något sätt efter förbränning är i regel mycket reaktiv och lättlöslig vilket gör den olämplig att använda av flera skäl (miljöeffekter, arbetsmiljö och teknisk hantering). Därför har ett omfattande utvecklingsarbete utförts för att på olika sätt stabilisera askan och minska upplösningshastigheten (Nilsson, 1993). Det gör att näringstillförseln till skogsmarken sprids ut under en längre tid, samt att akuta effekter på vegetation och andra organismer undviks. Även hantering av askan såsom lagring, transport och spridning ställer motsvarande krav; askan måste vara stabiliserad till exempel genom härdning. Härdningen påskyndas med vattentillsats och resulterar i kemiska reaktioner som är beroende av ett antal faktorer såsom andel oförbränd aska, vattenhalt, slaggmängd och kemisk sammansättning av askan. Processen leder till att askan bildar mer eller mindre hårda klumpar som kan krossas till önskad storlek. Askan kan även granuleras eller kompakteras till lämplig partikelstorlek för att kunna hanteras och minska upplösningshastigheten

Risken för skadliga effekter av asktillförsel är i hög grad förknippad med användning av lös ohärdad aska, eller blandaskor med inblandning från andra bränslen än rent skogsbränsle. Risker som är uppenbara är akuta effekter på vegetation, påverkan på markorganismer av initialt hög salthalt och pH-värden, snabb utlakning av askans näringsämnen, stimulering av nitrifikation och kväveläckage, samt tillförsel av tillgängliga tungmetaller (Lundborg & Nohrstedt, 1995). Om syftet är att långsiktigt kompensera för bortförsel av näringsämnen från skogsmarken vid ett tillfälle under en skogsgeneration är det en fördel om utlösningen av närings- och syraneutraliserande ämnen sker under en längre tid, i synnerhet om återföringen sker på hygien eller i ungskog. Askans självhärdning gör att olika ämnen löses ut i olika takt.

Exempel på lättlösliga ämnen, även efter härdning, är kalium, svavel och klorid. Exempel på svårlösligare ämnen är fosfor och vissa tungmetaller.

Sannolikt är de optimala utlösningsegenskaperna hos en stabiliserad vedaska en kompromiss för att under en skogsgeneration få ut huvuddelen av näringsinnehållet, utan en för snabb tillförsel den första tiden efter spridning i skogen. Askans effekter i skogsmarken skall i första hand jämföras med alternativet att toppar och grenar inte tas ut ur skogen. Det kvarlämnade riset har normalt en ”komposteffekt” på underliggande mark och näringsämnen och tungmetaller frigörs med olika hastighet från avverkningsresterna (vilket även sker med askan).

Önskade effekter av askåterföring är främst:

- ♦ att bidra till en långsiktigt vital skog.
- ♦ att bidra till att avrinnande vatten har en acceptabel kvalitet för organismer nedströms.
- ♦ att motverka utarmning av markens näringsförråd under en skogsgeneration.

Oönskade effekter är:

- ♦ Akuta chockeffekter på växter och andra organismer orsakade av snabba och kraftiga ökning av pH eller salthalt.
- ♦ Skadliga nivåer av tungmetaller i fauna, flora och mark.
- ♦ Stimulering av nitrifikation och kväveläckage (mer än vad kvarlämnade grenar och toppar normalt orsakar).

Kunskapsläget om vilka egenskaper hos askan som krävs för att den skall göra avsedd verkan i skogen baseras på de senaste årens forskning, som har sammanställts av Lundborg & Nohrstedt (1995). De identifierar vissa frågor som fortfarande är ganska oklara:

- ♦ Den härdade askans upplösning på lång sikt.
- ♦ Hur aska “skräddarsys” till för ståndorten optimal upplösningshastighet.
- ♦ Hur/om härdad aska kan spridas i slutavverkningskog, eller skog på mark med hög nitratutlakning, eller sumpskogar.
- ♦ Hur faunan, både lägre (till exempel insekter) och högre, påverkas.

Till detta kan läggas brist på kunskap om eventuella miljörisker med att återföra aska till mer eller mindre färska hyggen, vilket kan vara praktiskt att göra när spridningen är enkel och maskiner är på plats (till exempel i samband med markberedning). Ovanstående frågor kan endast besvaras med erfarenheter från långsiktiga försök, men sannolikt har lakningsegenskaperna hos den behandlade aska som skall spridas i skogen avgörande betydelse för effekterna. I begreppet lakningsegenskaper ligger inte enbart hur stor andel av olika ämnen som är lakbara, utan även förloppet (i vilken takt olika ämnen frigörs från askan) efter spridning i skogen. Det är därför viktigt att veta vilka egenskaper hos askan som styr dess framtida effekter på marken och vilka metoder som skall användas för att karaktärisera askor. Eftersom olika askor har så skiftande egenskaper krävs praktiska och relativt enkla karakteriseringsmetoder för att kunna pröva många varianter. Sammanfattningsvis skall en karakterisering kunna användas för att ange följande egenskaper hos askan:

- ♦ Syraneutralisering som långsiktigt kan kompensera för biomassauttagets markförsurande effekt.
- ♦ Näringstillförsel på lång sikt.
- ♦ Föroreningsgraden och frigörelsehastighet av tungmetaller och andra miljöstörande ämnen.
- ♦ En form som möjliggör hantering av askan.

En rutinmässig karakterisering av vedaska som skall återföras skall ge ett underlag för att bedöma lämpligheten med avseende på hela systemet; ekologi, lagring, transport och spridning. En grundläggande karakterisering av en askprodukt bör bestå av:

- ♦ Kemisk analys av totalhalter av näringsämnen och spårämnen (inklusive tungmetaller).
- ♦ Bedömning av det långsiktiga utlakningsförloppet för närings- och syraneutraliserande ämnen, salter samt i vissa fall tungmetaller.
- ♦ Analys av askans textur och vattenhalt (kornstorleksfördelning, volymvikt).

Vid återkommande driftkontroll används i första hand analys av totalhalter. Övriga moment upprepas främst om bränsletyp eller driftförhållanden ändras väsentligt. Analys av produktens textur bör utföras före och efter lagring för att bedöma stabiliteten.

Med tiden kommer sannolikt undersökningar av askans egenskaper ge underlag för generaliseringar och beräkningsmetoder för askans egenskaper som utgår från bränsletyp och förbränningsprocess. Detta minskar behovet av lakförsök och andra metoder för kemisk karakterisering i framtiden.

2.3 Metoder för att karaktärisera askans egenskaper i skogsmark

Kemisk analys av totalhalter har syftet att visa vad som är potentiellt lakbart efter mycket lång tid (flera skogsgenerationer) av önskade och oönskade ämnen i askan. Som försiktighetsprincip bör hela mängden tungmetaller i askan betraktas som potentiellt lakbar vid fastställande av rikt- och gränsvärden. Risken för att en stor del av tungmetallinnehållet lakas ut under kort tid (mindre än ett år) får med dagens kunskap om askans kemiska egenskaper betraktas som relativt liten. Risken för akuta effekter av kraftiga haltökningar är sannolikt förknippat med jonbytseffekter i marken där salter från askan tränger ut lättlösliga och redan befintliga tungmetalljoner (främst kadmium) från markpartiklarna.

Totalanalys har utförts på olika sätt, vanligast är högtemperaturbehandling med ett smältmedel (ofta litiummetaborat) eller uppslutning i starksyra. Högtemperaturbehandling med smältmedel ger ofta något högre halter av vissa ämnen, jämfört med starksyrauppslutning som är en upplösning av icke silikatbundna mineraler. Det är dock oklart om den del som starksyrauppslutningen inte frigör någonsin kan vittra, när askan är utlagd i skogen. Sannolikt består den ytterst svårvittrade delen av askan ofta av sand och grus som följt med bränslet.

Analysen kan även omfatta olika extraktioner som ger en "lättlöslig" eller "växttillgänglig" fraktion av askans ämnesinnehåll. "Lättlöslig" eller "växttillgänglig" fraktion har analyserats med hjälp av enbart destillerat vatten, kraftigt utspädd starksyra samt organisk syra (ättiksyra som skall efterlikna humusskiktets påverkan genom organiska syror). Syftet med analysen har oftast varit att försöka kvantifiera hur mycket av olika ämnen som kan lösa ut på kort sikt (upp till 1-2 år).

Beskrivning av det långsiktiga utlakningsförloppet för närings- och syraneutraliserande ämnen samt salter kan ske under lång tid med fältliknande förhållanden i jordkolonner eller med undertryckslysimetrar i fält. En laboratoriemetod som kan tillämpas på ett stort antal asktyper till rimliga kostnader är upprepad lakning med destillerat vatten, pH-justerat till cirka nederbördens pH. En tillämpning av den senare metoden beskrivs i avsnitt 3. En metod med upprepad

lakning, med ett realistiskt förhållande mellan aska och lakvätska, fyller funktionen att beskriva ett långsiktigt utlakningsförlopp för olika ämnen som visar om utlakningen är jämn över tiden (risk för att olika ämnen tillförs för fort eller långsamt) eller kraftig och kortvarig (risk för akuta effekter). Tillsammans med en totalanalys kan även den lakbara andelen bestämmas (andelen som troligen är tillgänglig under en skogsgeneration. Att översätta resultat från lakstudier till långsiktiga förhållanden i fält är inte okomplicerat, men pågående försök där askan är karakteriserad med upprepad lakning kan på sikt öka kunskapen. Olika askor kan dessutom jämföras inbördes och med olika ask- och kalkprodukter där egenskaper i fält är relativt välkända.

Upprepad lakning som karakteriseringsmetod lämpar sig bäst för att beskriva utlakningsförloppet för baskatjoner och salter samt syraneutraliserande förmåga, även om det är möjligt att studera även tungmetaller och andra spårämnen.

På grund av tungmetallernas relativt långsamma utlakning, och de stora krav som ställs på försöksutförandet (extremt renhet och låga detektionsgränser vid analys m.m.) är det inte realistiskt att utföra rutinmässiga studier av lakningsförlopp av tungmetaller. Detta under förutsättning att rikt- och gränsvärden för totala mängden tungmetaller i askan underskrids.

Analys av askans textur och vattenhalt har utförts med olika siktningsmetoder som kan indelas i torrsiktning och våtsiktning. Analysen ger viktig information för bedömningar av spridbarhet, eventuella dammningsproblem och arbetsmiljörisker. Dessutom ger analysen kompletterande information för att bedöma utlakningsegenskaperna.

3. Upprepad lakning av vedaskor

3.1 Syfte med metoden

Syftet med metoden är att påvisa och beskriva variationen mellan olika askor avseende "kalkeffekten" eller syraneutraliserande förmåga (ANC, acid neutralising capacity) och utlösning av näringsämnen. Detta har genomförts i lakningsstudier i laboratoriemiljö. Stor vikt har lagts vid att efterlikna det långsamma förlopp som sker i naturen. Metoden kan användas för att rangordna askor och ge riktlinjer för dosering vid spridning av aska på skogsmark samt att finna askor med riskabelt snabb utlösning och pH-höjande effekt. Den är också ett hjälpmedel vid utarbetandet av rutiner vid askproduktion så att slutprodukten får bästa möjliga egenskaper.

3.2 Material och metoder

Tolv vedaskor (A) och tre kalkprodukter (K) insamlades för att användas i lakningsstudien. Askprodukterna kommer från värmeverk och industrier med olika förbränningsteknik och råvaror (flygaska, bottenaska, CFB aska). Produktionsbetingelserna är inte kända i detalj för varje aska. Kalkprodukterna ingick i studien som jämförelsematerial till askorna och är kommersiella produkter som bland annat används vid skogskalkning. Upplösning och effekter av kalk har studerats i kontrollerade fältförsök (Staaf et al. 1996), (Larsson & Westling 1997).

Lakningen utfördes genom att 0,1 g av askan eller kalken och 200 ml lakningsvätska (avjoniserat H₂O pH 4,0) blandades i en 250 ml E-kolv. Kolvarna placerades på skakbord med en horisontell rotation av 2 cm diameter och 2 varv per sekund. Askan eller kalkens rörelse i lakningsvätskan var mycket långsam. Lakningsvätskan dekanterades efter ett dygn och ny vätska tillsattes. Den dekanterade vätskan analyserades. Denna procedur med vätskebyte pågick i 30 dygn. Lakningsproceduren utfördes med tre replikat för varje produkt. Analys gjordes på samlingprov av lakvätskan från de tre upprepningarna. Analysen omfattade pH, Ca, Mg, Mn, tot-Al, tot-P och syraneutraliserande förmåga (ANC). pH bestämdes elektrometriskt. Ca, Mg, Mn och Al analyserades med ICP-AES (EPA 200.7 och 200.8 mod.). P analyserades spektrofotometriskt (SS028127-2). ANC analyserades genom återtitrering till pH 4,0 med 0,01 M HCl. Resultatet redovisas som mmol HCl. Ask- och kalkprodukternas totalinnehåll analyserades avseende oxider av S, Al, Si, Fe, Ti, Mn, Mg, Ca, Ba, Na, K och P och redovisas som rena element. S analyserades genom högtemperaturförbränning (SP 0658), och övriga element med ICP-teknik (SP 0510).

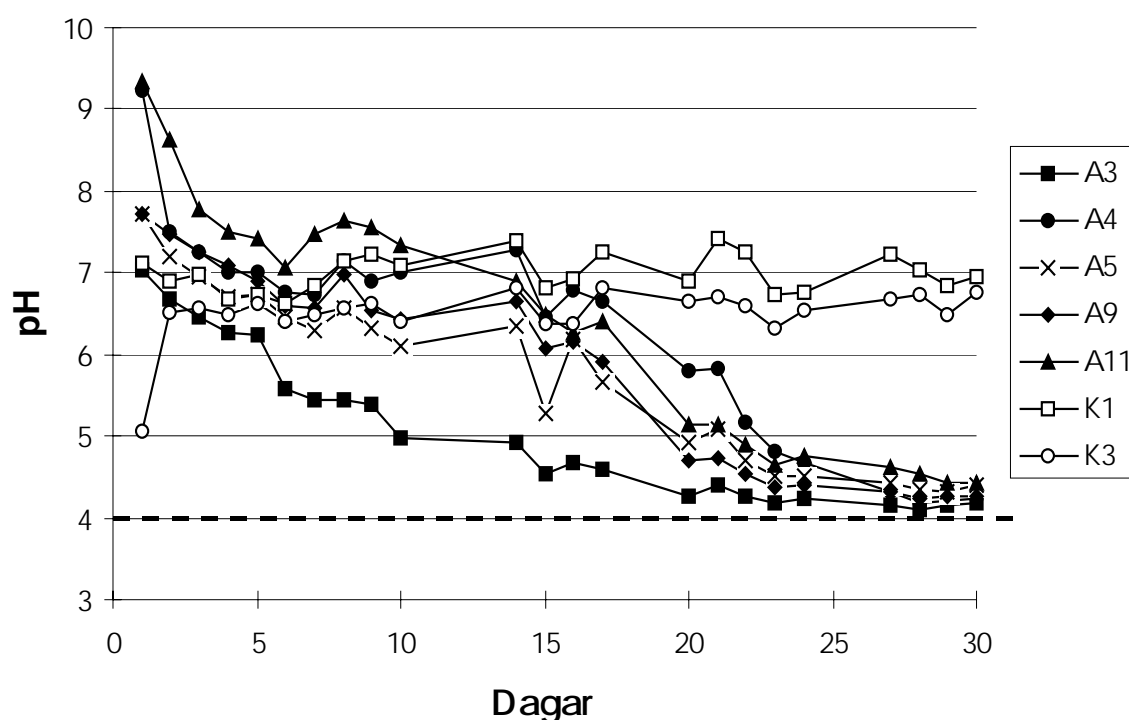
För att standardisera ask- och kalkprodukterna avseende kornstorlek vätsiktades dessa. I laktesten användes fraktionerna 0,15-0,5 mm och 0,5-1,4 mm. Lakningsvätskans pH-värde är valt för att efterlikna "naturligt" regn- och markvatten. Förhållandet mellan produkt och lakningsvätska (1:2000) medför ett avklingande förlopp av analyserade halter för flera tänkbara produkter inom acceptabel tidsrymd. Förhållandet skall också avspegla en lång tidsperiod i naturen med svaga syror och stora mängder nederbörd. Förhållandet motsvarar teoretiskt en tidsperiod av 60 år vid en dos av 3 ton per ha skogsmark och en nederbördsmängd av 600 mm per år, varav 50 % avdunstar från trädkronorna.

3.3 Resultat

I resultatredovisningen nedan presenteras i figur 1, 2 och 4 ett urval av askor och kalkprodukter. Urvalet är gjort för att visa exempel på de skillnader som finns bland askor. I tabellerna ingår alla testade produkter. I figureerna ingår följande produkttyper:

- Bottenaska A3, A5
- Flygaska A4, A11
- CFB-aska A9
- Kalksten K1
- Dolomitkalk K3

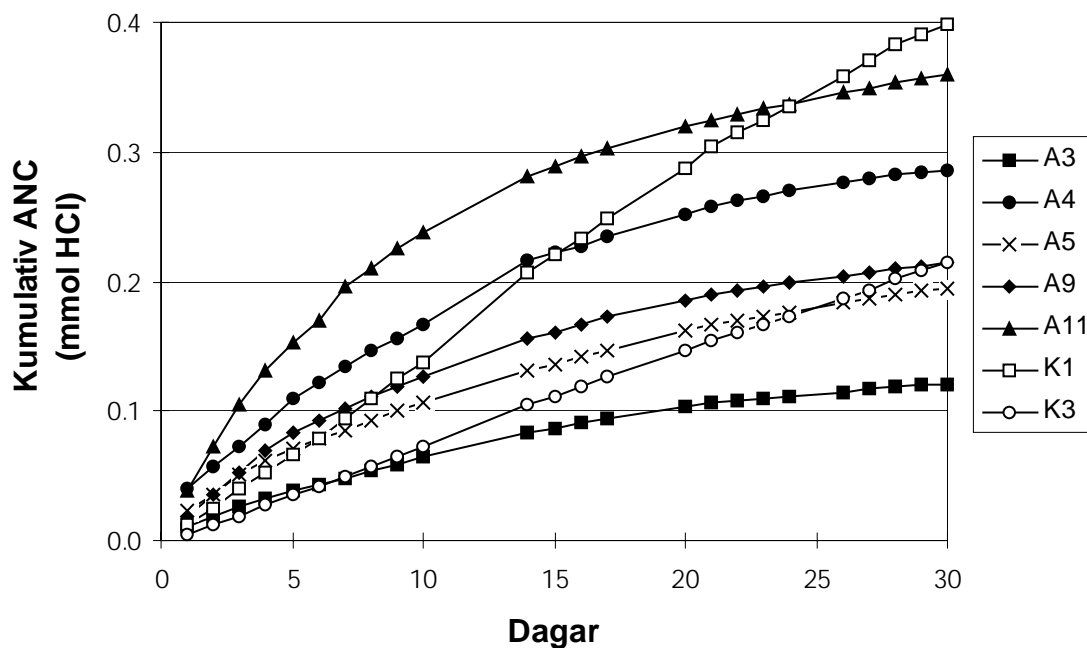
Med avseende på pH-höjande förmåga och ANC är askorna mer reaktiva i det korta perspektivet än kalkprodukterna. Samtliga testade askor har ett likartat förlopp med höga pH-värden i början av perioden. Denna förmåga avtar starkt efter halva lakningsperioden (15 dagar) medan kalkprodukterna har en pH-höjande effekt under hela perioden, figur 1.



Figur 1. pH-värde i lakvätska från askor (A) och kalk (K) under 30 dagars försöksperiod. Kornstorlek 0,15-0,5 mm. Prickad linje anger ursprungligt pH-värde på lakvätskan (pH 4,0).

Figure 1. Leachate pH from wood ashes (A) and lime products (K) during 30 days experiments. Fraction size 0.15-0.5 mm. The dotted line indicates the initial value of the extraction liquid (pH 4.0).

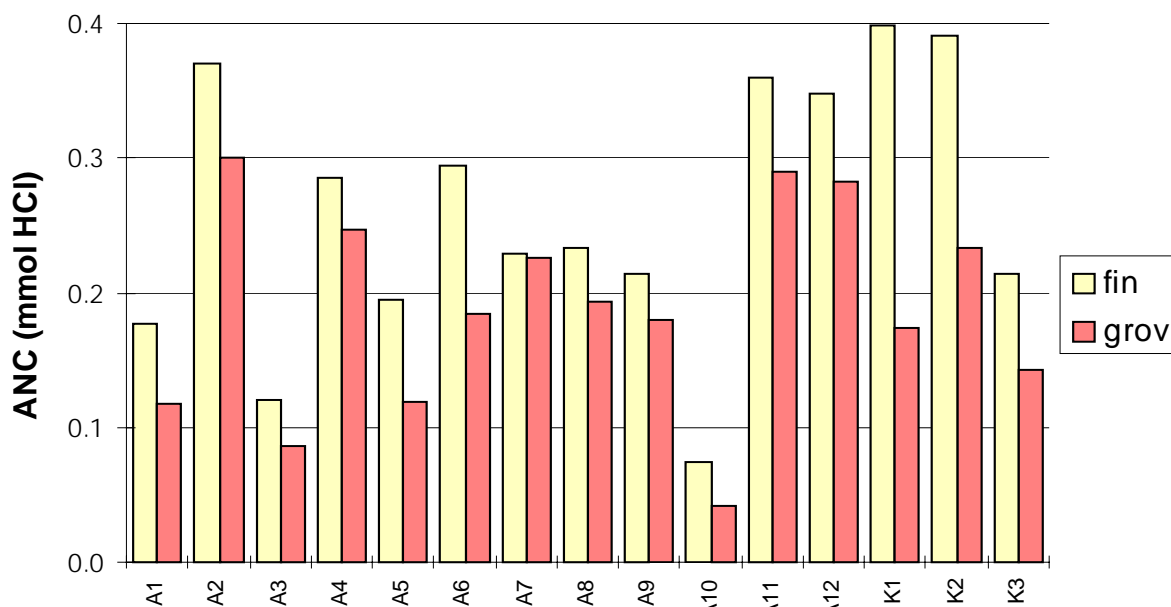
Askornas "kalkeffekt" anges som kumulativ ANC, det vill säga att syranutraliserande förmågan summeras för varje dag under försöksperioden. Förändringar under perioden för ett urval askor redovisas i figur 2. I figur 2 har askorna A3 och A11 lägst (0,12 mmol HCl) respektive högst (0,36 mmol HCl) ANC.



Figur 2. Kumulativ syraneutraliserande förmåga (ANC) hos några askor (A) och kalkprodukter (K).
 Figure 2. Cumulative ANC (acid neutralising capacity) of wood ashes (A) and lime products (K).

Mindre kornstorlek gav en större ANC. Kornstorleken hade dock mindre betydelse för askorna än för kalken. I genomsnitt var skillnaden mellan kornstorlekarna 0,05 mmol för askorna och 0,15 mmol för kalkprodukterna. ANC för grov- och finkorniga askor var i medeltal 0,19 (intervall 0,04-0,30) respektive 0,24 (0,08-0,37) mmol HCl och 0,18 (0,14-0,23) respektive 0,33 (0,21-0,40) mmol HCl för kalkprodukterna. Den totala kalkverkan under perioden för samtliga preparat och två kornstorlekar redovisas i figur 3.

De ask och kalkprodukter som ingick i studien analyserades på totalhalter av olika ämnen. Resultaten redovisas i tabell 1. Innehållet domineras av Ca som dock varierar mycket mellan askorna. Ca-halten är högre i kalken än i askorna medan Al och P är högre i askorna. Mg-halten är högst i dolomitkalken (K3) och aska (A1) som är uppblandad med Mg-haltig kalk.



Figur 3. Total syranneutraliserande förmåga (ANC) för alla testade askor (A) och kalkprodukter (K). Kornstorlek: 0,15-0,5 mm (fin) och 0,5-1,4 mm (grov).

Figure 3. Total ANC (acid neutralising capacity) for all tested wood ashes (A) and lime products (K). Particle size; 0.15-0.5 (fine) and 0.5-1.4 mm (coarse).

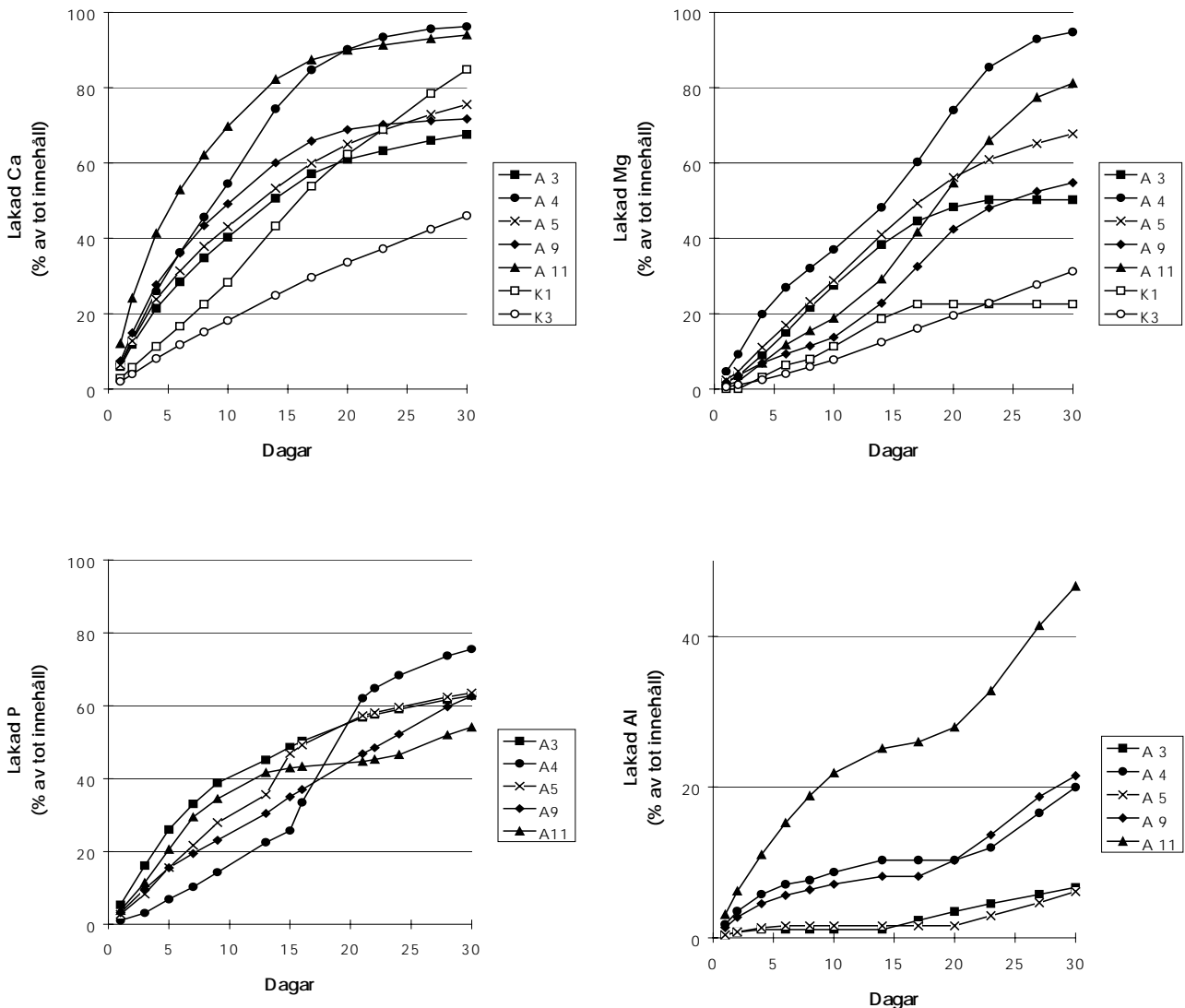
Tabell 1. Totalinnehåll (% torr vikt) i alla testade askor (A) och kalkprodukter (K).

Table 1. Total content (% dry weight) of all tested wood ashes (A) and lime products (K).

	Ca	Mg	Na	K	Mn	Al	P	S	Si	Fe	Ti
A 1	13.72	5.55	1.42	2.74	0.34	3.17	0.27	0.08	16.78	1.71	0.20
A 2	21.80	1.69	0.43	1.16	0.44	2.39	0.27	1.52	8.74	0.76	0.24
A 3	8.29	1.40	2.33	4.83	0.86	4.81	0.63	0.07	26.83	3.39	0.27
A 4	16.44	1.81	1.14	2.62	1.42	2.25	0.97	0.57	9.16	1.17	0.09
A 5	12.58	1.76	2.20	4.22	1.22	4.62	0.76	0.03	22.25	1.69	0.16
A 6	24.51	0.90	0.51	2.37	0.51	2.37	0.40	0.59	11.27	1.11	0.11
A 7	16.51	1.44	1.11	4.56	0.91	3.21	0.79	0.51	19.03	1.25	0.10
A 8	15.29	1.60	0.96	4.03	1.05	3.07	0.89	0.64	18.89	1.34	0.12
A 9	16.72	1.60	1.02	2.31	0.70	4.06	0.83	2.80	12.29	2.35	2.13
A 10	7.29	1.21	2.60	4.00	0.49	5.45	0.42	0.06	28.42	2.72	0.36
A 11	21.87	1.85	0.36	1.00	0.46	2.58	0.30	1.26	10.47	0.80	0.19
A 12	21.80	1.82	0.33	0.85	0.49	2.39	0.28	1.53	8.93	0.76	0.15
K1	32.59	0.49	0.00	0.76	0.14	1.51	0.04	0.68	4.31	1.04	0.08
K2	32.02	1.68	0.00	0.49	0.02	0.21	0.05	0.08	5.47	0.05	0.02
K3	20.87	11.22	0.10	0.75	0.11	0.66	0.02	0.00	4.24	0.70	0.01
Medel A	16.40	1.55*	1.20	2.89	0.74	3.36	0.57	0.81	16.09	1.59	0.34
Medel K	28.49	4.46**	0.03	0.66	0.09	0.79	0.04	0.25	4.67	0.59	0.04

* exklusive A1, blandad med Mg-rik kalk
 ** inklusive K3, Mg-rik dolomit

I lakningsstudien uppvisar askorna varierande lakhastighet för olika ämnen. Lakningens förlopp av Ca, Mg, Al och P från några askor ock kalksorter framgår av figur 4. Ca lakas relativt snabbt redan från första dagen och utlakningen avtar efter halva försöksperioden. Utlakningen av Mg och Al uppvisar ett annat lakningsförlopp med ökande mängder efter ca halva försöksperioden. Utlakningsförloppet av P skiljer mellan olika askor och båda beskrivna förloppen förekommer.



Figur 4. Lakningsförlopp av Ca, Mg, P och Al från askor (A) och kalkprodukter (K).

Figure 4. Leaching development of Ca, Mg, P, and Al from wood ashes (A) and lime products (K).

Den totala mängden som lakats framgår av tabell 2 och tabell 3. I tabell 2 anges den lakade mängden som procent av totala innehållet i askan och i tabell 3 som g/kg aska (torrvikt). Den lakade mängden från askor är i medeltal för Ca 79% (variation 45%-100%), Mg 53% (20-96), Mn 27% (12-41), Al 22% (0-60) och P 48% (20-76). Kornstorleken har mindre betydelse för den totalt lakade mängden hos askorna än hos kalken.

Tabell 2. Lakad mängd (% av totala innehållet) i alla testade askor (A) och kalkprodukter (K). Al och P är inte beräknade för kalkprodukter p.g.a. halter under detektionsgräns. Kornstorlek: 0,15-0,5 mm (fin) och 0,5-1,4 mm (grov).

Table 2. Leached amount (% of total content) in all tested wood ashes (A) and lime products (K). Al and P are not calculated for lime products. Fraction size: 0.15-0.5 mm (fine) and 0.5-1.4 (coarse).

	Ca		Mg		Mn		Al		P	
	fin	grov	fin	grov	fin	grov	fin	grov	fin	grov
A1	56	46	50	28	27	26	0	11	31	33
A2	100	99	75	62	33	34	41	49	38	43
A3	68	65	50	31	41	23	7	7	63	37
A4	96	98	96	76	26	29	20	40	76	70
A5	76	57	68	36	31	20	6	9	64	33
A6	81	58	45	25	22	12	2	14	66	20
A7	77	94	60	47	29	22	14	19	67	53
A8	91	92	62	40	20	13	16	13	74	57
A9	72	86	55	37	25	22	22	22	63	48
A10	45	45	31	20	34	18	4	6	34	25
A11	94	98	82	67	37	40	47	60	54	40
A12	95	96	77	54	30	32	48	45	41	38
K1	85	43	23	45	44	30				
K2	89	55	56	36	72	53				
K3	46	35	31	19	42	25				
Medel A	79		53		27		22		48	
Medel K	59		35		44					

Tabell 3. Lakad mängd (g/kg torrsvikt) i alla testade askor (A) och kalkprodukter (K). Al och P är inte beräknade för kalkprodukter p.g.a. halter under detektionsgräns. Kornstorlek: 0,15-0,5 mm (fin) och 0,5-1,4 mm (grov).

Table 3. Leached amount (g/kg dry weight) in all tested wood ashes (A) and lime products (K). Al and P are not calculated for lime products. Fraction size: 0.15-0.5 mm (fine) and 0.5-1.4 (coarse).

	Ca		Mg		Mn		Al		P	
	fin	grov	fin	grov	fin	grov	fin	grov	fin	grov
A1	77	63	28	15	1	1	0	4	1	1
A2	218	216	13	11	1	2	10	12	1	1
A3	56	54	7	4	3	2	3	3	4	2
A4	158	162	17	14	4	4	5	9	7	7
A5	95	72	12	6	4	2	3	4	5	2
A6	198	143	4	2	1	1	0	3	3	1
A7	127	156	9	7	3	2	5	6	5	4
A8	139	140	10	6	2	1	5	4	7	5
A9	120	144	9	6	2	2	9	9	5	4
A10	33	33	4	2	2	1	2	3	1	1
A11	206	215	15	12	2	2	12	15	2	1
A12	207	210	14	10	1	2	11	11	1	1
K1	278	141	1	2	1	0				
K2	286	176	9	6	0	0	<			
K3	96	73	35	22	0	0	<			
Medel A	129		8		2		7		3	
Medel K	168		16		0					

* exklusive A1, blandad med Mg-rik kalk

**inklusive K3, Mg-rik dolomit

3.4 Diskussion

Av resultaten framgår att de testade askorna är olika med avseende på syraneutraliserande förmåga (ANC), totalt näringsinnehåll och potentiellt lakbara mängder av dessa ämnen under kort och lång tid. Lakningsförloppet är också olika. Hos några askor (A4, A9 and A11) ökar utlakningen av Mg, Al och P efter en längre tids lakning (figur 4). Denna förändrade löslighet kan bero på förändrade förhållanden runt och i askpartiklarna eftersom den sammanfaller med att askans pH-höjande förmåga kraftigt avtar (figur 1). Gemensamt för dessa askor är också att de är producerade under sådana förhållanden att de utgör flyg- eller CFB-askor (cirkulerande fluidiserande bädd)

Resultaten från totalt lakbara mängder av Ca, Mg och P överensstämmer väl med gjorda kolonnstudier (Eriksson, 1996). Krossade askor studerades i kolonner med skogsjord under lakning med artificiellt surt regnvatten motsvarande 5 års nederbörd. Studien pågick i 5 månader och den hydrologiska belastningen under den perioden motsvarar 5 dygn i denna lakstudie. Den lakbara mängden i kolonnförsöket var för: Ca cirka 50%, Mg 20-25% och P 15-20%. Detta överensstämmer relativt väl med resultaten efter 5 dygn i denna lakstudie (figur 4).

Lakförsöken med aska visar att kornstorleken har mindre betydelse både för syraneutraliserande förmåga och för utlösningshastigheten av näringsämnen, jämfört med kalk. De testade intervallen 0,15-0,5 och 0,5-1,4 mm utgör tillsammans i medeltal drygt 50% av de testade produkterna så fenomenet är värt att beakta vid utarbetande av rutiner för krossning och eventuell pellettering eller annan efterbehandling av askan. Syraneutraliserande förmåga och utlösningshastigheten kan inte styras i samma grad som vid användning av kalk

Denna studie har visat att en relativt stor andel av flertalet askors näringsinnehåll är lakbart med endast pH-justerat vatten. Vid spridning på skogsmark kan reaktioner ske som både ökar och minskar lösligheten av olika ämnen. När askan är spridd på skogsmarken exponeras den för koldioxid som på grund av normala nedbrytningsprocesser i marken kan vara förhöjd vid markskiktet. Den aska som vid lagring före spridning inte karbonatiseras, det vill säga att kalcium-oxid och -hydroxid inte övergår till kalciumkarbonat, kan efter spridning karbonatiseras genom upptag av koldioxid och då övergå till den stabila mineralet kalcit. Detta kan leda till att Ca urlakas långsammare. Bildningen av kalcit leder också till en sönderdelning av askkornen, på grund av att denna kristallstruktur har större volym, vilken kan leda till att andra ämnen till exempel salterna K och Cl urlakas snabbare (Steenari m.fl., 1997). I fält kan ytterligare processer tillkomma som ökar vittringen av askkornen, till exempel frostsprängning och mykorrhizans aktivitet (Lundborg & Nohrstedt, 1995), liksom påverkan från humussyror. Processer som minskar askans vittring i fält, jämfört med lakförsök i laboratorium, är tänkbara, till exempel komplexbindning med Fe på askkornens yta. Jämförelser mellan lakstudier i laboratorium och fältförsök kan i framtiden visa på lakningsmetodernas precision.

Vid lakningen har blandningsförhållandet efter vikt varit 1:2000 (aska:lakningsmedel). Vid en jämförelse med andra lakningsmetoder är detta en liten del aska i en stor mängd lakningsmedel. Blandningsförhållandet ger dock möjligheter till att följa ett flertal ämnen under ett lakningsförlopp med avtagande koncentrationer inom en rimlig försöksperiod. Försöksperioden om 30 dagar motsvarar ca 60 år i fält eller en halv till en skogsgeneration. Mycket lösliga ämnen, till exempel K, når dock med detta blandningsförhållande snabbt låga koncentrationer, under konventionella metoders detektionsgräns, vilket gör att utlakningsförloppet inte kunnat bestämmas i denna studie.

Lakningsmetoden i denna studie kan sannolikt utvecklas ytterligare, främst genom att öka mängden aska vid lakningen och att fastställa ett optimalt blandningsförhållande mellan aska och lakvätska. Det kan ge detekterbara halter av till exempel K, utan att övriga ämnen (till exempel Ca och Mg) har konstant höga halter under hela försöksperioden. Den lilla mängden aska (0,1 g) är vald av praktiska skäl för att kunna genomföra större serier av lakningar med "standardutrustning" (200 ml lakvätska). Nackdelen med en liten mängd aska är att det leder till svårigheter vid uttag av representativa prov från större aggregat såsom granuler och pellets.

Lakningsmetoden ger möjlighet till att följa lakningsförloppet under en längre tid, dels för att bestämma grundegenskaper hos askan, och dels för att bedöma ekologiska effekter. Detta är viktiga moment när produkter utvecklas för att spridas i naturen. Ofta är det värdefullt med långtidsverkande produkter. Vilka parametrar, till exempel typ av bränsle och förbrännings-teknik bestämmer askans egenskaper? Vilka förutsättningar ger lämplig aska för vitaliserings-åtgärder i skogsmark? Kan askans kvalitet förbättras med efterbehandling? För att besvara dessa frågor är lakningsstudier i kombination med fältförsök som påbörjats ett nödvändigt komplement till totalanalyser av askans innehåll.

4. Referenser

- Bernes C., 1991. Försurning och Kalkning av svenska vatten. Naturvårdsverket, Monitor 12. Solna.
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. & Örlander, G. (1998) Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen Rapport 1:1998. Jönköping.
- Eriksson E., Karlton E. & Lundmark J.-E. 1992. Acidification of Forest Soils in Sweden. *Ambio* 21: 150-154.
- Eriksson J. 1996. Härdade vedaskors upplösning i skogsjord. En studie i kolonnförsök. Ramprogram askåterföring, R 1996:50. ISSN 1102-2574. Stockholm.
- Larsson P-E. & Westling O. 1997. Ytvatten i kalkade avrinningsområden. Årsrapport 1996. Effekttuppföljning av Skogsstyrelsens program för kalkning och vitaliseringsgödsling av skogsmark. IVL, Rapport B 1279, Aneboda.
- Lundborg A. & Nohrstedt H.-Ö. 1995. Effekter av askspridning i skogen. Rapport till NUTEK 1995-09-15. Stockholm.
- Nilsson A. 1993. Tekniker för behandling av aska. Ramprogram askåterföring, R 1993:42. Stockholm.
- Olsson M. 1996. Långsiktiga näringsbalanser vid uttag av skogsbränsle i Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. KSLAT, 135:13, s. 37-44. ISSN 0023-5350. Stockholm.
- Olsson B.A., Staaf H., Lundkvist H., Bengtsson J. & Rosén K. 1996. Carbon & nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling & harvests of different intensity. *Forest Ecol. Manag.* 82: 19-32.
- Staaf H., Persson T. & Bertills U. 1996. Skogsmarkkalkning. Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet. Naturvårdsverket, Rapport 4559. ISSN 0282-7298.
- Steenari B-M., Marsic N., Karlsson L-G., Tomsic A. & Lindqvist O. 1997. Partikelstorlekens inverkan på upplösningen av härdad träaska - Simulering i laboratorieförsök samt modellering av kinetiken för upplösningen. Manuskript för publicering inom Ramprogram askåterföring.
- Westling O., Lång L.-O. & Lövblad G. 1997. Massbalansberäkningar i skogsmark i Göteborgs och Bohus län samt Älvsborgs län. Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, Publikation 1997:16. ISSN 1104-487X.
- Örlander G., Westling O. & Petersson P. 1994. Markvattnets innehåll av baskatjoner och aluminium och dess påverkan på tillväxt och kådflöde i kraftigt försurad granskog. IVL, Rapport B 1155, Aneboda.
- Örlander G., Langvall O., Petersson P. & Westling O. 1997. Arealförluster av näringsämnen efter riståkt och markberedning på sydsvenska hyggen. Slutrapport till NUTEK. SLU, Asa.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbete för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forsknings- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie).

IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden.

IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt.

IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsserie registreras i IVLs A-serie.

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 20 75
Fax: +46 472 26 20 04