

Översättning av resultat från  
asklagningsförsök i laboratorium  
till fältförhållanden

Olle Westling & Per-Erik Larsson  
B1660  
Januari 2006

<b>Organisation</b> IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>Rapportsammanfattning</b>
<b>Adress</b> Box 5302 400 14 Göteborg	<b>Projekttitel</b>
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	<b>Anslagsgivare för projektet</b> Energimyndigheten
<b>Rapportförfattare</b> Olle Westling Per-Erik Larsson	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Översättning av resultat från asklakningsförsök i laboratorium till fältförhållanden	
<b>Sammanfattning</b> Utlakningen av olika ämnen från krossade och pelleterade trädaskor aktuella för askåterföring till skogsmark har undersökts genom fält och laboratoriemässiga lakningsförsök. Syftet med projektet var att förbättra bedömningen av olika askors långsiktiga uppträdande i skogsmark baserat på laboratoriestudier av utlakning. Lakning i fält respektive i laboratorium rangordnade produkterna med avseende på relativ utlakning av olika ämnen på ett likartat sätt. Generellt var överensstämmelsen relativt god för summa baskatjoner, kalcium, natrium och kalium, men inte för magnesium. Utlakningen uppmätt i fält var betydligt högre för magnesium för alla produkter, jämfört med laboratorielakningen. Studierna av en vals pelleterad produkt indikerar egenskaper som gör att den uppträder annorlunda i fält jämfört med laboratorium, genom en något högre utlakningstakt i fält. En krossad aska som lagrats ca 10 år efter härdning och med sannolik inblandning av returpapper i ursprungsbränslet gav avvikande resultat, främst genom en relativt låg syraneutraliserande förmåga i förhållande till vikt förlusten, indikerad genom upprepad lakning i laboratorium. Experiment med utlakning i fält av askor och kalk utan och med närvaro av trädens mykorrhiza visade inte några signifikanta skillnader i utlakningshastighet.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> Trädaska, kalk, mykorrhiza, pH, ANC, karakterisering, lakning, skogsmark, kompensationsgödning	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B1660	
<b>Rapporten beställs via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Rapporten godkänd  
2006-02-21



Peringe Grennfelt  
Forskningschef

## Sammanfattning

Utlakningen av olika ämnen från krossade och pelleterade trädaskor som är aktuella för askåterföring till skogsmark har undersökts genom lakningsförsök i både fält och i laboratorium. Möjligheterna att "översätta" resultat från en rutinmässig lakningsmetod i laboratorium till lakningen i fält med mycket mer komplexa förhållanden som påverkar vittringen av askorna beskrivs i rapporten. Syftet med projektet är att förbättra bedömningen av olika askors långsiktiga uppträdande i skogsmark baserat på laboratoriestudier av utlakning. Studien utfördes med anslag från Energimyndigheten inom programmet "Biobränslen och miljön".

Upprepad lakning i *laboratorium* av tre askor och en kalksort med pH-justerad (ca 4,0) lakvätska visade att den uppmätta viktförlusten efter 30 lakningar korrelerade väl med den ackumulerade syraneutraliserande förmågan, men undantag för en asktyp. Efter 30 upprepade lakningar i laboratorium, som simulerar en knapp skogsgeneration, var den upplösta andelen av askorna som högst 35 %, och för kalk 20 %, vilket indikerar att tiden för vittring, och därmed behandlingseffekten, av produkterna är lång. Även viktförlusten i fält efter 30 månader var för askorna 8 till 22 %.

Utlakningen i *fält* under 30 månader visade varierande mönster för olika ämnen men spridningen mellan upprepningarna (de olika påsarna med samma produkt) var relativt liten. Kalciumutlakningen ökade till en början men klingade sedan av, i motsats till magnesium som utlakades relativt linjärt. Kaliumutlakningen var snabb och en relativt stor andel av den ursprungliga mängden (35 till 40 %) utlakades redan efter sex månader. Utlakning i fält från askorna av fosfor varierade starkt mellan provtagningstillfällena. Efter 12 månader noterades ett upptag av fosfor, övriga tre provtagningstillfällen visade på en utlakning.

Experiment med utlakning i fält av askor och kalk utan och med närvaro av trädens mykorrhiza visade inte några signifikanta skillnader i utlakningshastighet för de undersökta ämnena. Lakning i fält respektive i laboratorium rangordnade produkterna med avseende på relativ utlakning av olika ämnen på ett likartat sätt. Generellt var överensstämmelsen relativt god för summa baskatjoner, kalcium, natrium och kalium, men inte för magnesium. Utlakningen uppmätt i fält var betydligt högre för magnesium för alla produkter, jämfört med laboratorielakningen.

Studierna av en vals pelleterad produkt indikerar egenskaper som gör att den uppträder annorlunda i fält jämfört med laboratorium, genom en något högre utlakningstakt i fält. En krossad aska som lagrats ca 10 år efter härdning och med sannolik inblandning av returpapper i ursprungsbränslet gav avvikande resultat, främst genom en relativt låg syraneutraliserande förmåga i förhållande till viktförlusten, indikerad genom upprepad lakning i laboratorium.

## Summary

The leaching of different elements from stabilised wood ash used for recycling of nutrients to forest soil was investigated and compared in both laboratory and field experiments. The aim was to evaluate if a simplified laboratory method can be used to describe the leaching in field conditions in a realistic way. The study was financed by the Swedish Energy Agency.

The laboratory leaching study was performed by mixing wood ash and distilled water, adjusted to pH 4.2. The leachate was poured off after 24 h and new solution added. The leachate was analysed for pH, acid neutralising capacity and base cations. This procedure, with daily change of solution, continued for 30 days, simulating almost the time of a forest rotation (60 years). The field study used wood ash in litter bags placed under the humus layer in a spruce forest with and without contact with mycorrhiza. Litterbags were removed and analysed after 6, 12, 18 and 30 months. The leaching of wood ash and crushed limestone were also compared in both the laboratory and the field study.

The weight loss of wood ash and limestone after 30 days in the laboratory study (simulating a forest rotation) varied between 20 and 35%, indicating a very long time for complete weathering. The weight loss in the field study after 30 months (8-22%) also indicated a long weathering time.

The leaching of wood ash during the 30-month field experiment showed a variation in the leaching pattern for different elements. The leaching of calcium increased in the beginning of the study, followed by a decrease. The leaching of magnesium was relatively linear in contrast to potassium, with a fast leaching of 35 to 40% of the original content after 6 months.

The experiment with leaching of wood ash and crushed limestone during field conditions with and without contact with mycorrhiza showed no significant differences between the treatments. The comparison between laboratory and field leaching generally showed that the different methods describe the leaching rate of base cations in a similar way for different wood ash and limestone products. Magnesium was one exception with higher leaching rate in the field experiment in comparison to the laboratory leaching.

Based on this study, the laboratory leaching test can provide useful information for development of sustainable methods to compensate for nutrient loss, by recycling of wood ash, after harvest of forest fuels.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Summary .....	2
1 Bakgrund.....	4
2 Projektets syfte.....	6
3 Metoder.....	6
3.1 Askprodukter.....	6
3.2 Lakning i laboratorieförsök .....	7
3.3 Fältförsök .....	7
3.4 Kemisk analys.....	10
4 Resultat och diskussion .....	11
4.5 Lakning i laboratoriet .....	11
4.5.1 Viktförlust och syraneutraliserande förmåga .....	11
4.5.2 Baskatjoner .....	12
4.6 Lakning i fält.....	13
4.6.1 Effekt av avskärmning.....	13
4.6.2 Viktförlust.....	15
4.6.3 Baskatjoner och fosfor.....	16
4.7 Markvatten i fältförsöket .....	18
4.8 Jämförelse mellan laboratoriet och fält .....	19
5 Sammanfattande slutsatser.....	21
6 Referenser.....	22

# 1 Bakgrund

En karakterisering av vedaska som skall återföras till skogsmark skall ge ett underlag för att bedöma lämpligheten med avseende på hela systemet; ekologi, härdning, lagring, transport och spridning. En grundläggande karakterisering av en askprodukt bör bestå av analys av askans kornstorlek och vattenhalt, kemisk analys av totalhalter av näringsämnen och spårämnen samt en bedömning av det långsiktiga utlakningsförloppet för närings- och syraneutraliserande ämnen.

IVL har utvecklat en laboratiemetod som omfattar upprepad lakning med destillerat vatten, pH-justerat till cirka nederbördens pH (Larsson & Westling, 1998). 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). Metoden har blivit väl etablerad vid utveckling av olika askprodukter i Sverige. Värmeverk, sågverk och skogsindustrier har utformat olika stabiliseringsmetoder med hjälp av resultat från IVLs lakningsstudier.

Eftersom lakningsmetoden i många fall har kommit att bli styrande för utformningen av askprodukter som skall spridas i skogen är det angeläget att utveckla möjligheterna att översätta resultaten från laboratiestudien till fältförhållanden. Under fältförhållanden tillkommer flera faktorer som påverkar askans upplösning som inte finns i laboratiemiljö. Det är i dagsläget svårt att bedöma nettoeffekten av dessa faktorer och hur lakning i fält eventuellt skiljer sig från upprepad lakning i laboratorium.

Upprepad lakning i laboratiemiljö 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 (Larsson & Westling 1999). 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.

Upprepad lakning i laboratiemiljö är ett sätt att efterlikna det långsamma förlopp som sker i naturen. Vid lakningen har blandningsförhållandet efter vikt oftast varit 1:2000 (aska:lakningsmedel). Vid en jämförelse med andra lakningsmetoder är detta en liten del aska i en stor mängd lakningsmedel. Blandningsförhållandet ger möjligheter till att följa ett flertal ämnen under ett lakningsförlopp med avtagande koncentrationer inom en rimlig försöksperiod. Försöksperioden om 30 dagar motsvarar teoretiskt ca 60 år i fält, eller en halv till en skogsgeneration, räknat som tillförd vattenmängd.

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.

Efter tillämpning av metoden framgår att askor 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 ökar utlakningen av magnesium, aluminium och fosfor efter en längre tids lakning.

Resultaten från totalt lakbara mängder av kalcium, magnesium och fosfor med upprepad lakning 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 lakningsstudie. Den lakbara mängden i försöket var för: kalcium cirka 50 %, magnesium 20-25 % och fosfor 15-20 %.

Metoden med upprepad lakning 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 kalciumoxid och -hydroxid inte övergår till kalciumkarbonat, kan efter spridning karbonatiseras genom upptag av koldioxid och då övergå till det stabila mineralet kalcit. Detta kan leda till att kalcium 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 kalium och klorid urlakas snabbare (Steenari m.fl., 1997).

I fält kan ytterligare processer tillkomma som ökar vittringen av askkornen, till exempel frostsprängning och mykorrhizas aktivitet (Lundborg & Nohrstedt, 1995), liksom påverkan från humussyror. Tänkbara processer som kan minska askans vittring i fält, jämfört med lakförsök i laboratorium, är till exempel komplexbindning med järn på askkornens yta.

Upplösning och effekter av trädaskor har studerats under fältförhållanden (se till exempel Lindqvist, 1998 och Egnell m. fl., 1999), men inte på ett sätt som gör det möjligt att jämföra upprepad lakning i laboratorium med samma aska i fält. Flera av de undersökta askorna i tidigare fältstudier är dessutom stabiliserade med metoder som inte är aktuella idag. Det gäller främst granulerad aska (stora och mycket hårda granuler ca 0,5 – 1,5 cm) som undersökts genom att det är möjligt att samla in och undersöka granulerna efter några år i fält. De undersökningarna visade att kalium och sulfat löstes ut snabbast ur askan (Börjesson, 1992). För dessa två ämnen kan mer än hälften av totalfraktionen lösas ut inom ett par- tre år från granulerad aska. Samma förhållande gäller för natrium och klorid.

Fosfor hade en mycket låg lakbarhet enligt Börjesson (1992). I askan var pH-värdet från början mycket högt och fosfor har då en låg löslighet. Av den lätt extraherbara fraktionen (1 M ammoniumacetat pH 7) som fanns i nya granuler löstes huvuddelen av de flesta näringsämnen, utom fosfor, ut ur granulerna under ett par- tre år i fält. I undersökningen jämfördes granulernas upplösning under lite olika förhållanden i fält: slutet respektive öppet bestånd, och mossa respektive gräsvegetation. Dessa förhållanden hade mycket liten betydelse.

Av naturliga skäl är det svårt att samla in krossaskor efter flera år i fält och försök med syfte att beskriva upplösning i fält har därför utförts i substrat som jordkolonner i laboratorium (Eriksson, 1996) som tidigare nämnts. I försöket ingick även att påsar med aska plockades bort vid några olika tillfällen för bestämning av viktförlust. Askornas viktförlust var störst under den första månaden. Viktförlusten i försöksledet med förna och mår var 10-30 % och varierade med askans ursprung och kornstorlek. Den finare fraktionen hade tre gånger större viktförlust än den grövre. Askornas viktförlust var mindre i frånvaro av förna och mår.

## 2 Projektets syfte

Syftet med projektet är att förbättra bedömningen av olika askors långsiktiga uppträdande i skogsmark baserat på laboratoriestudier av utlakning som jämförs med fältundersökningar med samma askprodukter. Kunskapen efter genomfört projektet kan förbättra möjligheterna att ge konkreta råd vid utvecklingen av metoder för hantering och behandling av askor som skall spridas på skogsmark.

## 3 Metoder

Askorna har karakteriserats med upprepade lakning i laboratorium och samma askor användes i fältförsöket där upplösningen i fält studerades. Fältförsöket utformades så att de olika ask- och kalkprodukterna inneslöts i små nylonvävspåsar med måtten 10x10 cm<sup>2</sup>. Påsarna placerades i övre delen av humusskiktet i försöksytor i granskog. Tyget till påsarna lakades före användning för att undvika kontaminering och tvättvattnet kontrollerades med avseende på de ämnen som ingick i studien.

För att studera utlakningseffekter där trädens mykorrhiza och rotupptag inte ingår är hälften av försöksytorna placerade på markområden som avskärmats vertikalt med en plastmatta. Samtliga försöksled har fyra upprepningar. I varje försöksyta placeras 15 påsar vilket säkerställer att det finns påsar att skörda under lång tid. Påsar från samtliga försöksled samlades in 6, 12, 18, 24, och 30 månader efter försöksstart (juli 2001) för kemisk analys och bestämning av viktförlust. Markvatten undersöktes i provytor med och utan avskärmning främst med syftet att studera om avsaknaden av rotupptag resulterade i ökad utlakning av nitrat, vilken kan ge en försurningseffekt i marken som teoretiskt kan påverka vittringen av påförd aska och kalk.

### 3.1 Askprodukter

I projektet ingår tre ask- och en kalkprodukt. Askorna representerar olika utlakningsegenskaper som erhållits i lakteter i laboratorium:

Snabb utlakning	krossaska
Långsam utlakning	krossaska
Långsam utlakning	pellets

Krossad kalksten (CaCO<sub>3</sub>) utgör en "lakningreferens" eftersom den i laboratoriestudier visat sig ha en relativt jämn och långvarig upplösning. Urvalet av askor som ingår i studien har gjorts utifrån erfarenheter av tidigare laboratorietester, fältförsök och produktionsförhållanden.

De askor som ingick i studien var:



**Dos kross:** "Perstorpaska". Askan ingår i ett dosförsök inom Asa försökspark som startade 1993, samfinansierat av Skogsstyrelsen och IVLs forskningsmedel.

**Veab kross:** Aska producerad av Växjö Energi AB under vintern 1999-2000 och därefter vattenbegjutning och lagrad i hög.

**Pellets:** I pelleten ingår endast aska och vatten, inga bindemedel eller restprodukter. Askan producerades under perioden maj-juli 1999. Ursprungsmaterial eldades i Frövi och askan valspletterades i Frövi. Pelleten låg ute under presenning för härdning i Frövi under perioden juli-september 1999. Askpelleten sikts och lagrades därefter i plastsäckar. Askan har använts i spridnings- och i fältförsök av SkogForsk under september-oktober 1999.

Den kemiska sammansättningen hos askorna och kalken före försökets start framgår av tabell 1. De olika askorna hade relativt likartat innehåll av olika ämnen, men Veab krossaska hade något högre kaliumhalt. Hög halt av titan noterades i "dos krossaska", vilket indikerar att det fanns ett betydande inslag av bestruken kartong (titanoxid ingår i vit bestrykningsfärg) i bränslet. Till skillnad mot övriga askor var "dos krossaska" lagrad i ca 10 år efter det att den användes i försök första gången. Kalken hade låga halter av analyserade ämnen förutom kalcium.

Tabell 1. Kemisk sammansättning av askor och kalk före försökets start (% av TS).

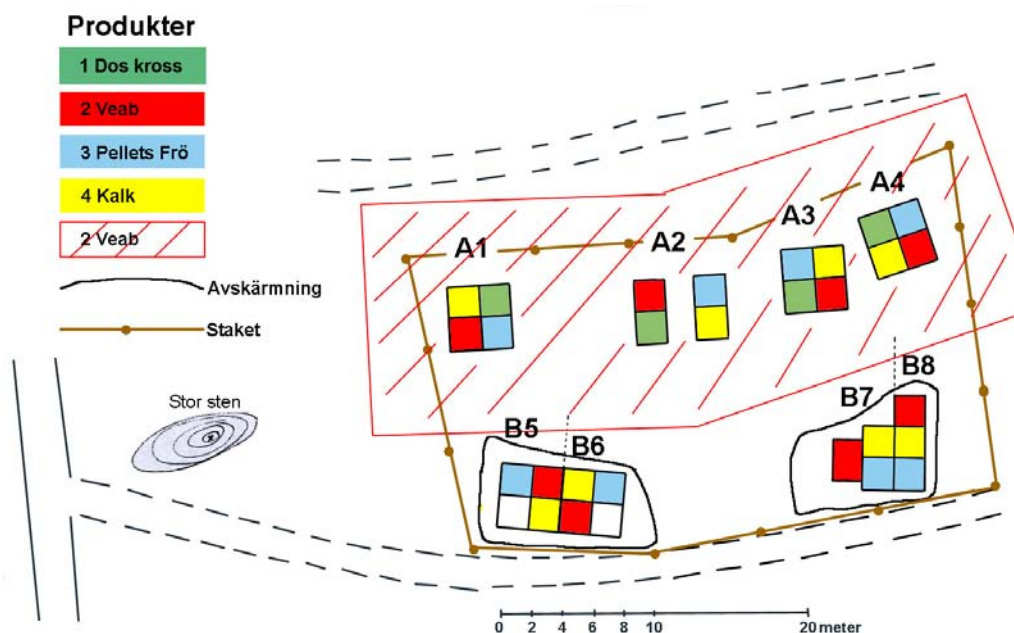
Produkt	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al	P	Ti
Dos kross	15.62	2.07	1.18	2.47	2.66	0.66	4.35	0.83	3.3
Veab kross	16.65	1.96	1.32	4.28	1.82	1.10	3.16	0.94	0.1
Pellets	15.01	1.53	1.16	3.36	1.50	0.56	5.77	0.77	1.1
Kalk	35.13	0.35	<0,06	0.40	0.78	0.12	0.84	0.04	0.0

## 3.2 Lakning i laboratorieförsök

Laboratorieförsöken utgörs av en lakningsprocedur där ask- och kalkprodukterna lakas med en lakvätska upprepade gånger. Lakningen utfördes genom att 2 g av askan eller kalken och 2000 ml lakningsvätska (avjoniserat H<sub>2</sub>O, pH 4,0) blandades i en 2000 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 dygns skakning och ny vätska tillsattes i motsvarande mängd som ovan. Den dekanterade vätskan analyserades. Denna procedur med vätskebyte pågick i 30 dygn. Lakningsproceduren utfördes med tre replikat för varje produkt. Kemisk analys gjordes på ett samlingsprov av lakningsvätskan från de tre upprepningarna. Inga speciella störningar noterades under lakförsöket, med undantag för askprodukten "dos kross". Lakvätskan blev aldrig klar efter sedimentering. Det medför en risk för att suspenderade partiklar dekanterades, vilket kan leda till att viktsförlusten efter lakningens slut (30 dagar) överskattas något.

## 3.3 Fältförsök

Försöksområdet ligger i medelålders granskog inom SLUs försökspark i Asa i Småland. Försökets mittpunkt är enligt rikets nät 633577 x 143731. Under våren och sommaren 2001 genomfördes det praktiska arbetet med att etablera och starta försöket. Försökets utformning och försöksytornas placering framgår av figur 1.



Figur 1. Skiss över försöksområdet. Vita ytor är outnyttjade reserver. Försöksytorna har måtten 2x2 m<sup>2</sup>. I block A1, A2, A3 och A4 ingår samtliga fyra produkter. I de avskärmade markområdena med block B5, B6, B7 och B8 ingår ej "Dos kross"-askan.

Den 3 juli 2001 placerades 15 nätpåsar (ca 10x10 cm<sup>2</sup>) med respektive produkt i varje försöksyta, vilket totalt blev 420 påsar. Varje påse innehöll ca 10 g vilket motsvarar två till tre gånger normal dos (3 ton/ha) på den yta som påsen täcker. Detta är en rimlig mängd med tanke på möjlig småskalig variation vid spridning av produkten i stor skala (intill trädstammar, stenar o.s.v.) och den mängd som behövs för kemisk analys. Mellan påsarna inom försöksytan spreds respektive produkt med dosen 3 ton/ha. Mellan och bredvid försöksytorna spreds en och samma produkt, Veab kross-aska, med dosen 3 ton/ha.

För att få markområden som avskärmats från trädens mykorrhizasvampar grävdes en plastbarriär ned vertikalt runt större ytor, ca 5x10 m<sup>2</sup>. Som plastbarriär användes "Platonmatta" vilken normalt används som fuktspärr till husgrunder. Barriären är nedgrävd till "fast botten", eller ca 80 cm djup. Två områden är avskärmade med en total area om ca 100 m<sup>2</sup>. Inom dessa områden är hälften av försöksytorna i mykorrhizaexperimentet utplacerade, se foto i figur 2 och 3. Avskärningarna har inneburit möjligheter för nya studier och Inst. för mikrobiologisk Ekologi, Lunds universitet har startat projektet "Ektomykorrhizasvamparnas betydelse för att frigöra näring och motverka kväveförluster i skogar som behandlats med aska".



Figur 2. Plastbarriär grävs ned för att avskärma från mykorrhizasvampar.



Figur 3. Etablerad försöksyta. Plastbarriären sticker upp någon dm ovan markytan.

För att förhindra skador av t.ex. grävling och eventuellt vildsvin, som troligen kommer att öka i antal i trakten, sattes ett staket upp bestående av fårstängsel som förstärkts med taggtråd i nedkant.

För provtagning av markvatten under rotskiktet (50 cm) har keramiska undertryckslysimetrar (typ P80, en lysimeter per provyta) utplacerats i några av försöksytorna. Dessa representerar askbehandling (Veab kross aska), respektive obehandlad mark, utanför och innanför avskärmningen, se tabell 2. Lysimetrar i obehandlad mark är placerade utanför provytorna minst fem meter från närmaste behandling.

Tabell 2. Placering av undertryckslysimetrar.

Lysimeter	Behandling	Avskärmning
A1	Aska	Ej avskärmning
A3	Aska	Ej avskärmning
A1 kontroll	Ej behandlad	Ej avskärmning
A3 kontroll	Ej behandlad	Ej avskärmning
B5	Aska	Avskärmning
B7	Aska	Avskärmning
B5 kontroll	Ej behandlad	Avskärmning
B7 kontroll	Ej behandlad	Avskärmning

### 3.4 Kemisk analys

Lakvätskan i laboratorieundersökningen analyserades med avseende på makrokonstituenterna Ca, Mg, Na, K, Mn, Fe, och Al med standardmetoder för vattenkemiska analyser (ICP). Syraneutraliserande kapacitet (ANC) bestämdes genom titrering med syra tillbaka till ursprungs pH (ca 4,2). Efter lakningens slut torkades (105° C) och vägdes resterande aska och kalk i respektive prov.

Innehållet i insamlade påsar torkades (105° C) och vägdes för att bestämma viktförlust i fält. Analys av aska och kalk i påsarna utfördes på makrokonstituent (Ca, Mg, Na, K, S, Cl, P, Mn, Fe, Al) efter totaluppslutning (lithium-borat smälta). Alla påsar analyserades separat (fyra upprepningar).

Markvatten analyserades på pH, Ca, Mg, Na, K, Mn, Fe, Al, NH<sub>4</sub>-N, SO<sub>4</sub>-S, Cl och NO<sub>3</sub>-N vid två tillfällen (hösten 2001 och 2002) under försöksperioden.

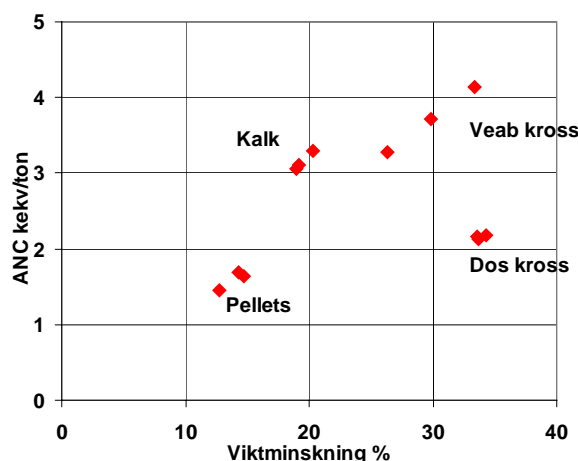


## 4 Resultat och diskussion

### 4.1 Lakning i laboratoriet

#### 4.1.1 Viktförlust och syraneutraliserande förmåga

Produkternas viktminskning efter 30 dygns lakning framgår av figur 4. Figuren visar även den syraneutraliserande förmågan (ANC) i förhållande till viktminskningen. Resultaten indikerar ett relativt linjärt förhållande mellan ANC och viktförlusten, med undantag för askan ”dos kross” som uppvisade lägre ANC i förhållande till viktminskningen än övriga produkter. Anledningen kan vara flera. Som nämnts under metodavsnittet var askan lagrad under lång tid, ursprungsbränslet hade sannolikt inslag av returpapper, samt eventuellt en viss dekantering av suspenderade partiklar före kemisk analys.

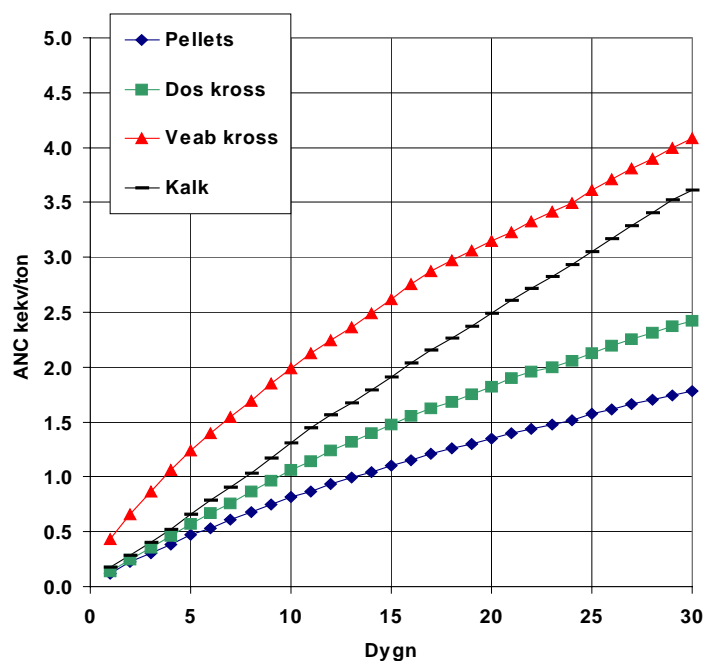


Figur 4. Syraneutraliserande förmåga (ANC) uttryckt som kiloekvivalenter per ton hos de olika produkterna (tre upprepade lakningar per produkt) som funktion av viktminskning efter 30 dygns lakning.

Askans ”dos kross” hade dock relativt snabb upplösning även i fält, vilket beskrivs i ett senare avsnitt (se figur 10).

Det kan noteras att efter laboratorielakningen, som simulerar en knapp skogsgeneration, var den upplösta andelen av askorna som högst 35 %, och för kalk 20 %, vilket indikerar att tiden för möjlig vittring av produkterna är mycket lång.

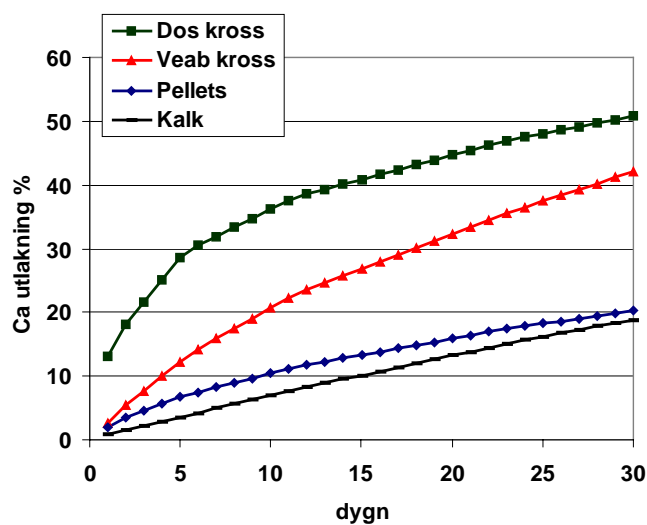
Lakningsförloppet (figur 5) för ANC visar att ”Veab kross” hade störst syraneutraliserande förmåga, som liksom de övriga askorna avtog med tiden. Kalkens lakningsförlopp, liksom viktförlusten, var linjärt under hela perioden på 30 dagar. Produkten ”pellets” uppvisade den lägsta syraneutraliserande förmågan, liksom den minsta viktminskningen, i laboratorielakningen.



Figur 5. Produkternas lakningsförlopp under 30 dagar med avseende på syraneutraliserande förmåga (ANC) uttryckt som kiloequiv/ton produkt. Medelvärden av tre lakningar.

#### 4.1.2 Baskatjoner

Utlakningsförloppet av kalcium (figur 6), i procent av mängden i produkten, visade även det på en linjär utlakning (och låg relativ utlakningstakt) från kalk, samt högre relativ utlakning från krossaskorna. ”Pellets” uppvisade samma relativa utlakning som kalk. För övriga baskatjoner var det svårt att upprätta en fullständig utlakningskurva eftersom halterna i lakvätskan sjönk till mycket låga nivåer efter ett fåtal upprepningar av lakningen.

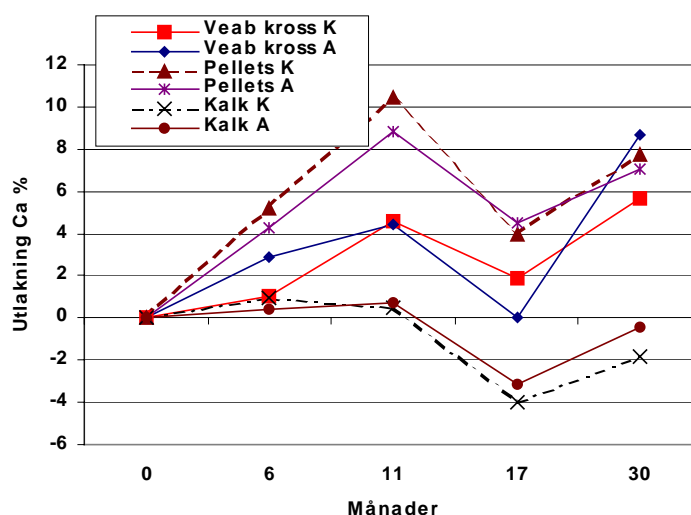


Figur 6. Utlakning av kalcium (Ca) i procent av ursprunglig mängd efter 30 dygns lakning.

## 4.2 Lakning i fält

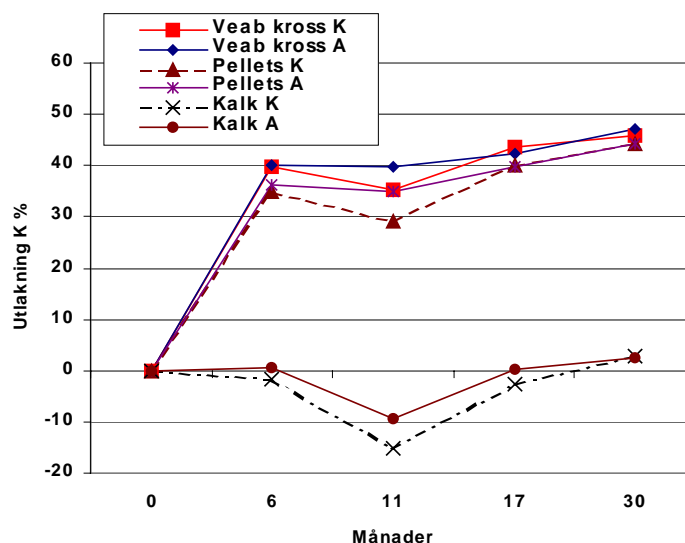
### 4.2.1 Effekt av avskärmning

Avskärmningen var ett sätt att experimentellt pröva betydelsen av närvaro, respektive frånvaro, av trädens mykorrhiza som kan påverka vittringen av ask- och kalkkorn, samt utlakningen av olika ämnen från produkterna som spreds i fält. Utlakningen av kalcium (figur 7) vid fyra tillfällen (6, 12, 18 och 30 månader efter försökets start) visade att förlusten från de olika produkterna i fält inte är jämn utan kan vara både positiv (utlakning) och negativ (upptag). Skillnaderna utan och med avskärmning var dock relativt små (figur 7), speciellt med hänsyn tagen till en sannolik lokal variation i markförhållandena runt påsarna. Den lokala variationen var dock måttlig med tanke på den begränsade spridningen mellan påsar med samma produkt och behandling (tabell 3). Tabell 3 visar medelvärden med standardavvikelse för samtliga behandlingsled utan och med avskärmning efter 30 månader i fält för samtliga ämnen som analyserats. Den begränsade spridningen mellan påsar med samma behandling noterades även vid de övriga provtagningsstillfällena (data visas inte här).



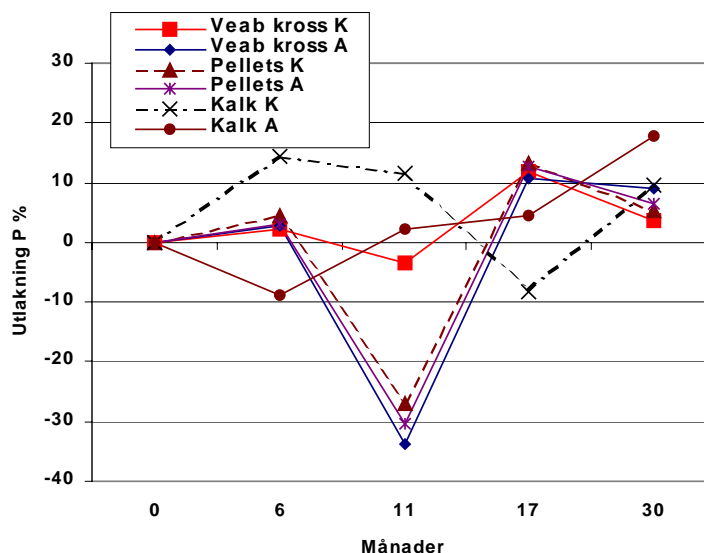
Figur 7. Utlakning av kalcium (Ca) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna utanför (K), respektive innanför (A), avskärmningen. Medelvärden av fyra påsar vid fyra provtagningsstillfällen.

Utlakningen av kalium (figur 8) i relation till ursprungsmängden var snabb och mycket likartad mellan de olika produkterna, utom kalk som i stort sett saknar kalium. Skillnaden mellan utan och med avskärmning var mycket liten (se även tabell 3) under försöksperioden.



Figur 8. Utlakning av kalium (K) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna utanför (K), respektive innanför (A), avskärmningen. Medelvärden av fyra påsar vid fyra provtagningsstillfällen.

Utlakningen av fosfor (figur 9) uppvisade en något splittrad bild där ”Veab kross” noterade olika utlakning utan och med avskärmning efter 12 månader i fält. Vid övriga tillfällen fanns ingen skillnad mellan utan och med avskärmning för de båda askprodukterna. Kalken uppvisade vissa skillnader, men resultaten är osäkra eftersom ursprungshalten (och utlakad mängd) var mycket låg. Den lilla skillnaden generellt mellan utan och med avskärmning gjorde att den följande resultatredovisningens beräkningar av medelvärden för försöksleden baseras på åtta påsar med aska och kalk (”dos kross” fyra påsar) per provtagningsomgång utan uppdelning på ”utan och med avskärmning”.



Figur 9. Utlakning av fosfor (P) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna utanför (K), respektive innanför (A), avskärmningen. Medelvärden av fyra påsar vid fyra provtagningsstillfällen.

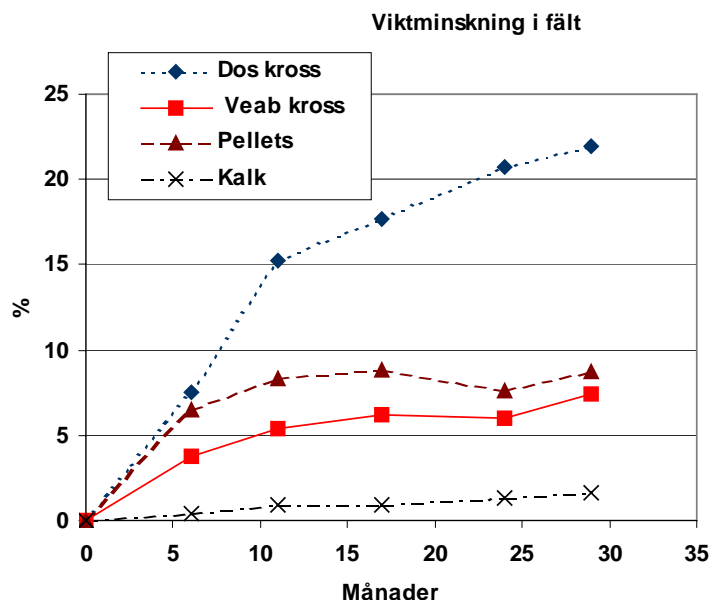


Tabell 3. Utlakning i procent av tillförd mängd med de olika produkterna utanför (K), respektive innanför (A), avskärmningen. Medelvärden samt standardavvikelse (stdev) för fyra påsar 30 månader efter försökets start.

Produkt		Ca	Mg	Na	K	Si	P	Fe	Mn	Al
Veab kross K	medel	5.6	13.2	38.7	45.9	6.7	3.6	8.2	17.7	1.4
	stdev	1.7	1.5	1.1	1.0	1.7	1.7	1.6	1.5	1.8
Veab kross A	medel	8.7	16.6	37.3	47.1	5.8	9.0	8.3	18.9	1.3
	stdev	1.4	1.3	1.0	0.8	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5
Pellets K	medel	7.7	15.5	37.1	44.3	6.0	5.2	-9.2	20.9	1.1
	stdev	0.8	0.7	0.5	0.5	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8
Pellets A	medel	7.1	16.0	38.4	44.2	6.5	6.5	-9.0	22.9	0.5
	stdev	0.9	0.8	0.6	0.6	0.9	0.9	1.1	0.8	1.0
Kalk K	medel	-1.8	7.6	0.0	2.7	8.0	9.7	13.9	18.6	2.3
	stdev	0.4	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
Kalk K	medel	-0.5	7.3	0.0	2.4	3.3	17.8	7.8	18.6	2.8
	stdev	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5

#### 4.2.2 Viktförlust

Viktförlusten i fält (figur 10) var likartad för ”Veab kross” och ”pellets”, med en snabb förlust upp till 12 månader som sedan stagnerade, sannolikt i samband med mineralologisk ombildning av askorna. Undantag var ”dos kross” som hade en betydligt större viktförlust, som dessutom fortsatte under hela försöksperioden. Askans höga ålder efter härdning och ursprungsbränslet kan vara orsak till skillnaden mot de övriga askorna. Kalkens viktförlust var långsam och i stort sett linjär.

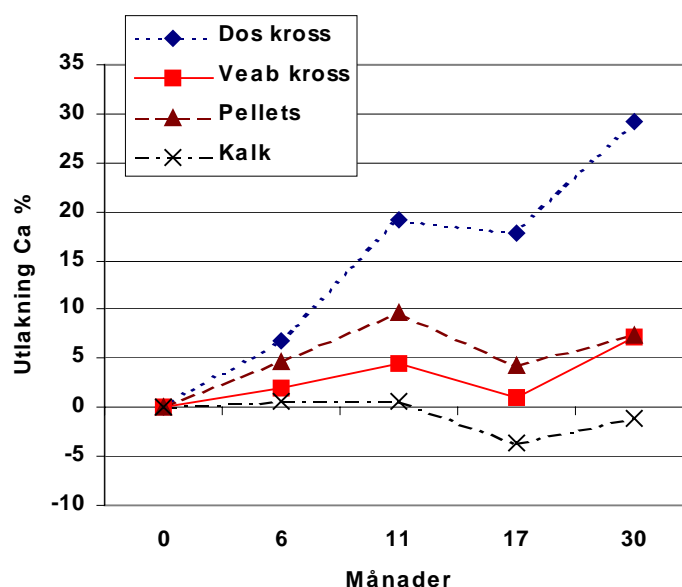


Figur 10. Viktminskning (% av TS) i påsarna som funktion av tid i fält. Medelvärde av åtta påsar per produkt (”dos kross” fyra påsar).

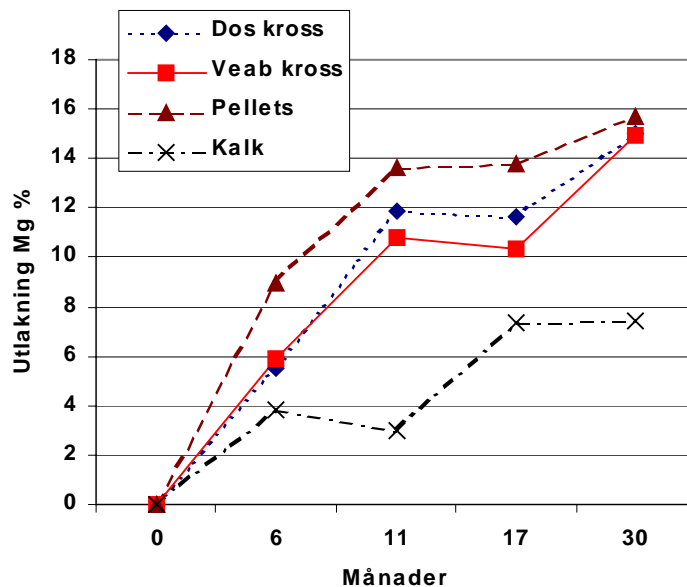
### 4.2.3 Baskatjoner och fosfor

Utlakningen av kalcium har delvis redan visats i figur 7, men figur 11 omfattar även produkten ”dos kross” som inte prövades innanför avskärningen. Den kraftiga viktnedgången hos ”dos kross” som visas i figur 10 motsvaras även av en hög relativ utlakning av kalcium. Kalkens negativa utlakning (upptag av kalcium) beror enligt de kemiska analyserna på att halten ökat efter 12 månader i fält. Den ursprungliga halten i kalken var hög från början (se tabell 1) och med liten viktförlust samt utlakning av kalcium kan analysosäkerhet bidra till variationen mellan utlakning och upptag.

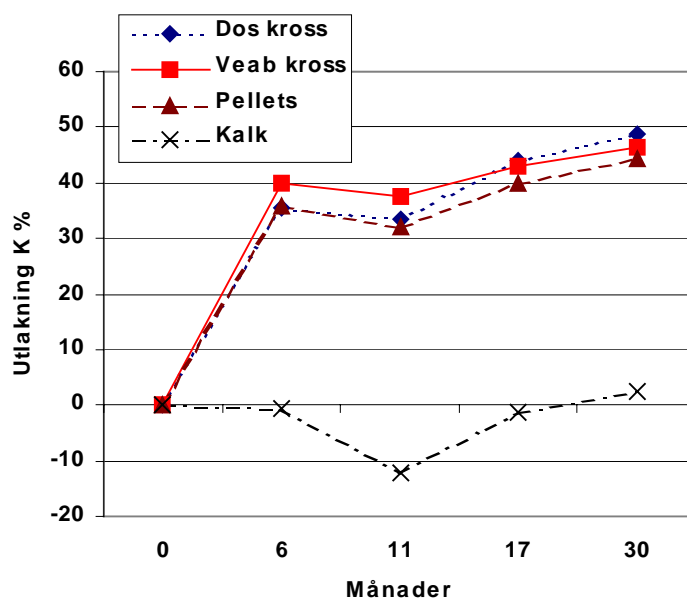
Utlakningen av magnesium (figur 12) från påsarna i fält skilde sig från övriga ämnen genom ett relativt linjärt utlakningsförlopp för alla produkter. Den relativa utlakningen för askorna var likartad, med en minskad hastighet efter 18 månader. Kalkens relativa utlakning av magnesium var något lägre än askornas, men beräkningen är osäker på grund av låga halter i kalken från början.



Figur 11. Utlakning av kalcium (Ca) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna. Medelvärde av åtta påsar per produkt (”dos kross” fyra påsar) vid fyra provtagningstillfällen.

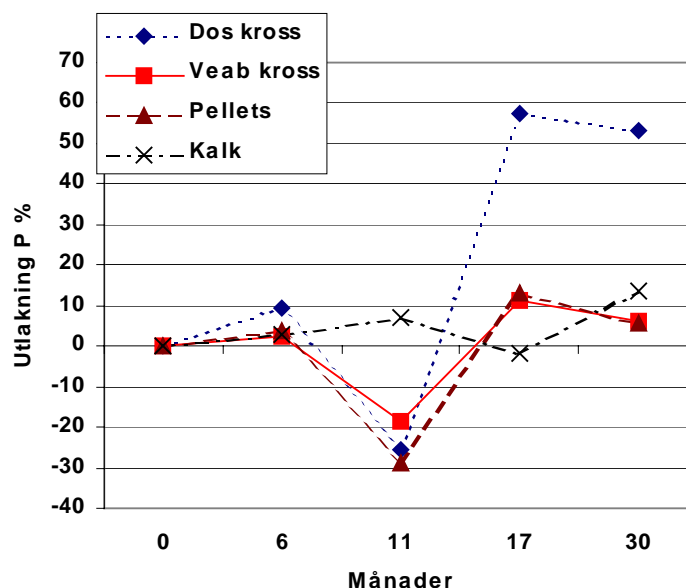


Figur 12. Utlakning av magnesium (Mg) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna. Medelvärde av åtta påsar per produkt ("dos kross" fyra påsar) vid fyra provtagningsstillfällena.



Figur 13. Utlakning av kalium (K) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna. Medelvärde av åtta påsar per produkt ("dos" kross fyra påsar) vid fyra provtagningsstillfällena.

Utlakningen av fosfor samvarierade mellan de olika askprodukterna, men "dos kross" uppvisade hög relativ utlakning 18 månader efter försöksstart. Efter 12 månader noterades generellt ett upptag av fosfor i askorna i fält. Även här är beräkningarna för kalk osäkra på grund av låga ursprungliga halter.



Figur 14. Utlakning av fosfor (P) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna. Medelvärde av åtta påsar per produkt ("dos kross" fyra påsar) vid fyra provtagningstillfällen.

### 4.3 Markvatten i fältförsöket

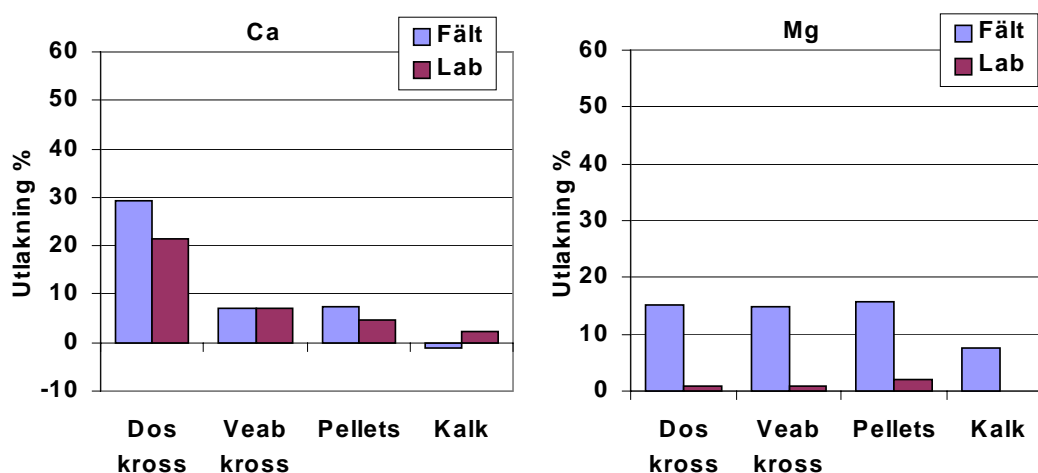
Markvatten har analyserats 5 och 12 månader efter askbehandlingen. Resultaten från de två provtagningsomgångarna visar på likartade förändringar som har förstärkts till den senare provtagningen. Resultaten visar på högre halter av kalium efter askbehandling. Innanför avskärmningen hade markvattnet betydligt högre kväve- och kaliumhalter, vilket troligen beror på minskat upp tag i rötter, se tabell 4. Den ökade utlakningen av nitrat har dock inte resulterat i ett signifikant förändrat pH-värde i markvattnet. Om pH-värdet hade minskat hade det indikerat en risk för att försöket med att utesluta rotupptag genom avskärmningen bidrog till en markförsurning (genom nitrifikation) som i sin tur kunde påverka vittringen av aska och kalk i påsarna. De små skillnaderna i utlakning av olika ämnen från påsarna utan och med rotupptag och närvaro av trädens mykorrhiza styrker slutsatsen att de markkemiska förhållandena, som påverkar produkternas vittring, inte var väsentligt annorlunda på grund av avskärmningen.

Tabell 4. Markvatten i fältförsöket (mg/l) 1 år efter behandlingarna. A är utan och B med avskärmning.

Avskärmning	Produkt	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	K	pH
A	Aska	<0.002	<0.01	0.7	4.49
A	Ref	<0.002	<0.01	0.3	4.41
B	Aska	0.22	0.68	3.5	4.39
B	Ref	0.49	0.18	1.25	4.66

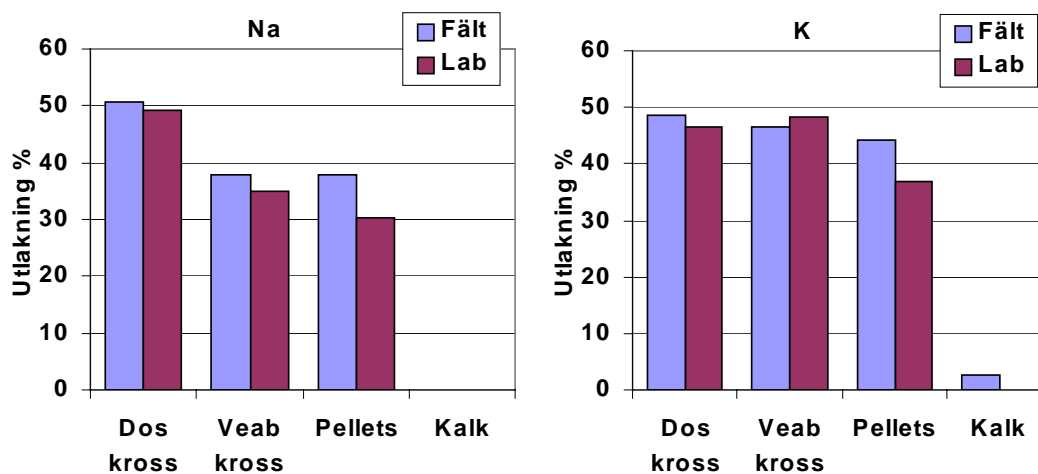
## 4.4 Jämförelse mellan laboratoriet och fält

Utlakningen av kalcium och magnesium efter 30 månader i fält jämförs i figur 15 med utlakningen i laboratorium efter tre upprepade lakningar. Mängden lakvätska i laboratorieproceduren efter tre lakningar motsvarar ungefär den nederbörds mängd som passerat påsarna i fält. Dessutom har i regel de initialt höga halterna av många ämnen redan klingat av efter tre lakningar i laboratorium. Utlakningen var generellt något högre i fält för askorna med de två valda tiderna efter försöksstart, 30 månader i fält respektive tre lakningar i laboratorium. Skillnaden påverkas naturligtvis av vilka tidsintervall som väljs, med fyra lakningar i laboratorium hade förhållandet varit tvärt om för flertalet ämnen. Mer intressant är att jämföra hur de båda metoderna rangordnade produkterna med avseende på relativ utlakning av olika ämnen. Generellt var överensstämmelsen relativt god för kalcium (figur 15) samt natrium och kalium (figur 16), men inte för magnesium. Uppmätt utlakning av magnesium i fält var betydligt högre för alla produkter, jämfört med laboratorielakningen. Orsaken till skillnaden är i nuläget inte känd, men intressant att studera vidare.



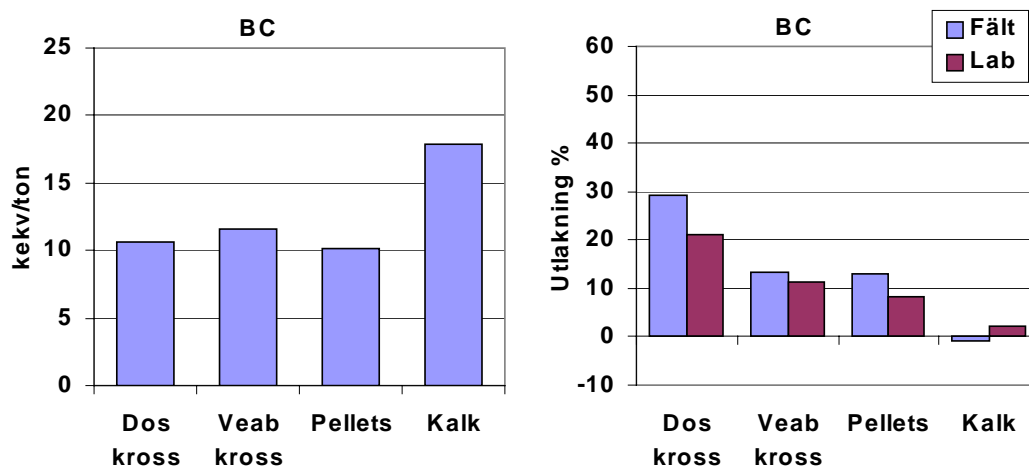
Figur 15. Utlakning av kalcium (Ca) och magnesium (Mg) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna. Värdet för fält representerar provtagningen av påsar 30 månader efter försöksstart och värdet för lab utgörs av summan av tre upprepade lakningar (lakning i tre dygn) i laboratoriet.

Uppträdandet av produkten ”pellets” skilde sig något åt mellan fält och laboratorium, med högre utlakning i fält av flera ämnen, jämfört med skillnaden mellan fält och laboratorium för andra produkter (figur 15 och 16). Laboratorielakningen indikerade att den vals-pelleterade produkten var mer svårlöslig än ”Veab kross” (se figur 5 och 6), men fältundersökningen kan i stort sett inte påvisa någon skillnad mellan de båda produkternas relativa utlakning. Det indikerar att den vals-pelleterade produkten har någon egenskap som gör att den uppträder annorlunda i fält jämfört med laboratorium, vilket kan vara viktigt att studera vidare om vals-pelletering kommer att bli en använd metod i praktiskt bruk.



Figur 16. Utlakning av natrium (Na) och kalium (K) i procent av tillförd mängd med de olika produkterna. Värdet för fält representerar provtagningen av påsar 30 månader efter försöksstart och värdet för lab utgörs av summan av tre upprepade lakningar (lakning i tre dygn) i laboratoriet.

Den syraneutraliserande förmågan hos produkterna påverkas av halter och utlakning av alla baskatjoner med tillhörande hydroxid- eller karbonatjoner. Produkternas ursprungliga totalinnehåll av baskatjoner i kiloekvivalenter per ton (figur 17) var likartade för askorna, men något högre för kalken. Figur 17 visar även hur stor andel av den ursprungliga mängden av baskatjoner som utlakats i fält efter 30 månader, respektive i laboratorium efter tre upprepade lakningar. Resultaten visar generellt en relativt god överensstämmelse, men som tidigare nämnts verkar laboratorielakningen underskatta utlakningen av ”pellets” något.



Figur 17. Det totala innehållet av baskatjoner (Ca, Mg, Na, och K) i kiloekvivalenter per ton (vänstra figuren) samt utlakning av summan av baskatjoner i procent av tillförd mängd med de olika produkterna (högra figuren). I den högra figuren representerar värdet för fältprovtagningen av påsar 30 månader efter försöksstart och värdet för lab utgörs av summan av tre upprepade lakningar (lakning i tre dygn) i laboratoriet.

## 5 Sammanfattande slutsatser

- Upprepad lakning i laboratorium med tre askor och en kalksort med pH-justerad (ca 4,0) lakvätska visade att den uppmätta viktsförlusten efter 30 lakningar korrelerade väl med den ackumulerade syraneutraliserande förmågan, men undantag för en asktyp.
- Efter 30 upprepade lakningar i laboratorium, som simulerar en knapp skogsgeneration, var den upplösta andelen av askorna som högst 35 %, och för kalk 20 %, vilket indikerar att tiden för vittring av produkterna är mycket lång. Även viktsförlusten i fält efter 30 månader, för askorna 8 till 22 %, indikerar att vittringen och tillförsel av askans olika ämnen till marken kommer att pågå under många år.
- Utlakningen i fält under 30 månader visade varierande mönster för olika ämnen medan spridningen mellan upprepningarna (de olika påsarna med samma produkt) var relativt liten. Kalciumutlakningen ökade till en början men klingade sedan av, i motsats till magnesium som utlakades relativt linjärt. Kaliumutlakningen var snabb och en relativt stor andel av den ursprungliga mängden (35 till 40 %) utlakades redan efter sex månader. Utlakning av fosfor i fält från askorna varierade starkt mellan provtagningstillfällena. Efter 12 månader noterades ett upptag av fosfor, övriga tre provtagningstillfällen visade på en utlakning.
- Experimentet med utlakning i fält av askor och kalk utan och med närvaro av trädens mykorrhiza visade inte några signifikanta skillnader eller tendenser i utlakningshastighet för de undersökta ämnena.
- Lakning i fält respektive i laboratorium rangordnade produkterna med avseende på relativ utlakning av olika ämnen på ett likartat sätt. Generellt var överensstämmelsen relativt god för summa baskatjoner, kalcium, natrium och kalium, men inte för magnesium. Utlakningen uppmätt i fält var betydligt högre för magnesium för alla produkter, jämfört med laboratorielakningen.
- Studierna av den valspleterade produkten indikerar egenskaper som gör att den uppträder annorlunda i fält jämfört med laboratorium, genom en något högre utlakningstakt i fält. En krossad aska som lagrats ca 10 år efter härdning och med sannolik inblandning av returpapper i ursprungsbränslet gav avvikande resultat, främst genom en relativt låg syraneutraliserande förmåga i förhållande till viktförlusten som uppmättes vid upprepade lakning i laboratorium.
- En kunskapslucka är utlakningsmönstret under längre tider i fält än 30 månader, vilket är möjligt att studera i det existerande försöket i Asa genom fortsatta provtagningar. Vidare är skillnaden i utlakningen av magnesium mellan fält och laboratorium, samt egenskaper i fält hos valspleterad aska av speciellt intresse att studera närmare.

## 6 Referenser

- Börjesson, P. 1992. Granulerade askors upplösning i skogsmark. Vattenfall FUD-Rapport 1992/17. Vällingby.
- Egnell G., Nohrstedt H.-Ö., Weslien J., Westling O., & Örlander G. 1998, Miljökonsekvensbeskrivning av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1. Jönköping.
- 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. 1998. Leaching of wood ash and lime products. Scand. J. For. Res. Suppl.2: 17-22.
- Larsson P.-E. & Westling O. 1999. Lakning av vedaska – en laboratoriestudie. Institutet för Vatten och Luftvårdsforskning (IVL), B 1325. Aneboda.
- Lindqvist O. (edit.) 1998. Recycling of Wood Ash; Selected Results from a Swedish R&D Programme. Scand. J. For. Res. Suppl.2: 1-95.
- Lundborg A. & Nohrstedt H.-Ö. 1995. Effekter av askspridning i skogen. Rapport till NUTEK 1995-09-15. Stockholm.
- Steenari B.-M., Marsic N., Karlsson L.-G., Tomsic A. & Lindqvist O. 1998. Long term leaching of stabilised wood ash. Scand. J. For. Res. Suppl.2: 3-16.