

# Effekter av granulerad trädaska på markvattenkemin i tre försök i barrskog på fastmark

Eva Ring

---

### **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 .....	4
Försöksområden .....	4
Askor och grönflis .....	4
Försöksuppläggning .....	5
Provtagning av markvatten.....	5
Resultat och diskussion .....	6
Effekter av aska.....	7
pH .....	7
Nitrat-N.....	7
Ammonium-N.....	7
Fosfat-P.....	8
Sulfat.....	8
Ca.....	8
Mg .....	9
K.....	9
Al.....	9
Cu .....	9
Pb.....	9
Cd .....	10
Effekter av grönflis.....	10
Tackord .....	10
Referenser .....	10



## Sammanfattning

I två doseringsförsök med granulerad trädaska undersöktes markvattenkemin på ca 50 cm djup under sju år efter behandling. Försöken är belägna i ca 40-årig barrskog på moränmark i södra (241 Torup) respektive norra Sverige (242 Vindeln). Doserna var 1, 3 och 6 ton aska per hektar. I ytterligare ett försök i södra Sverige (224 Olofström) studerades effekter av 3,2 ton aska per hektar respektive grönflis motsvarande 150 kg N per hektar. I doseringsförsöken användes granulerad flygaska från Eskilstuna värmeverk och i det tredje försöket granulerad flygaska från Skövde kärnsjukhus. Prover på markvattnet togs i genomsnitt två gånger per år.

Behandlingarna med 1, 3 respektive 6 ton aska per hektar från Eskilstuna värmeverk tycktes inte nämnvärt ha påverkat pH-värdet, nitrat-N, fosfat-P, koppar- och blyhalten. För enstaka askgivor eller provtagningstillfällen observerades förhöjningar av sulfat-, kalcium- och magnesiumhalten, men dessa är osäkra. Askbehandlingarna medförde sannolikt att kaliumhalten ökade under ett till två år i 241 Torup. Också i 242 Vindeln tycktes kaliumhalten öka men det var svårt att avgränsa under vilken tidsperiod. I försöksledet 3 ton aska per hektar var kaliumhalten förhöjd under hela mätperioden, d.v.s. sju år. Kadmiumhalten ökade någon gång under perioden två till tio månader i 242 Vindeln. Förhöjda kadmiumhalter observerades endast vid ett mättillfälle.

Tillförseln av grönflis, motsvarande 150 kg kväve per hektar, på en yta i 224 Olofström verkade inte ha påverkat markvattnets pH-värde, nitrat-N, kalcium- eller kaliumhalt. Få mätningar gjordes emellertid i detta försök.

## Inledning

Trädbränsleanvändning ger aska som måste tas om hand efter förbränning. Trädaskan har betraktats som en avfallsprodukt och utgjort ett deponeringsproblem. I dag undersöker man möjligheten att återföra askan till skogen, dels för att återföra en del av den näring som skogsbränsleuttaget medfört, dels för att undvika deponering.

Ett ökat uttag av biomassa från skogen innebär en förlust av viktiga näringsämnen och en försurning av marken. För att förhindra eller mildra en långsiktig utarmning av marken och en därmed förknippad eventuell nedgång i skogsproduktionen, torde det vara värdefullt att återföra den näring som askan innehåller. Askan innehåller flertalet viktiga växtnäringsämnen som fosfor, kalium, kalcium och magnesium. Den innehåller dock inget kväve. Kvävet har gått upp i rök och måste, om det behövs, tillföras på annat sätt.

Deponeringen som sker i dag blir alltmer problematisk. Den kräver utrymme, belastar miljön punktvis och blir sannolikt också dyrare med tiden. Då all deponering fr.o.m. 1999 kommer att avgiftsbeläggas, kommer det även att finnas ett ekonomiskt incitament för att återföra askan till skogen.

Trädaska är ingen homogen produkt. Askans sammansättning och egenskaper varierar kraftigt beroende på varifrån trädbränslet kommer, vilka trädfraktioner som finns i bränslet (stam, bark, grenar och barr), typ av panna som använts vid förbränningen samt var askavskiljningen skett (bottenaska/flygaska). Många av de ämnen som finns i askan ingår i relativt svårslösliga föreningar, medan andra ingår i lättlösliga salter. Den takt varmed ämnen kan lakas ut från askan beror också på askproduktens partikelstorlek och grad av kemisk stabilisering. I denna studie har de markvattenkemiska effekterna av granulerad aska undersökts.

## Material och metoder

### Försöksområden

Försöken heter 241 Torup, 242 Vindeln och 224 Olofström. Fortsättningsvis nämns inte försökens nummer. I tabell 1 beskrivs ståndorter och bestånd.

**Tabell 1.**  
Beskrivning av ståndorter och bestånd vid försöksanläggningen 1990 (Torup & Vindeln) och 1989 (Olofström).

	Torup	Vindeln	Olofström
Latitud	56° 55'	64° 12'	56° 17'
Longitud	13° 05'	19° 28'	13° 22'
Höjd över havet (m)	135	230	115
Jordart	sa-mo <sup>a</sup> morän	sa-mo morän	sa-mo morän
Jordmån	Dystric Regosol <sup>b</sup>	Dystric Regosol <sup>b</sup>	humuspodsol
Trädslag	gran	tall	gran
Ståndortsindex (H <sub>100</sub> m)	G32	T25	G31
Ålder (år)	40	43	45
Volym (m <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup> )	250	160	186
Löpande tillväxt (m <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	13,0	9,8	9,3

<sup>a</sup> sandig-moig

<sup>b</sup> Klassificerad enligt FAOs system (Eriksson, 1996)

### Askor och grönlis

Effekterna av två granulerade flygaskor studerades. Den ena askan kom från värmeverket i Eskilstuna och den andra från kärnsjukhuset i Skövde (tabell 2). Eskilstuna-askan hade en kolhalt på bara några få procent, vilket medförde att granulerna fick en hög hållfasthet. Dessutom tillsattes 4 % cement. Denna aska användes i Torup och Vindeln. Skövde-askan hade en hög kolhalt (40–50%), vilket gjorde granulerna relativt porösa, trots inblandning av 1 % kalciumlignosulfat och 1 % cement. Skövde-askan användes i Olofström.

**Tabell 2.**

**De använda askornas innehåll av några olika ämnen (viktsprocent). Kadmiumhalter i ppm. Analyserna utfördes av Svensk Grundämnesanalys AB i Luleå.**

Asktyp	P	K	Ca	Mg	Cd
Skövde	0.9	5.2	10	0.9	21
Eskilstuna	0.8	4.1	14	1.5	6

### **Försöksuppläggning**

Effekter av olika doser med aska (1, 3 och 6 ton per hektar) studerades i Torup och Vindeln. I Olofström studerades effekterna av 3,2 ton aska per hektar respektive grönflis motsvarande 150 kg N per hektar. Mängden grönflis uppgick till 30–40 ton (frisk vikt) per hektar.

Försöken i Torup och Vindeln utformades som randomiserade blockförsök med tre upprepningar. Markvattenstudierna i Torup gjordes dock endast i block 1 och 2 och i Vindeln i block 3. I Olofström saknades upprepningar. I samtliga försök behandlades 30 m × 30 m stora provytor. I Torup och Vindeln tillfördes askan i augusti 1990 (90-08-16) och i Olofström i april 1989 (89-04-18).

### **Provtagning av markvatten**

Markvatten från 50 cm djup provtogs med två typer av undertryckslysimetrar, dels keramiska (modell 1920, Soilmoisture Equipment Corp.), dels teflon (Prenart Standard, Prenart Equipment Aps.). Syftet var att provta vatten som passerat huvuddelen av rotzonen. I Torup och Vindeln installerades två keramiska och två teflonlysimetrar på varje provyta. Lysimetrarna sattes ut i försöksleden kontroll, 1, 3 och 6 ton Eskilstuna-aska per hektar. Ytterligare två försöksled ingick i dessa försök men dessa inkluderades inte i markvattenundersökningen. På kontrollytan i Olofström installerades två keramiska lysimetrar och i ytorna med Skövde-aska respektive grönflis installerades tre. I försöksleden med aska och grönflis sattes lysimetrarna ut ett par år senare än på kontrollen.

Några dagar före provtagningen sänktes trycket i lysimetrarna till 20–30 kPa genom pumpning för hand. Då alla lysimetrar på provytan gav vatten, blandades vatten i lika mängd från lysimetrar av samma typ för att skapa ett prov som fick representera provytan. Vattenproverna togs i 300 ml syradiskade plastflaskor och skickades med post till Uppsala för kemisk analys på Statens Lantbrukskemiska Laboratorium, sedermera KM Lab. Detta förfarande medförde att proverna kom att förvaras i varierande, troligtvis något för höga, temperaturer under några dagar. De studerade variablerna som kan tänkas ha påverkats av detta är främst pH-värdet, kväve (N) och fosfor (P). Notera att samtliga prover inom varje provomgång behandlades lika. Jämförelser mellan olika behandlingar vid varje provtagningstillfälle bör därför inte påverkas av detta till skillnad mot jämförelser över tiden. Några enstaka provomgångar frystes före leveransen till laboratoriet. Proverna analyserades med avseende på pH-värde, oorganiskt N, sulfat, kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K). Proverna från teflonlysimetrarna analyserades även på fosfat-P, aluminium (Al), koppar (Cu), bly (Pb) och

kadmium (Cd). I Torup och Vindeln togs vattenprover två gånger per år t.o.m. 1995, en gång på våren och en gång på hösten, därefter endast på hösten. År 1991 togs dock fyra provomgångar i Torup och tre i Vindeln. På vårvintern 1997 gallrades Vindeln, vilket medförde skador på marken nära någon eller några lysimetrar. Detta, samt gallringen i sig, kan ha påverkat resultaten från provtagningen 1997. I Olofström togs ett vår- och ett höstprov fr.o.m. 1989 till 1996.

Ibland misslyckades provtagningen på grund av låg markvattenhalt eller tekniska problem. Små, inga eller prover från endast en lysimeter erhöles i dessa fall. Dessa prover måste beaktas som mindre representativa. Små provmängder är även känsligare för kontamination. Från och med sista provtagningen 1992 noterades de erhållna provmängderna noggrant. Dessförinnan finns enstaka noteringar. Prover som innehöll mindre än ca 100 ml, d.v.s. mindre än en tredjedels flaska, undantogs från bearbetningen. Antalet undantagna, små prover var nio i Torup, fem i Vindeln och två i Olofström. Proverna som togs 92-09-27 i Vindeln blev av misstag stående i rumstemperatur i ca 2 dygn. I resultaten syntes dock inga uppenbara effekter av detta. Eventuellt kan halten nitrat-N (keramiska lysimetrarna:  $87 \mu\text{g l}^{-1}$ ) i kontrolllytan ha ökat till följd av detta.

Av totalt 256 möjliga prover i Torup erhöles 138 prover. Av dessa bestod 54 prover av vatten från endast en av de två lysimeterna. I Vindeln erhöles 101 prover av 120 möjliga. Av dessa bestod 8 av vatten från endast en lysimeter. I Olofström erhöles 32 prover av 45 möjliga. Ca nio var ofullständiga, d.v.s innehöll vatten från en eller två lysimetrar. Notera att detta är en liten underskattning eftersom noteringar om antalet fungerande lysimetrar gjordes fr.o.m. 1991 (Torup och Olofström), respektive 1992 (Vindeln) och framåt.

## Resultat och diskussion

Bristen på mätningar före behandling begränsade möjligheten att utvärdera effekterna av de olika behandlingarna, liksom det stora antalet saknade eller ofullständiga prover. Före behandling gjordes som mest en provtagning. Skillnader mellan olika provtyper som eventuellt fanns redan före behandling förblev därför okända. I denna studie kan därför endast mycket tydliga effekter påvisas. En statistisk analys bedömdes inte tillföra någon extra information.

Nedan följer en genomgång av resultaten. Resultaten från de två första provtagningarna i föreliggande undersökning bör betraktas med viss skepsis, eftersom de första proverna från liknande undersökningar haft orimligt höga halter av främst N. Orsaken är den förändring av markstrukturen och omrörning som utsättningen av undertryckslysimetrarna innebär. Även halten kationer tycks kunna öka till följd av installationen.



## Effekter av aska

### *pH*

I allmänhet observerades små skillnader i pH-värde mellan behandlingarna (figur 1 & 2). På grund av att avvikelserna var små och proverna från före behandling få var det omöjligt att bedöma om skillnaderna orsakades av askbehandlingarna eller redan fanns före behandling. Några intressanta iakttagelser kunde emellertid göras. I block 2 i Torup (keramiska lysimetrar) var pH-värdet lägre i försöksledet 6 ton aska än i kontrollen under större delen av mätperioden (figur 1). Skillnaden observerades för första gången ca 1,5 år efter behandling. Om detta är en behandlingseffekt är den troliga orsaken att katjoner ifrån askan trängt ut vätejoner från marken till markvattnet. Inga ytterligare effekter av askan kunde skönjas i Torup. På hösten 1992 verkade pH-värdet vara orimligt högt i kontrollytan i block 1, Torup (keramiska lysimetrar) jämfört med tidigare mätningar och med pH-värdet som uppmättes i vattnet från teflonlysimetrarna på samma yta. Avvikelsen kunde dock inte förklaras av liten provmängd eller synbar kontamination. pH-värdet i de två första proverna från teflonlysimetrarna i kontrollen i block 2, Torup var betydligt högre än i försöksledet 6 ton aska. Dessa prover samt det första provet i försöksledet 3 ton aska var troligen påverkade av lysimeterutsättningen.

Även i Vindeln finns en tendens till att försöksledet 6 ton aska påverkat pH. Både i proverna från de keramiska och teflonlysimetrarna var pH oftast högst i försöksledet 6 ton aska (figur 2). Detta föutsätter att ytorna inte skiljde sig åt redan före behandling. Mätningen före behandling tydde på att ytorna var olika, men skillnaden kan även bero på installationen av lysimetrarna. I Olofström syntes ingen effekt av asktillförseln på pH.

### *Nitrat-N*

Halten nitrat-N, som var låg i alla försöken, påverkades sannolikt inte av behandlingarna med aska. En förhöjd halt observerades vid första provtagningen i Torup. Den orsakades troligen av lysimeterutsättningen. Halten var lägre än  $0,25 \text{ mg l}^{-1}$  i samtliga försöksled vid alla provtagningar inklusive de två första. Fram till hösten 1991 fanns en liten tendens till förhöjning i försöksleden 3 och 6 ton aska i block 1 i Torup respektive i försöksledet 3 ton aska i block 2. Dessa förhöjningar var dock mycket små,  $<0,08 \text{ mg l}^{-1}$ .

### *Ammonium-N*

Halten ammonium-N mättes bara i Olofström. Ingen påverkan av asktillförseln kunde skönjas.

### ***Fosfat-P***

Asktillförseln tycktes inte nämnvärt ha påverkat halten fosfat-P. En hög halt på 860 µg l<sup>-1</sup> noterades vid första provtagningen efter behandling med 3 ton aska i block 2 i Torup. Den orsakades sannolikt av lysimeterutsättningen och inte av behandlingen.

### ***Sulfat***

Sulfathalterna i samtliga försöksled låg med några undantag på ungefär samma nivå under hela undersökningen (figur 3 & 4). I Vindeln antydde en förhöjning ett år efter behandlingen med 6 ton aska. Förhöjningen återfanns i proverna från båda lysimetertyperna. I Torup hade askan inte någon tydlig effekt på sulfathalten mätt med de keramiska lysimetrarna (figur 3). Den rangordning som fanns mellan behandlingarna, var med från början och kan därför avspegla en olikhet mellan ytorna som fanns redan före behandling. Vid en provtagning (keramiska lysimetrar) var halten i försöksled 3 ton aska förhöjd i båda blocken, men detta verkade vara en tillfällighet (figur 3). I Olofström var halterna nästan dubbelt så höga på ytan med aska jämfört med kontrollen (figur 4). Om detta var en behandlingseffekt eller berodde på att ytorna skiljde sig åt redan före behandling är okänt.

### ***Ca***

Inga entydiga effekter på Ca-halten observerades (figur 5 & 6). I block 2, Torup syntes en tendens till att Ca-halten i försöksledet 1 ton aska ökat till följd av behandlingen eftersom halten med tiden tycktes minska till ungefär samma nivå som i kontrollen. Resultaten från de keramiska lysimetrarna antydde en tillfällig ökning i försöksleden 1 och 6 ton aska i Vindeln knappt ett år efter behandling. Detta bekräftades av resultaten från teflonlysimetrarna i försöksleden 3 och 6 ton aska men inte i försöksledet 1 ton aska. I Olofström avtog Ca-halten i försöksledet med aska fortare än på kontrollen (figur 6). Detta skulle kunna vara ett tecken på en initial behandlingseffekt under avtagande. Om inga skillnader fanns mellan ytorna före behandling bör förändringen över tiden i kontroll respektive behandling ha varit ungefär lika under ostörda förhållanden. Det är dock osannolikt att upplösningen och nedtransporten av Ca från askan skulle ha gått så snabbt p.g.a. den ringa nederbörden. Redan efter en månad, i mitten på maj, skulle markvattnet på 50 cm djup ha påverkats av asktillförseln. Vid SMHIs station i Olofström var nederbörden i april och maj 1989 13 respektive 24 mm (Anonym, 1989), vilket är 30 respektive 57 % av den normala månadsnederbörden (Alexandersson m.fl., 1991). Förhöjningen i askledet var mer troligt en effekt av installationen av lysimetrar. I försöksleden med aska respektive grönflis sattes lysimetrarna ut ett par år senare än på kontrollytan, vilket innebar att dessa sannolikt inte hunnit komma i jämvikt med omgivningen till skillnad från lysimetrarna på kontrollen. Vid tidigare provtagningar på kontrollen analyserades ej Ca.

### **Mg**

Inga tydliga effekter på Mg-halten noterades (figur 7 & 8). Halten i försöksledet 6 ton aska i Vindeln verkade något förhöjd vid den tredje till den sjätte provtagningen med de keramiska lysimetrarna (figur 8). Möjligen var också halten i försöksledet 1 ton aska förhöjd i block 1 och 2 i Torup (figur 7), men resultaten var svårtolkade. I Olofström var halten nästan dubbelt så hög på ytan med aska jämfört med kontrollen (figur 8). Om detta var en behandlingseffekt eller berodde på att ytorna skiljde sig åt redan före behandling gick inte att avgöra. I askledet härstammade provet med den högsta halten från bara en lysimeter.

### **K**

Den lägsta K-halten observerades oftast i kontrollytorna (figur 9 & 10). Ask-tillförseln orsakade därför troligen de högre halterna i övriga försöksled. I vissa försöksled i Torup, främst i försöksledet 6 ton aska, minskade halten med tiden (figur 9). Denna tendens kunde eventuellt även skönjas i Olofström (figur 10). Minskningen med tiden tydde även den på att förhöjningarna berodde på behandlingarna. K-halten var förhöjd under ett till två år i Torup. I Vindeln var det svårt att avgränsa förhöjningens varaktighet. I försöksledet 3 ton aska ökade K-halten med tiden i förhållande till kontrollen (figur 10). Den höga halten i försöksledet 1 ton aska i september-94 (figur 10) observerades i ett litet prov (ca 100 ml) från endast en lysimeter.

### **Al**

I Vindeln var den genomsnittliga Al-halten ungefär hundra gånger lägre än i block 1 i Torup och några effekter av behandlingarna syntes inte (figur 11). I block 2 i Torup antyddes en ökning av Al-halten för den högsta askdosen. I Torup skiljde sig dock halterna på kontrollytorna väsentligt. Om man jämför försöksledet 6 ton aska i block 2 med kontrollytorna i båda blocken får man motstridiga bilder av effekten. Vilken som är den riktiga går inte att säga.

### **Cu**

Halten Cu verkade inte ha påverkats av behandlingarna (figur 12). I Torup var det emellertid svårt att göra en bedömning på grund av att provtagningen fungerat dåligt.

### **Pb**

Askbehandlingarna hade inga uppenbara effekter på Pb-halten i markvattnet. Den kemiska detektionsgränsen varierade för olika provtagningar och var 0,3, 0,5 eller 1  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Totalt sex gånger överskreds detektionsgränsen. I Torup var Pb-halten i kontrollen 0,4-1,1  $\mu\text{g l}^{-1}$  vid tre mätningar och

1,3  $\mu\text{g l}^{-1}$  i försöksledet 3 ton aska vid en mätning. I Vindeln var Pb-halten 0,5  $\mu\text{g l}^{-1}$  i försöksledet 6 ton aska en gång och 1,2  $\mu\text{g l}^{-1}$  i försöksledet 3 ton aska, också det en gång.

### ***Cd***

Halten Cd var förhöjd i de behandlade ytorna vid den tredje provtagningen i Vindeln (figur 13). Någon gång under perioden två till tio månader efter behandling ökade halterna. Ökningen var ungefär lika stor i försöksleden 3 och 6 ton aska. Halten i försöksledet 1 ton aska var ungefär hälften så hög som i försöksleden 3 och 6 ton aska. I Torup gick det inte att bedöma om Cd-halten påverkats av asktillförseln eller inte.

### **Effekter av grönflis**

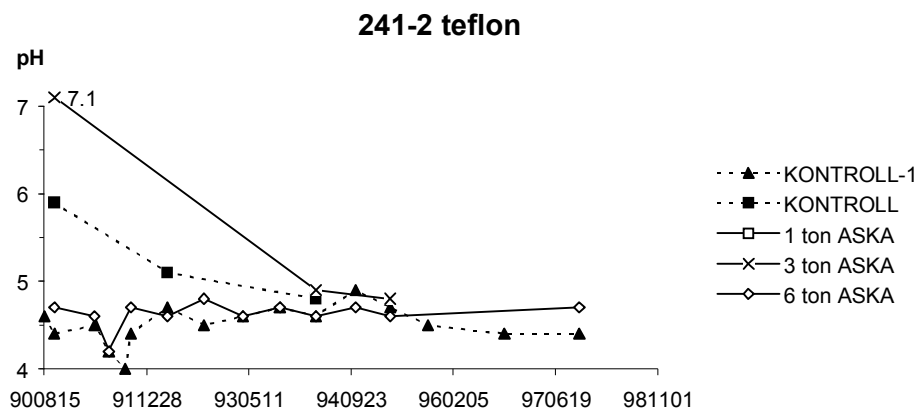
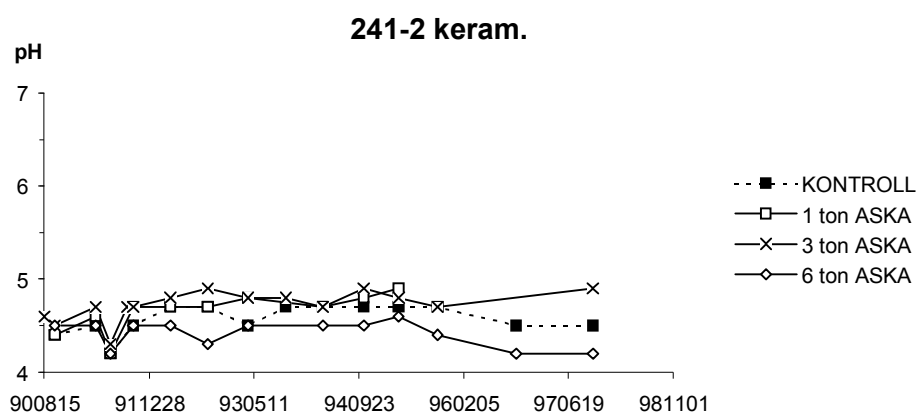
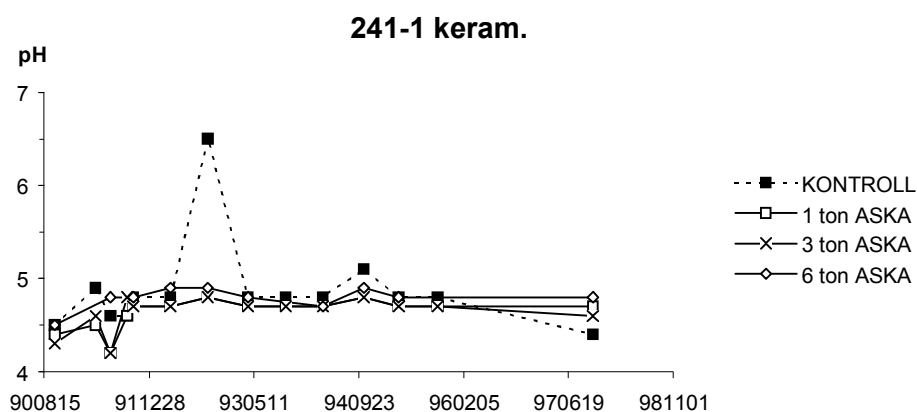
Grönflisbehandlingen tycktes inte ha påverkat pH-värdet (figur 2). Den stora skillnaden i början kan ha berott på störningar p.g.a. lysimeterutsättningen. Detta gäller även den första observationen av nitrat-N (0,19  $\text{mg l}^{-1}$ ) respektive ammonium-N (0,40  $\text{mg l}^{-1}$ ). Inga förhöjda halter av oorganiskt N observerades därefter utom vid den femte provtagningen (oktober-92) då halten ammonium-N var mer än 13 gånger högre i grönflisledet än i kontrollen. Halten var 0,26  $\text{mg l}^{-1}$ . Provet härrörde från en av tre lysimetrar. Sulfathalten var genomgående lägre i grönflisledet än i kontrollen (figur 4). Om detta berodde på behandlingen eller på skillnader som fanns redan före behandling gick inte att bedöma. Halten Ca och K verkade inte nämnvärt ha påverkats av behandlingen (figur 6 & 10). Halten Mg var genomgående högre i grönflisledet än i kontrollen (figur 8), men liksom för sulfat gick det inte att avgöra om detta var en behandlingseffekt eller ej.

## **Tackord**

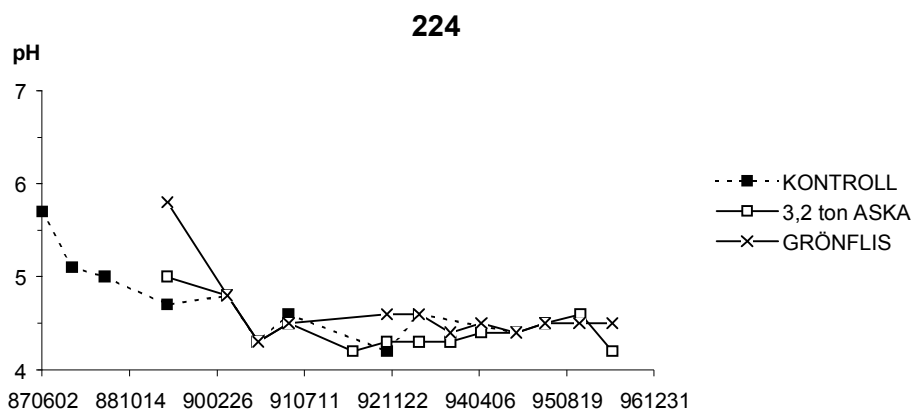
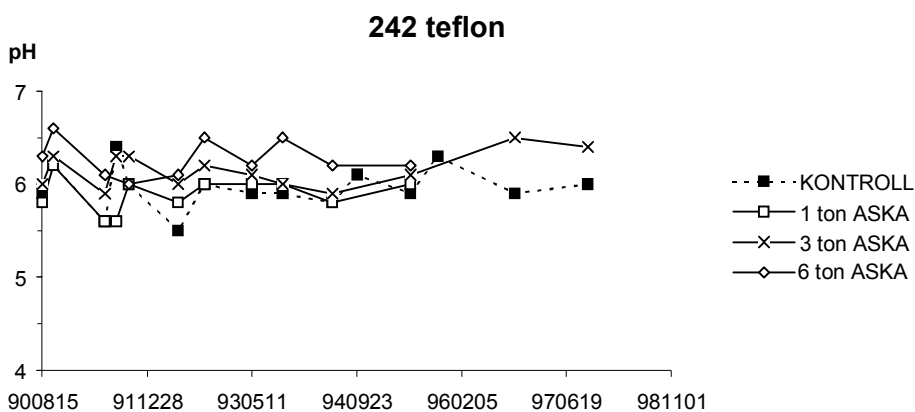
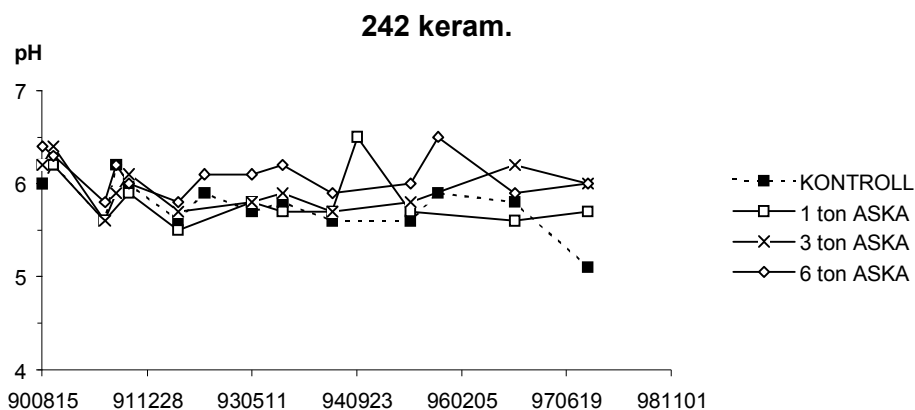
De kemiska analyserna finansierades av Vattenfall, projekt U(B)92-794, Ramprogram askåterföring. Vattenprovtagningen sköttes förtjänstfullt av Kjell Eriksson (Torup) och Erland Jonsson (Vindeln).

## **Referenser**

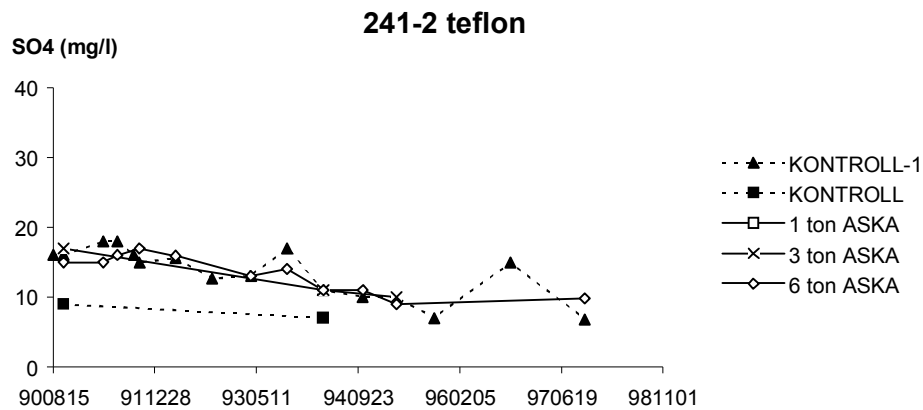
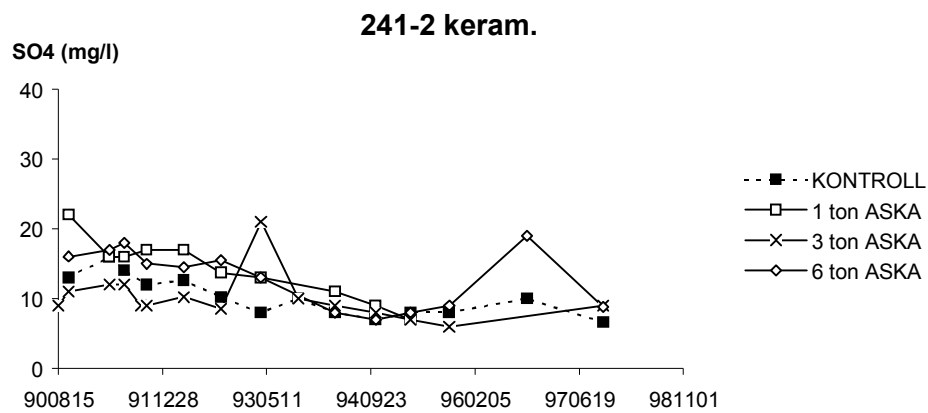
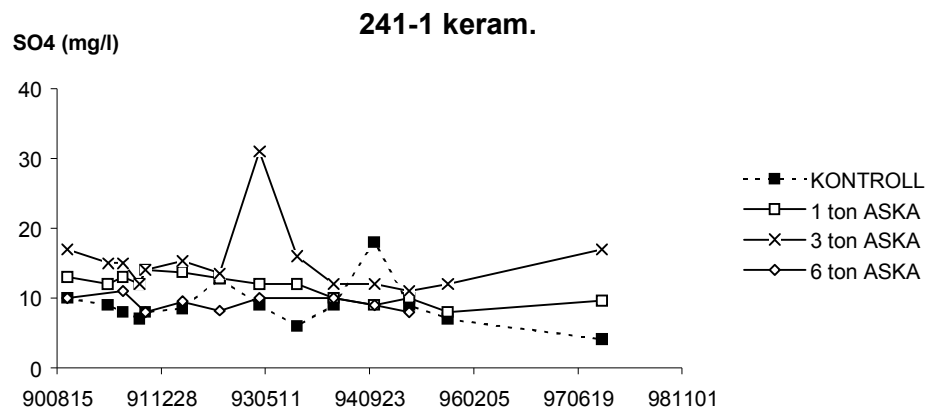
- Alexandersson, H., Karlström, C. & Larsson-McCann, S. 1991. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90, referensnormaler. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI Rapport nr 81. Norrköping. 87 s.
- Anonym, 1989. Väder och Vatten. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping.
- Eriksson, H. M. 1996. Effects of tree species and nutrient application on distribution and budgets of base cations in Swedish forest ecosystems. Sveriges Lantbruksuniversitet, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 2 (doktorsavhandling). Uppsala.



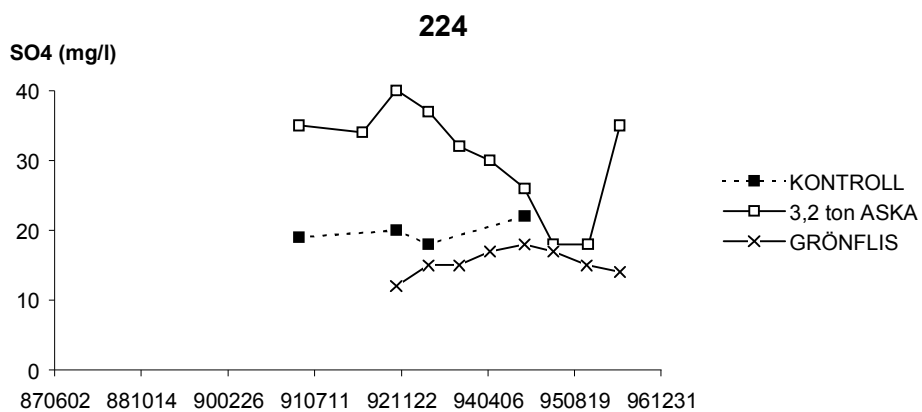
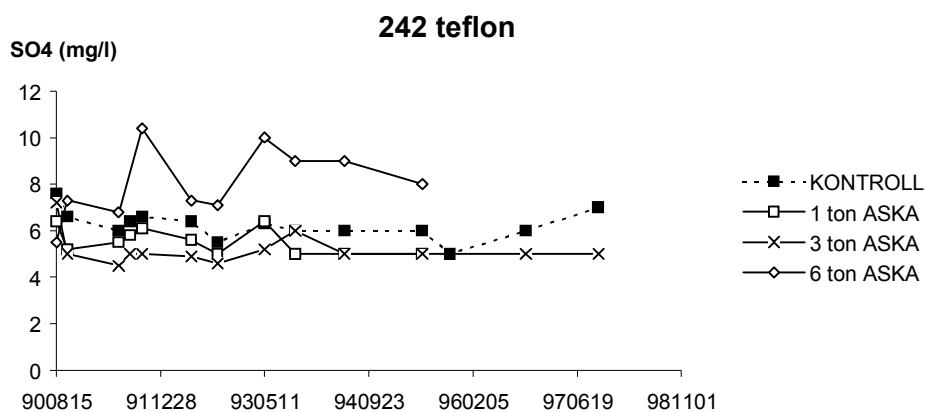
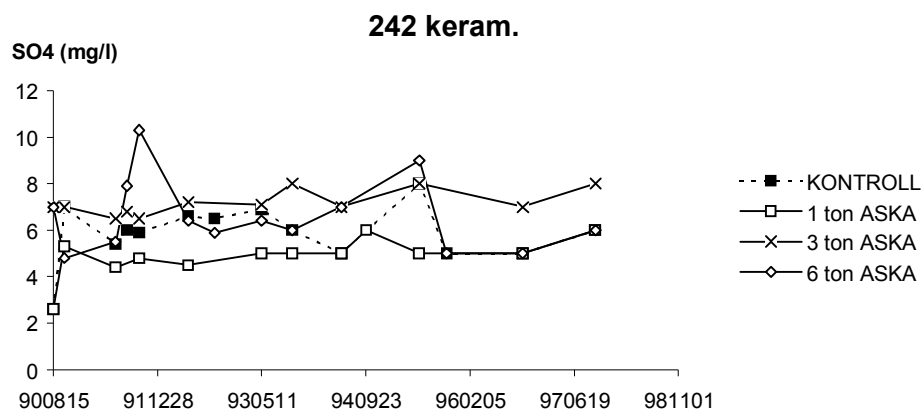
**Figur 1.**  
 pH-värdet i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup. Behandlingen gjordes 90-08-16.  
 Överst: prover från keramiska lysimetrar i block 1. I mitten: prover från keramiska  
 lysimetrar i block 2. Nederst: prover från teflonlysimetrar i block 2 men notera att  
 kontrollen i block 1 är inkluderad. Övriga lysimetrar i block 1 fungerade inte.



**Figur 2.**  
 pH-värdet i markvattnet på 50 cm djup i 242 Vindeln och 224 Olofström.  
 Behandlingarna gjordes 90-08-16 respektive 89-04-18. Överst: prover från keramiska lysimetrar i 242 Vindeln. I mitten: prover från teflonlysimetrar i 242 Vindeln. Nederst: prover från keramiska lysimetrar i 224 Olofström.

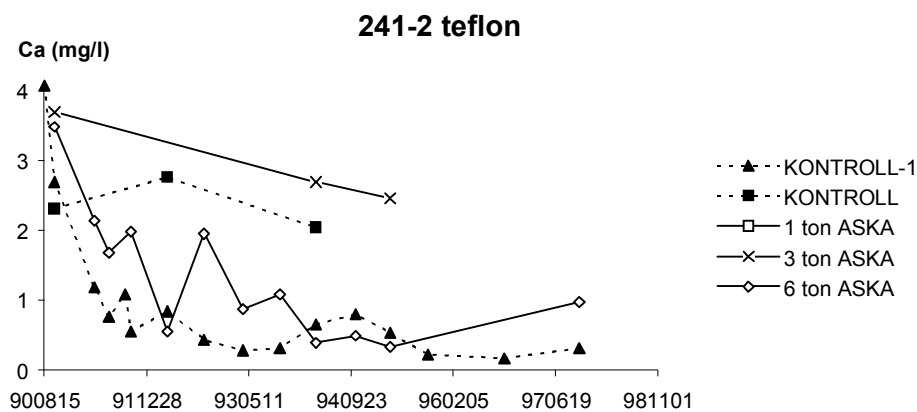
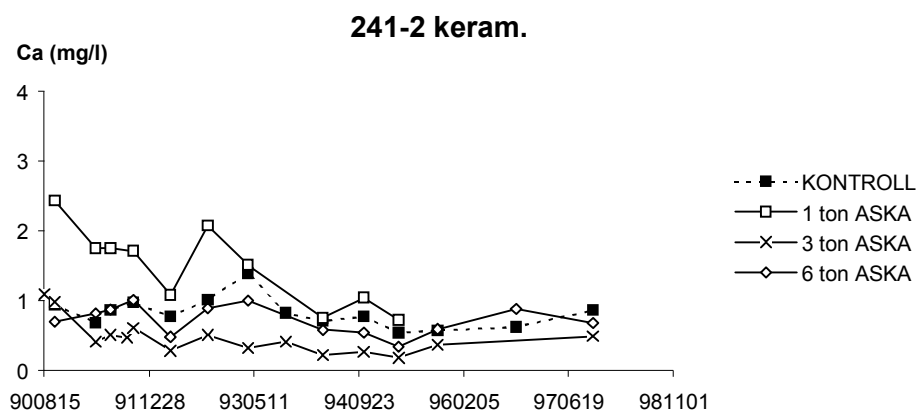
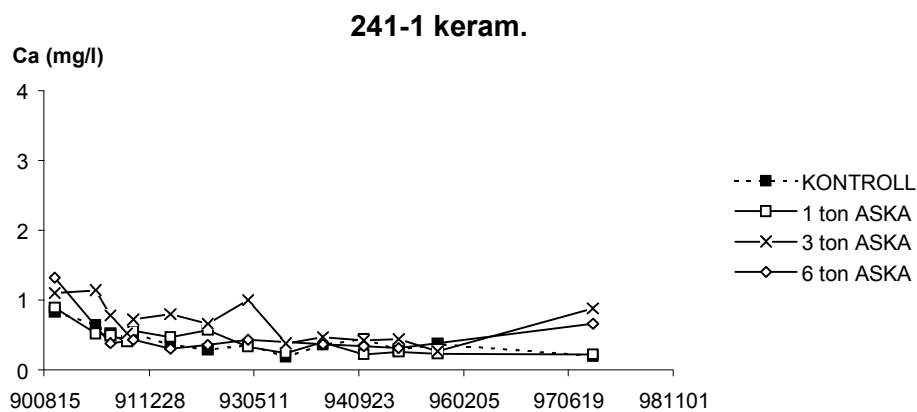


**Figur 3.**  
 Sulfathalten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup. Överst: prover från keramiska lysimetrar i block 1. I mitten: prover från keramiska lysimetrar i block 2. Nederst: prover från teflonlysimetrar i block 2 men notera att kontrollen i block 1 är inkluderad. Övriga lysimetrar i block 1 fungerade inte.

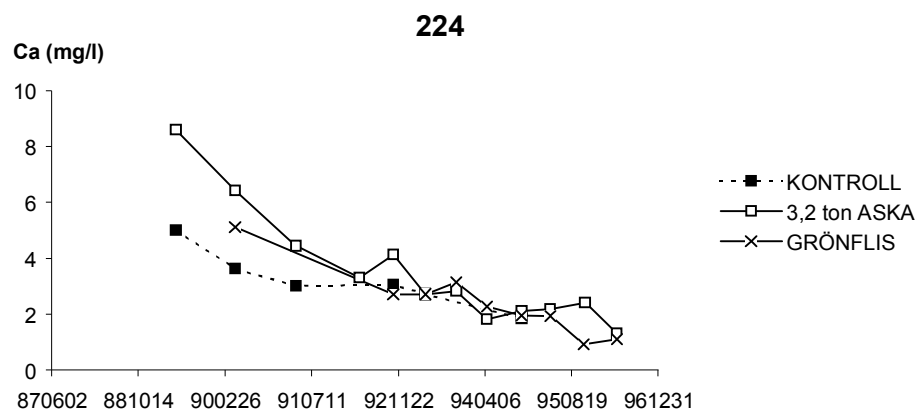
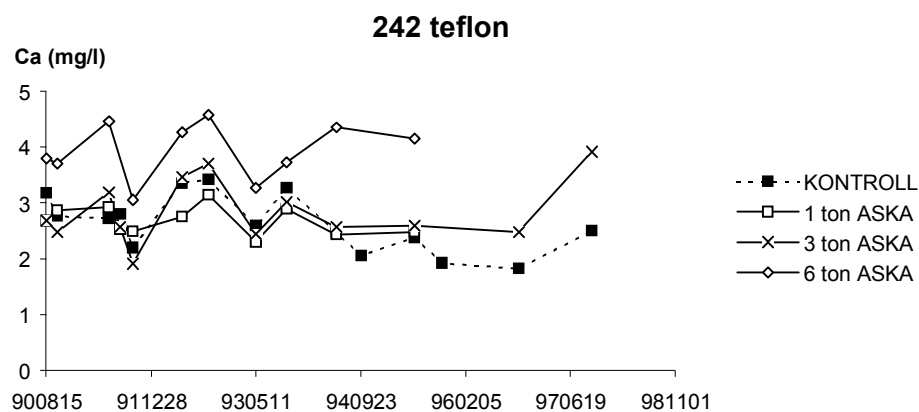
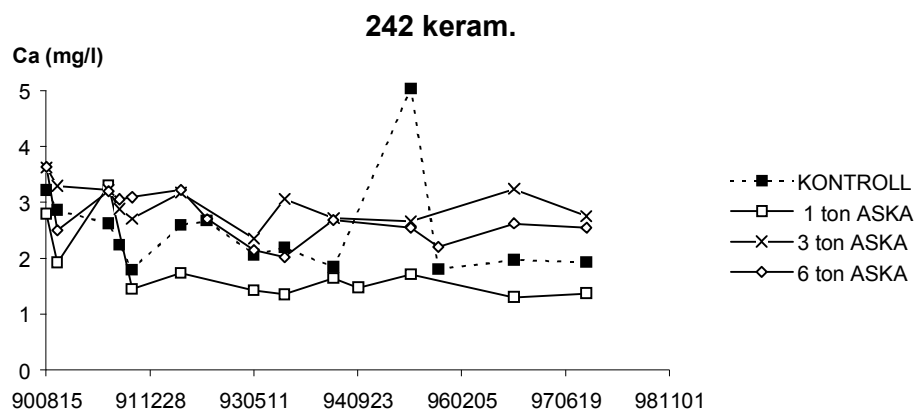


**Figur 4.**  
 Sulfathalten i markvattnet på 50 cm djup i 242 Vindel och 224 Olofström. Överst: prover från keramiska lysimetrar i 242 Vindel. I mitten: prover från teflonlysimetrar i 242 Vindel. Nederst: prover från keramiska lysimetrar i 224 Olofström.

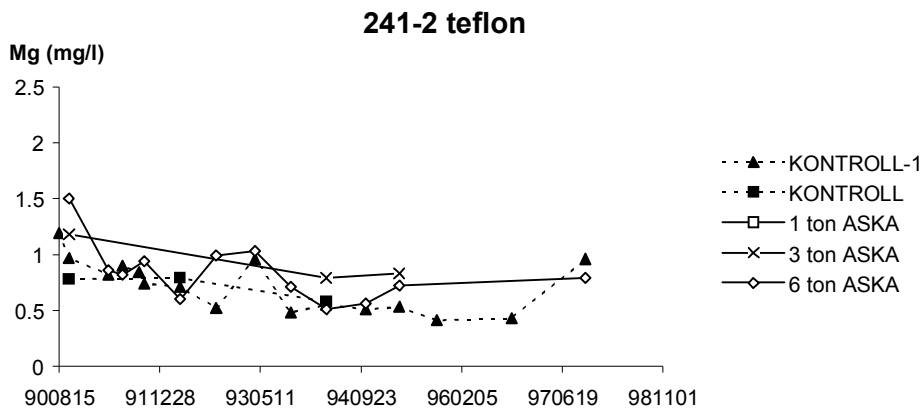
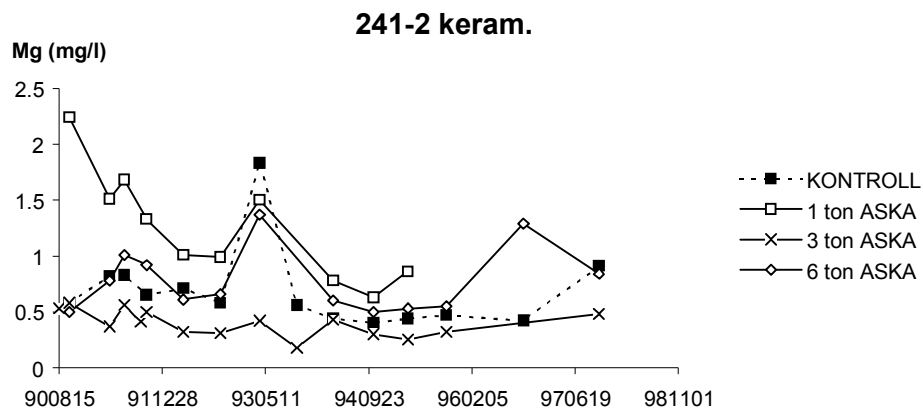
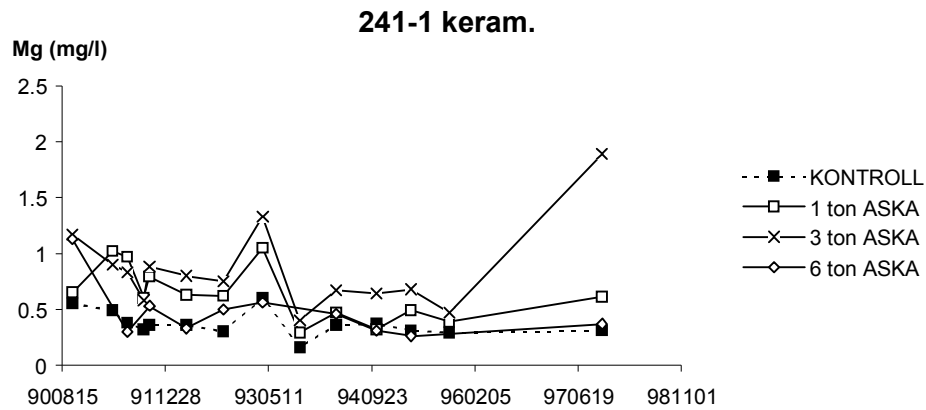




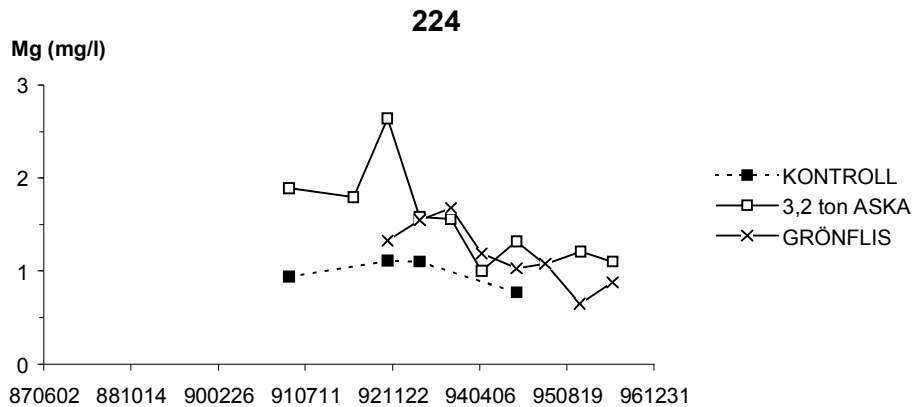
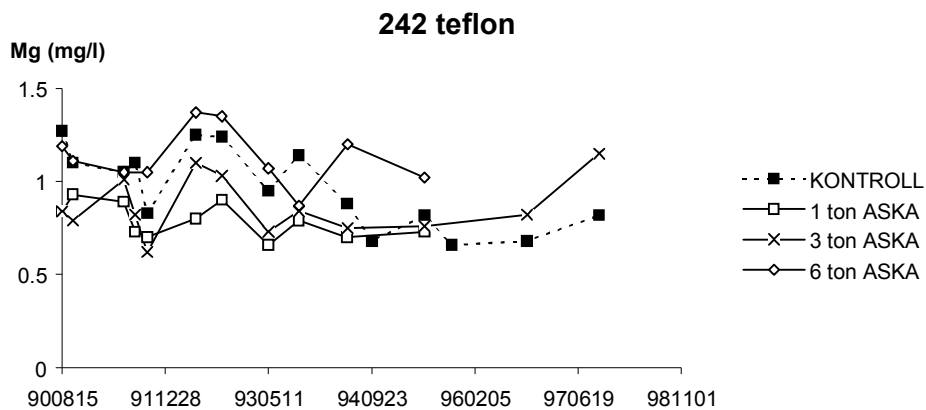
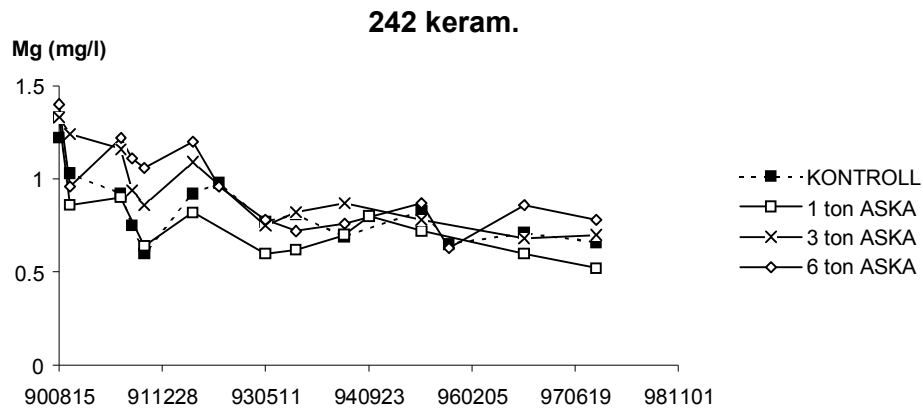
**Figur 5.** Ca-halten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup. Överst: prover från keramiska lysimetrar i block 1. I mitten: prover från keramiska lysimetrar i block 2. Nederst: prover från teflonlysimetrar i block 2 men notera att kontrollen i block 1 är inkluderad. Övriga lysimetrar i block 1 fungerade inte.



**Figur 6.**  
**Ca-halten i markvattnet på 50 cm djup i 242 Vindeln och 224 Olofström. Överst: prover från keramiska lysimetrar i 242 Vindeln. I mitten: prover från teflonlysimetrar i 242 Vindeln. Nederst: prover från keramiska lysimetrar i 224 Olofström.**

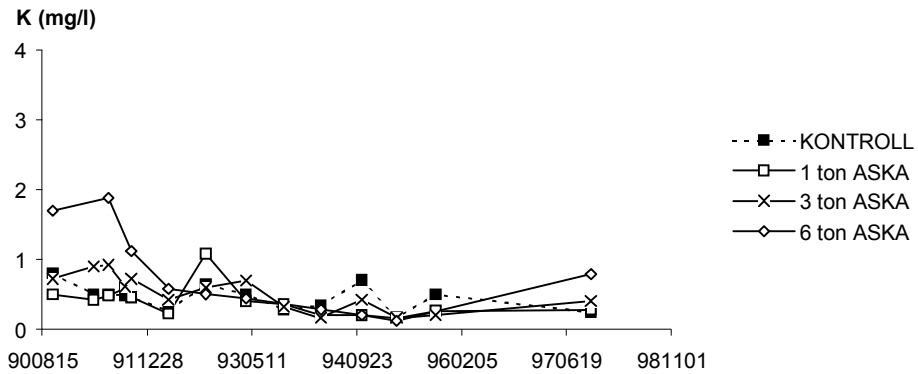


**Figur 7.**  
**Mg-halten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup. Överst: prover från keramiska lysimetrar i block 1. I mitten: prover från keramiska lysimetrar i block 2. Nederst: prover från teflonlysimetrar i block 2 men notera att kontrollen i block 1 är inkluderad. Övriga lysimetrar i block 1 fungerade inte.**

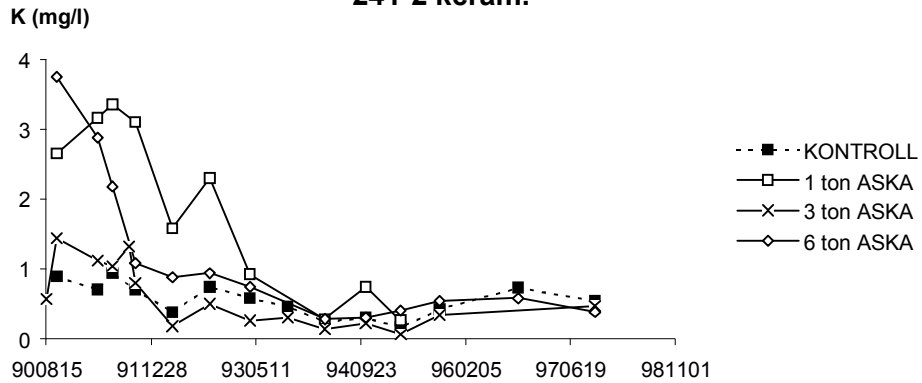


**Figur 8.**  
**Mg-halten i markvattnet på 50 cm djup i 242 Vindeln och 224 Olofström. Överst:**  
**prover från keramiska lysimetrar i 242 Vindeln. I mitten: prover från teflonlysimetrar**  
**i 242 Vindeln. Nederst: prover från keramiska lysimetrar i 224 Olofström.**

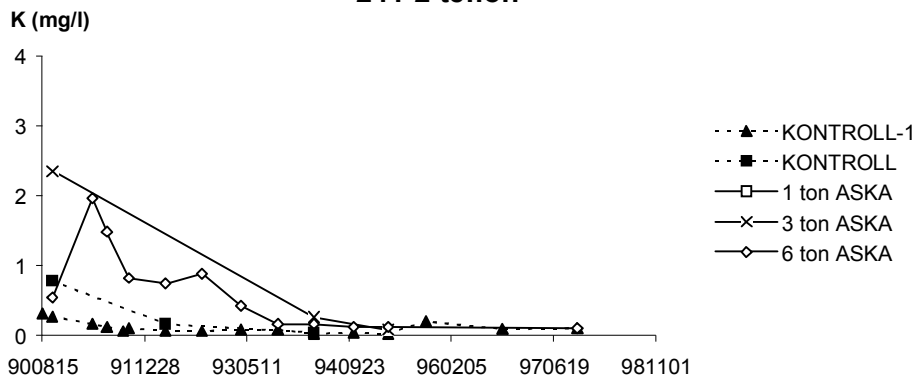
### 241-1 keram.



### 241-2 keram.

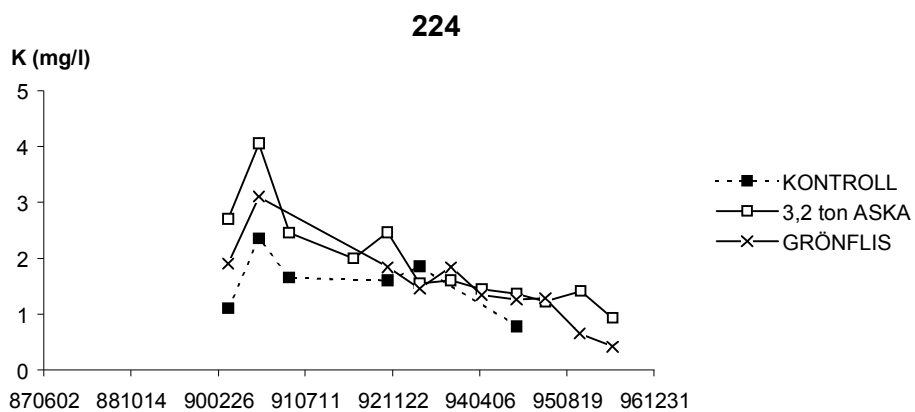
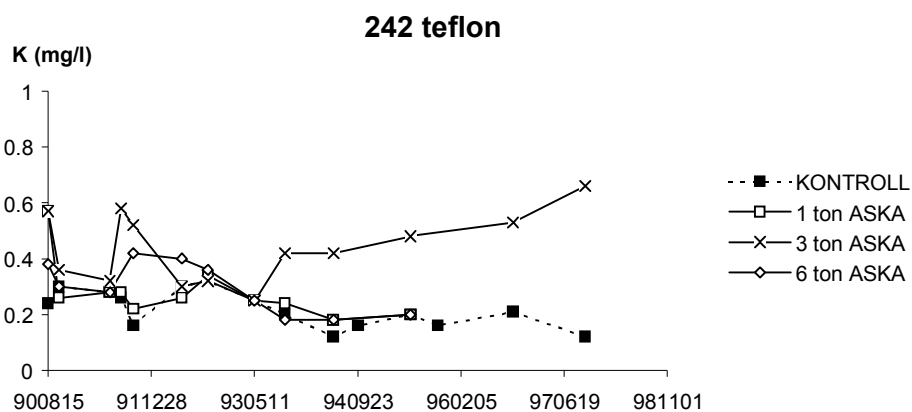
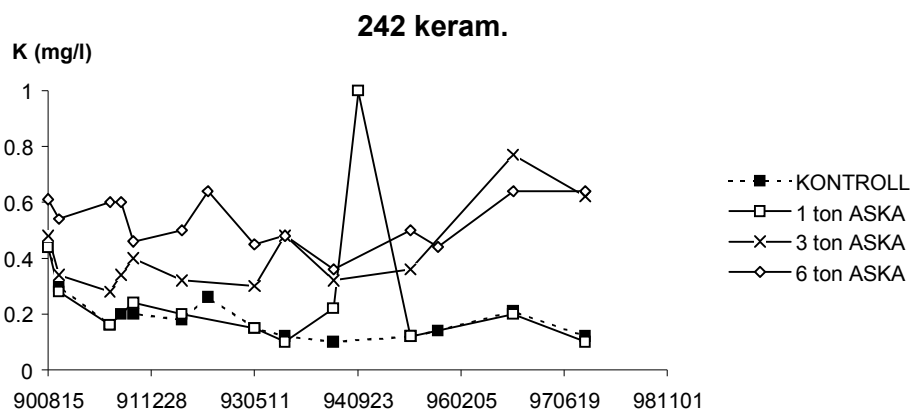


### 241-2 teflon

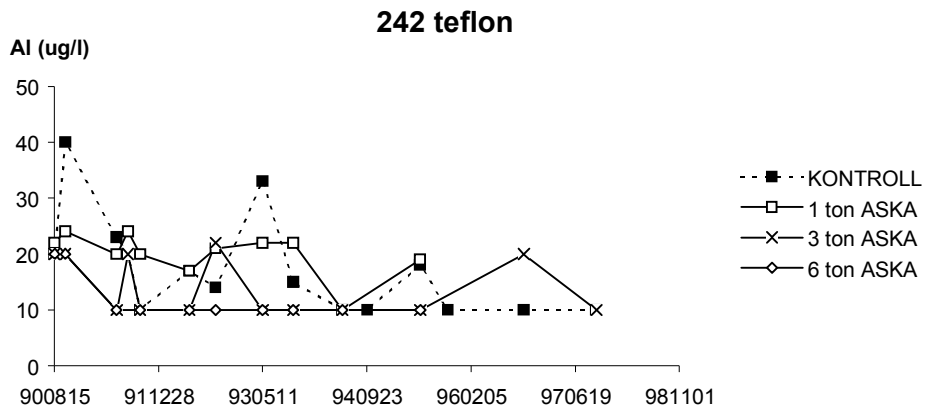
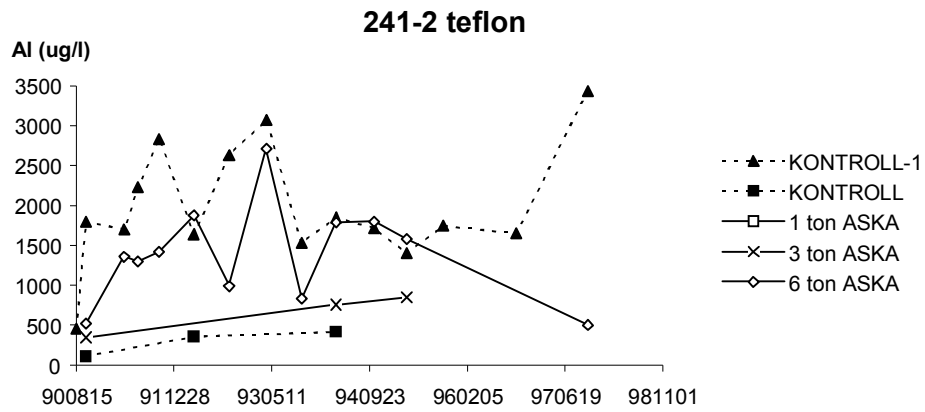


Figur 9.

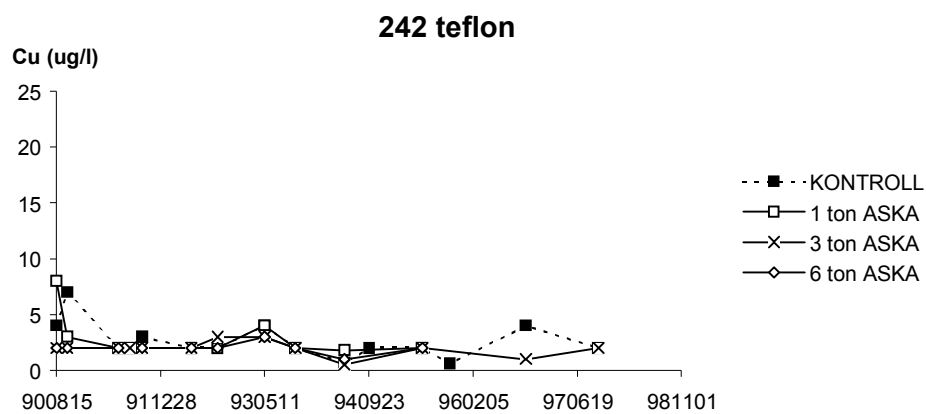
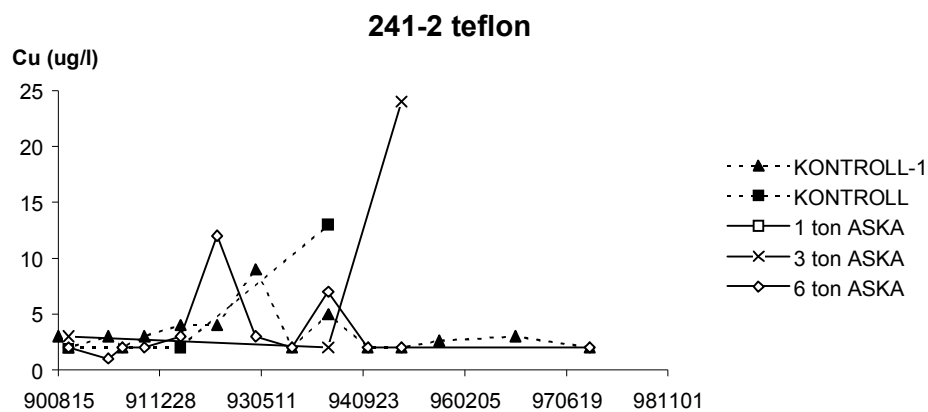
K-halten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup. Överst: prover från keramiska lysimetrar i block 1. I mitten: prover från keramiska lysimetrar i block 2. Nederst: prover från teflonlysimetrar i block 2 men notera att kontrollen i block 1 är inkluderad. Övriga lysimetrar i block 1 fungerade inte.



**Figur 10.**  
**K-halten i markvattnet på 50 cm djup i 242 Vindeln och 224 Olofström. Överst: prover från keramiska lysimetrar i 242 Vindeln. I mitten: prover från teflonlysimetrar i 242 Vindeln. Nederst: prover från keramiska lysimetrar i 224 Olofström.**

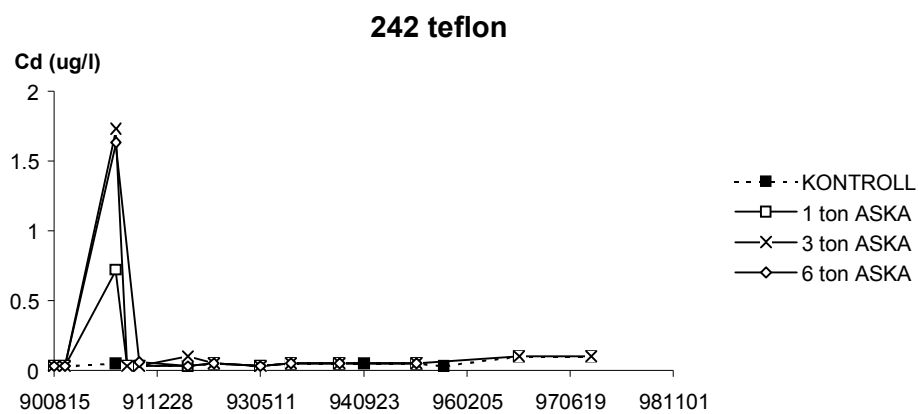
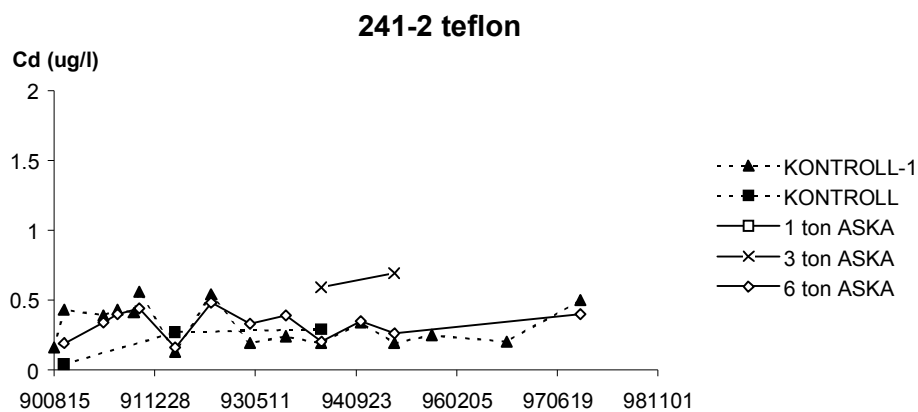


**Figur 11.**  
**Al-halten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup (överst, KONTROLL-1 är kontrollen i block 1) och 242 Vindeln (nederst). Proverna kommer endast från teflonlysimetrar. Detektionsgränsen var  $<10\text{-}20 \mu\text{g l}^{-1}$ .**



**Figur 12.**  
**Cu-halten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup (överst, KONTROLL-1 är kontrollen i block 1) och 242 Vindeln (nederst). Proverna kommer endast från teflonlysimetrar.**





**Figur 13.**  
**Cd-halten i markvattnet på 50 cm djup i 241 Torup (överst, KONTROLL-1 är kontrollen i block 1) och 242 Vindeln (nederst). Proverna kommer endast från teflonlysimetrar.**