



# rappport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Effekter av askåterföring till granplanteringar med ristäkt



Olle Westling Göran Örlander Ingvar Andersson

B 1552

Januari 2004

<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Box 47086 402 58 Göteborg	<b>Projekttitel/Project title</b> <b>Effekter av askåterföring till granplanteringar med tidigare ristäkt.</b>
<b>Telefonnr/Telephone</b> 031 7256200	<b>Anslagsgivare för projektet/</b>
<b>Rapportförfattare/author</b> Olle Westling och Ingvar Andersson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 47086, 402 58 Göteborg. Göran Örlander, Växjö Universitet, 351 95 Växjö.	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Effekter av askåterföring till granplanteringar med ristäkt.	
<b>Sammanfattning/Summary</b> Syftet med försöken var att studera effekterna av askåterföring på granplanteringar med tidigare ristäkt. Försöken utfördes på sammanlagt elva hyggen i Asa, Småland och på Tönnersjöheden, Halland. Askbehandlade provtytor jämfördes med ytor med och utan ristäkt där askåterföring inte skett. Denna rapport är koncentrerad på halter i markvatten och utlakning av baskatjoner och oorganiskt kväve från rotzonen, plantutveckling samt tillväxt av markvegetation, skillnader i effekter mellan färskt hygge och tre till sju år gamla hyggen, samt inverkan av markberedning. Ristäkten visade en tendens till att minska utlakningen av kväve de första åren efter avverkning. Med den minskade utlakningen av kväve följde även minskad utlakning av andra ämnen. Askgödslingen som utfördes när den akuta hyggeseffekten i stort sett var över gav i regel små effekter på utlakningen av olika ämnen med några undantag som kalium, sulfat och klorid. Askgödslingen på tre till sju år gamla hyggen gav inga effekter på utlakningen av kväve, men askgödsling på färskt hygge ökade utlakningen kortvarigt. Sex år efter behandling var plantornas volym signifikant högre på askbehandlade ytor än på ej behandlade kontrolltytor. Tillväxten var lägst där ristäkt utförts utan askgödsling och ökade som en följd av markberedning. När utlakningen av kväve stabiliserats på hygget tre till sex år efter avverkning noterades små, men signifikanta, skillnader i utlakning mellan markberedda försöksled och övriga behandlingar.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> Skogsbruk, ristäkt, askgödsling, markberedning, utlakning, planttillväxt	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report B1552	
<b>Beställningsadress för rapporten /Ordering address</b> e-post: <a href="mailto:publikationsservice@ivl.se">publikationsservice@ivl.se</a> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> Fax: 08-598 563 90 Brev: IVL, Publikationsservice, Box 210 60, S-100 31 Stockholm	

# Innehåll

Sammanfattning .....	4
1 Introduktion .....	5
2 Syfte med försöken .....	6
3 Metodik.....	6
3.1 Försökslokaler.....	6
3.2 Försöksled .....	7
3.3 Askgödsling.....	8
3.4 Mätmetoder .....	10
3.5 Kemiska analyser och databearbetning .....	10
4 Effekter av riståkt, askgödsling och markberedning på hyggen .....	12
4.1 Utlakning från rotzonen .....	12
4.1.1 Effekter av riståkt.....	15
4.1.2 Effekter av askgödsling.....	21
Oorganiskt kväve .....	22
Aluminium och vätejoner .....	24
4.1.3 Effekter av askgödsling på färskt hygge .....	27
4.1.4 Effekter av markberedning.....	28
4.1.5 Utlakningsförlopp och arealförluster .....	33
4.2 Plantutveckling och markvegetation .....	42
5 Slutsatser.....	45
6 Referenser .....	47

## Sammanfattning

Syftet med försöken var att studera effekterna av askåterföring på granplanteringar med tidigare ristäkt. Försöken utfördes på sammanlagt elva hyggen i Asa, Småland och på Tönnersjöheden, Halland. Askbehandlade provytor jämfördes med ytor med och utan ristäkt där askåterföring inte skett. Denna rapport är koncentrerad på halter i markvatten och utlakning av baskatjoner och oorganiskt kväve från rotzonen, plantutveckling samt tillväxt av markvegetation. Studien utfördes på färskt hygge samt tre till sju år gamla hyggen. Dessutom studerades inverkan av markberedning i kombination med askgödsling. Mätningen pågick under hela perioden från plantering 1993 t.o.m. 1999. Tillväxten mättes 2002, tio år efter plantering.

Slutavverkning av skog som skapar kalhyggen leder till en rad kraftiga fysiska och biologiska förändringar av ståndorten. De närmaste åren efter hyggesupptagningen dominerar effekterna av själva avverkningen. Den lokala variationen i effekter av kalhuggning är relativt stor vilket gör att tillkommande effekter av ristäkt är svåra att statistiskt belägga under den akuta hyggesfasen. Ristäkt visade en tendens att minska utlakningen av kväve de första åren efter avverkning. Med den minskade utlakningen av kväve följde även minskad utlakning av andra ämnen. När utlakningen av kväve klingat av på hygget kvarstod en skillnad där utlakningen var något lägre av ämnen efter ristäkt jämfört med om riset lämnats kvar. Ristäkt gav jämfört med ej ristäkt en lägre tillväxt på plantorna, men skillnaden var inte statistiskt säkerställd. Askgödslingen som utfördes när den akuta hyggeseffekten i stort sett var över gav i regel små effekter på utlakningen av olika ämnen med några undantag. Vissa lättlösliga ämnen som utgör en betydande andel av askan som kalium, sulfat och klorid uppvisade en betydligt högre utlakning än den normala från plantskog utan askgödsling. Behandlingen ristäkt+aska innebar dock att markens tillgång på kalcium, magnesium och kalium var större vid försökets slut än i försöksledet utan ristäkt, även med hänsyn tagen till den mängd som förts bort vid ristäkten samt förhöjd utlakning efter askgödsling. Askgödslingen medförde även viss ökad utlakning av andra baskatjoner än kalium. Askgödslingen på tre till sju år gamla hyggen gav inga effekter på utlakningen av kväve. Askgödsling på färskt hygge ökade kortvarigt utlakningen av kväve under första året efter behandlingen.

Askgödslingen påverkade inte utvecklingen av markvegetationens biomassa och täckningsgrad, samt plantornas tillväxt under det första året efter behandling. Sex år efter behandling var plantornas volym signifikant högre på askbehandlade ytor än på ej behandlade kontrolltor. Tillväxten var lägst där ristäkt utförts utan askgödsling, och ökade som en följd av markberedning.

När utlakningen av kväve stabiliserats på hygget tre till sex år efter avverkning noterades små, men signifikanta, skillnader i utlakning mellan markberedda försöksled och övriga behandlingar. Generellt ökade utlakningen något efter markberedning för ämnen som representerar både katjoner och anjoner. Exempel på minskad utlakning efter markberedning var relativt få, men det finns inga signifikanta exempel i denna undersökning på att utlakningen av oorganiskt kväve ökat efter markberedning.

# 1 Introduktion

Utnyttjandet av skogsbränslen, som ersätter fossila bränslen, är ett sätt att bidra till minskade nettoutsläpp av växthusgaser i samband med energiproduktion. Ett uttag av biomassa i form av ristäkt på en stor del av gallrings- och hyggesarealen kan orsaka betydande nettoförluster av främst baskatjoner från skogsekosystemet, i synnerhet i områden där utlakningen är förhöjd på grund av ett stort nedfall av försurande luftföroreningar. I områden med stort kvävenedfall kan dock ristäkt medföra att en oönskad upplagring av kväve motverkas. Ett långsiktigt hållbart utnyttjande av biomassa från skogen förutsätter att näringsförråden inte utarmas, vilket kan göra att produktionsförmågan minskar.

Om stamvedsuttag kombinerat med ristäkt skall kunna utföras på flertalet ståndorter utan nettoförluster av näringsämnen krävs sannolikt en kompensationsgödsling med närings- och spårämnen. Ett lämpligt gödselmedel är vedaska från värme- och kraftproduktion som utnyttjar skogsbränslen. Askan har en allsidig sammansättning och en återförsel till skogsmarken kan kompensera för den del av näringsförlusten (utom kväve) som ristäkten står för. Viktigt är att askan har lämpliga egenskaper med avseende på syranneutralisering, tillförsel av tillgängliga näringsämnen och låga föroreningshalter (främst tungmetaller).

En konsekvent kompensationsgödsling med vedaska syftar till att långsiktigt bibehålla en näringsbalansen. Den kan utföras under en stor del av skogens omloppstid, men av praktiska skäl har en gödsling kort efter plantering (ett till sex år) fördelar i ett framtida storskaligt system för askåterföring. Trots detta finns få försök som belyser effekterna av askgödsling på färsk hyggen. Askgödsling där ristäkt utförts bör därför prövas så att den avsedda näringskompenseringen kan dokumenteras. Även risken för negativa effekter i form av ökad kväveutlakning samt påverkan på planttillväxt bör undersökas i kontrollerade experiment.

Sedan 1989 har SLU utfört försök med ristäkt följt av plantering med gran i försöksparkerna i Asa och på Tönnersjöheden inom det så kallade ”hyggesåldersförsöket”. Försöken har omfattat en intensiv dokumentation av effekter på plantor, övrig vegetation samt mark- och markvatten (Örlander m.fl. 1996, Nilsson & Örlander 1999). Bland annat har utlakningen av näringsämnen från provytor med och utan ristäkt undersökts av SLU och IVL (Örlander m. fl., 1997). Dessa försök har i denna studie kompletterats med askåterföring efter det att plantorna uppnått lämplig ålder. På så sätt kan experimentet (som omfattar alla faserna från avverkning till askåterföring efter plantering) beskriva hela förloppet i föryngringsfasen fram till det att en plantskog är etablerad och kompensationsgödsling med aska skett. Denna rapport redovisar främst effekter på markvatten, markvegetation och planttillväxt av askgödsling. Dessutom redovisas resultat från studierna av ristäkten i sig samt inverkan av markberedning.

Försöken har finansierats av NUTEK, Vattenfall Utveckling AB, IVLs samfinansierade forskningsprogram och Energimyndigheten under perioden 1996 till 2000.

## 2 Syfte med försöken

Försöken med askgödsling hade sin utgångspunkt i att ristäkt efter slutavverkning, jämfört med kvarlämnat ris, leder till en minskning av förrådet av baskatjoner och kväve. En minskning av kväveförrådet i områden med högt atmosfäriskt nedfall av kväve kan minska risken för utlakning. Minskade förråd av baskatjoner är dock inte önskvärt, i synnerhet på försurade marker med svag vittringsförmåga. Askåterföring några år efter plantering är en realistisk skogsskötselåtgärd som kan kompensera för baskatjonförluster i samband med ristäkt, utan att påtagliga negativa effekter uppstår.

I försöket studerades effekterna av askåterföring på granplanteringar med tidigare ristäkt. Askbehandlade provytor jämfördes med ytor med och utan ristäkt där askåterföring inte skett. I denna studie behandlas:

- utlakning av baskatjoner och oorganiskt kväve från rotzonen.
- plantutveckling samt tillväxt av markvegetation.
- skillnader i effekter när askbehandlingen skett vid olika hyggesålder.
- inverkan av markberedning i kombination med askgödsling på utlakning, plantutveckling och markvegetation.

## 3 Metodik

### 3.1 Försökslokaler

Försökslokalerna är belägna i Asa, Småland och på Tönnersjöheden, Halland. Båda lokalerna har en förhöjd belastning av försurande luftföroreningar, men den högsta ackumulerade depositionen av svavel och kväve finns på Tönnersjöheden.

Inom det sydsvenska forskningsprogrammet pågår sedan 1989 ett projekt "hyggesålder". Projektet drivs på två lokaler i Småland (Asa) och två lokaler i Halland (Tönnersjöheden). Fullständiga effektmätningar (inklusive näringsläckage) i projektet utförs på två (en i Asa, respektive Tönnersjöheden) av de fyra lokalerna. Varje år under en 5-års-period har ett nytt hygge tagits upp på respektive lokal. Totalt ingår 20 hyggen och fyra orörda referensområden i försöket. Varje hygge är delat i två delar där halva hygget risrensats (energiflis), så att ca 80 % av rismängden tagits bort. På andra halvan lämnades hyggesavfallet (utspjitt). Försöksled med markberedning omfattade högläggning, i detta försök utförd i april 1993, där högarna placeras på blottad mineraljord. Den störda arealen på markberedda provytor uppskattades till i genomsnitt 45 %.

Försöksmarkerna representerar högproduktiv barrskog - såväl gran- som blandskog gran/tall på sur moränmark. En beskrivning av de två lokaler som ingår i försöken med askgödsling framgår av tabell 1. Då försöket har etablerats under en 5-års-period möjliggörs studier av

årsmånseffekter. Följande faktorer har generellt studerats som en effekt av hyggets ålder och olika behandlingar:

- vegetationsinväxning
- hydrologiska förändringar (markfuktighet och grundvattenytans läge)
- fysikaliska förändringar (t.ex. marktemperatur, beskuggning)
- plantornas tillväxt och skador på plantor
- långsiktiga tillväxtstudier
- utlakning av näringsämnen (mellan 1993 och 1999)

Tabell 1. Beskrivning av lokalerna där askförsöken utförts.

	<b>Asa</b>	<b>Tönnersjöheden</b>
	<b>Bråtarna</b>	<b>Strömna</b>
Höjd över havet, m	245	60
Markfuktighetsklass	Frisk	Torr
Jordart	Sandig-moig morän	Sand
Vegetationstyp	Blåbär	Ingen
Ståndortsindex, H100	G 28	G 31
Trädslagsblandning, tall : gran	43 : 57	1 : 99
Beståndets ålder vid avverkning, år	85	75
Volym vid avverkning, m <sup>3</sup> sk per ha	300	350
Stammar per ha vid avverkning	590	380

En mer detaljerad beskrivning av hyggesåldersförsöket finns i Nilsson & Örlander (1999). Som komplement till hyggesåldersförsöket utfördes askgödsling på ett färskt hygge i Asa, där markvattenmätningar kunde starta nära efter avverkning. Detta hygge låg i samma ursprungliga bestånd som hyggesåldersförsökets lokal Bråtarna (tabell 1)

### 3.2 Försöksled

Försöket med askgödsling omfattade sex försöksled med tre till fem upprepningar. Mätningar inklusive markvattenundersökningar i försöksleden utan asktillförsel etablerades redan 1993 inom hyggesåldersförsöket. De nya försöksleden med aska etablerades 1996. Samtliga gamla och nya försöksled lottades ut på provytorna inom respektive block. En översikt över försöksled, avverkningsår, antalet provytor och provtagna lysimetrar framgår av tabell 2.

De sex försöksleden med fem upprepningar på respektive lokal är utlagda på hyggen avverkade årligen mellan 1989 och 1993. Försöket med askspridning på färskt hygge i Asa, avverkades vintern 1995/1996. Det har tre upprepningar med ris och askbehandling, men saknade

försöksled med markberedning. Provytor med markvattenmätningar hade storleken 5 m\*5 m i Asa och 7,5 m\*7,5 m i Tönnersjöheden. På hygget i Asa som avverkades vintern 1995/1996 var provytorna 15 m\*15 m stora. Produktionsförsöket omfattade även ytor som är 20 m\*20 m. Provytor som ingår i denna studie är samtliga planterade 1993 med gran, proveniens Maglehem, oavsett avverkningsår.

Tabell 2. Översikt över försöksled, avverkningsår, antal provytor och provtagna lysimettrar.

Försöksled	avverkning	Asa		Tönnersjöheden	
		antal prov- ytor.	antal lysimet- trar	antal prov- ytor.	Antal lysi- mettrar
aska+ristäkt	89-91	3	3	3	3
aska+ristäkt+markberedning.	89-91	3	3	3	3
ristäkt	89-91	3	3	3	3
ristäkt+markberedning.	89-91	3	3	3	3
ej ristäkt	89-91	3	6	3	6
ej ristäkt+markberedning.	89-91	3	6	3	6
aska+ristäkt	92-93	2	2	2	2
aska+ristäkt+markberedning.	92-93	2	2	2	2
ristäkt	92-93	2	2	2	2
ristäkt+markberedning.	92-93	2	2	2	2
ej ristäkt	92-93	2	4	2	4
ej ristäkt+markberedning.	92-93	2	4	2	4
aska+ristäkt	95-96	3	6		
ristäkt	95-96	3	6		
ej ristäkt	95-96	3	6		

### 3.3 Askgödsling

Den aska som användes i försöket var härdad och krossad aska från Ljungby värmeverk med relativt stor inblandning av bark utöver GROT flis i bränslet. Den färska lösaskan befuktades med vatten vilket gör att askan kan självhärda. Efter härdning krossades askan och siktas till önskad kornstorlek. Dosen var 3 ton per ha och spridningen skedde för hand i december 1996. Dosen var anpassad till att med visst överskott kompensera (tabell 3) för den beräknade näringsförlusten som ristakten medförde (tabell 4). Dosen 3 ton/ha är även den högsta rekommenderade i Skogsstyrelsen rekommendationer för GROT-uttag och kompensationsgödsling (Anon. 2001).

Den använda askan hade ett relativt högt näringsinnehåll, jämfört med medianvärden för analyserade askor i Sverige (Jönsson & Nilsson 1996).



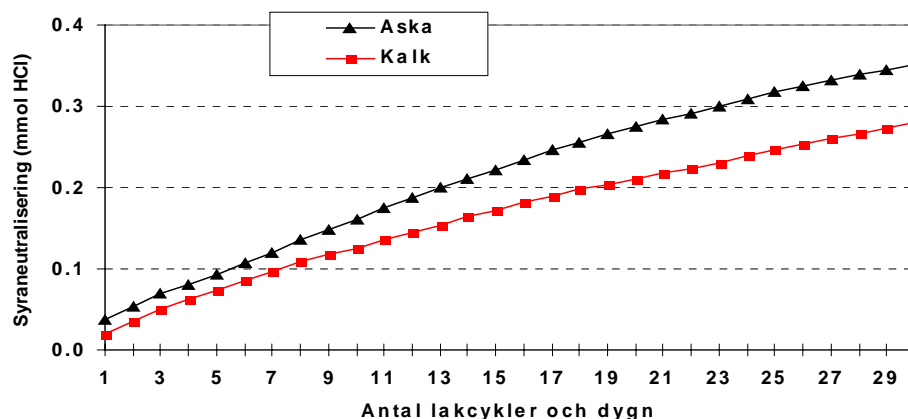
Tabell 3. Näringstillförsel med 3 ton/ha härdad och krossad aska i försöket

Tillfört med 3 ton/ha aska	Ca	Mg	K	P	Na	Mn	Fe
kg/ha							
	680	75	200	45	15	70	20

Tabell 4. Genomsnittlig bortförsl av näringsämnen i grenar och barr där 80 % av riset togs ut.

Bortfört med ristäkt inklusive barr	Ca	Mg	K	P
kg/ha				
Asa	137	24	103	27
Tönnersjöheden	182	31	129	35

Figur 1 beskriver den använda krossaskans syraneutraliserande förmåga med en lakningsmetod som använder upprepad lakning med pH-justerat vatten (pH 4,0). Jämförelsen med krossad kalksten ( $\text{CaCO}_3$ ) visar att den ackumulerade syraneutraliserande förmågan hos askan var relativt hög, jämfört med många andra träaskor. Lakningsmetoden, och exempel på egenskaper hos andra askor jämfört med krossad kalksten, finns beskriven i Larsson & Westling (1999).



Figur 1. Den i försöket använda krossaskans syranneutraliserande förmåga. Undersökningen gjordes med en lakningsmetod som använder upprepad lakning med pH-justerat vatten (pH 4,0), och jämfördes med krossad kalksten ( $\text{CaCO}_3$ ).

### 3.4 Mätmetoder

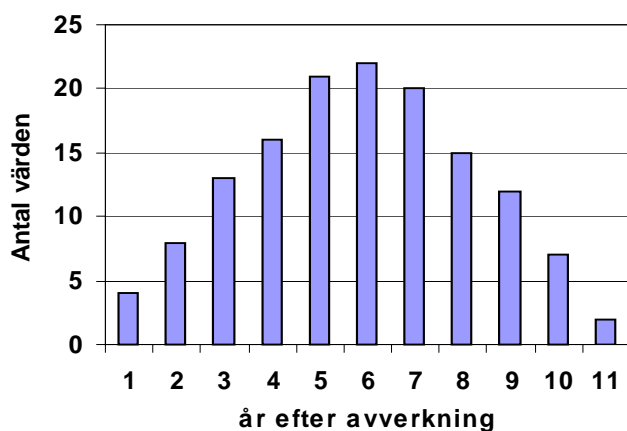
Utlakningen av olika ämnen uppskattades med hjälp av undertryckslysimetrar (typ P80) placerades på 50 cm djup i mineraljorden. Antalet lysimetrar på respektive lokal och provyta framgår av tabell 2. Provtagning utfördes tre till fem gånger per år beroende på vattentillgång. Alla lysimetrar analyserades individuellt med undantag för provtytor med två lysimetrar i samma behandling där proven slogs ihop före analys.

Plantmätning i denna studie utfördes vid två tillfällen (1997 och 2002) och vegetationsprovtagning (biomassamätning) vid ett tillfälle (hösten 1997) med metodik redovisad i Nilsson m. fl. (1994). Effekter av askgödslingen på *markvegetationen* bedömdes baserat på uppmätt täckningsgrad och biomassa. Motsvarande bedömning av effekter på *plantor* baserades på uppmätt toppskottstillväxt och beräknad stamvolym 1997 samt på höjd och beräknad stamvolym 2002.

### 3.5 Kemiska analyser och databearbetning

De kemiska analyserna av *markvatten* omfattade pH, kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ), klorid (Cl), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), organiskt kol (TOC) samt järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Al). Data som beskriver hela förloppet i markvattnets kemi från avverkning till plantskog har i regel bearbetats så att medelvärden uttrycker år efter avverkning, vilket gör att data från olika provtagningsår ingår i medelvärdet. Det gör att årsmånseffekter undviks, men leder även till att antalet värden (upprepningar) som ingår i ett medelvärde från en lokal och ett försöksled varierar från 1 till 11 år efter avverkning (se figur 2). Antalet värden kulminerar 6:e året efter avverkning (1993) då alla hyggen är upptagna och lysimetrar är installerade och provtagna i alla provtytor. Försöksdesignen är identisk på lokalerna Asa och Tönnersjöheden. Även om halterna i markvatten inte är omräknade till arealförluster indikerar de skillnader i utlakning från

rotzonen mellan olika försöksled eftersom vattenflödena inte antas variera mellan försöksleden.



Figur 2. Antal provtagningar av markvatten för respektive försöksled vilka ingår i jämförelsen mellan ej riståkt och riståkt på en lokal, med och utan markberedning, som funktion av år efter avverkning.

Behandlingseffekter av askgödslingen 1996 på markvatten redovisas baserade på tidsserier oberoende av avverkningsår. Statistisk signifikanta effekter analyserades med T-test baserat på de enskilda provtagningstillfällena och upprepningar i respektive försöksled.

Vattenflödet genom marken under perioden 1996 till 1999 (tabell 5) beräknades baserat på uppmätta nederbördsmängder och tidigare modellberäknade förhållanden mellan nederbörd och avrinning under perioden 1993 till 1996 (Örlander m. fl., 1997), med hänsyn tagen till att vegetationen etablerats ytterligare (ökar transpirationen) på hyggena efter 1996. Beräknade vattenmängder användes för att uppskatta faktisk utlakning av olika ämnen, samt utlakning av näringsämnen i askgivan under fyra år.

Tabell 5. Uppskattad avrinning från 50 cm djup i marken baserat på 55 % respektive 65 % av nederbörden i Asa och Tönnersjöheden.

År	Asa mm	Tönnersjöheden mm
1996	231	564
1997	373	712
1998	606	835
1999	512	623

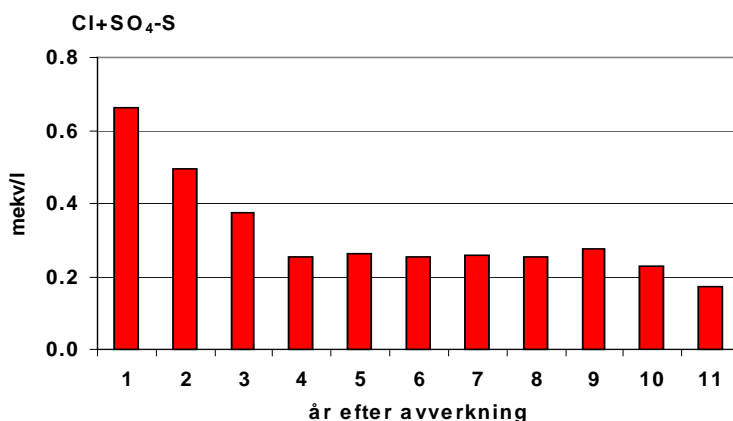
## 4 Effekter av riståkt, askgödsling och markberedning på hyggen

### 4.1 Utlakning från rotzonen

Slutavverkning av skog som skapar kalhyggen leder till kraftiga fysiska och biologiska förändringar av ståndorten. Förutom direkta förändringar av temperatur- och vindförhållanden samt solinstrålning till marken höjs grundvattenytan och avrinningen ökar. Nedbrytningen av organiskt material fortsätter i minst samma omfattning som innan avverkningen, men upptaget av näringsämnen minskar drastiskt till dess att ny hyggesvegetation är etablerad. Dessa förändringar bidrar tillsammans med minskad torrdeposition till att förutsättningarna som styr de biogeokemiska processerna blir kraftigt förändrade. Dessutom innebär hyggesfasen att marken på en gång tillförs en stor mängd förna (under förutsättning att avverkningsrester lämnas) som med varierande hastighet kan omsättas och ytterligare påverka flöden inom och ut från marken.

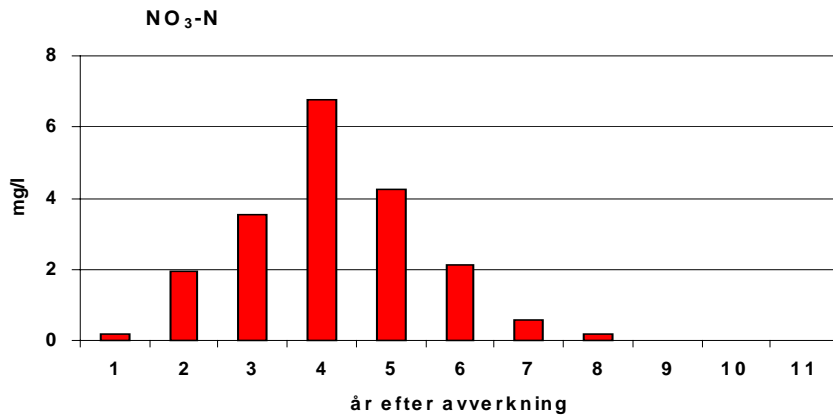
Processer på hygget samverkar även med de nederbördsförhållanden, atmosfärisk deposition samt markegenskaper. De två försöksområdenas markförhållanden skiljer sig åt (tabell 1), liksom även depositionen. Tönnersjöheden är mer påverkat av både naturligt förekommande havssalter och försurande ämnen i form av svavel och kväve än det östligare belägna Asa (Hallgren Larsson 2003). Olika ämnens respons i markvatten efter hyggesupptagningen kan delas in i tre kategorier:

1) Ämnen som i stor utsträckning tillförs genom torrdeposition till träden, till exempel havssalter och svavel, minskar påtagligt efter avverkning. Figur 3 visar ett exempel från ett försöksled på Tönnersjöheden där halterna av sulfat och klorid, som har förmågan att relativt snabbt tränga genom marken och komma ut i markvattnet, minskar efter några år och stabiliserar på en ny nivå som motsvarar depositionen på ett öppet fält.



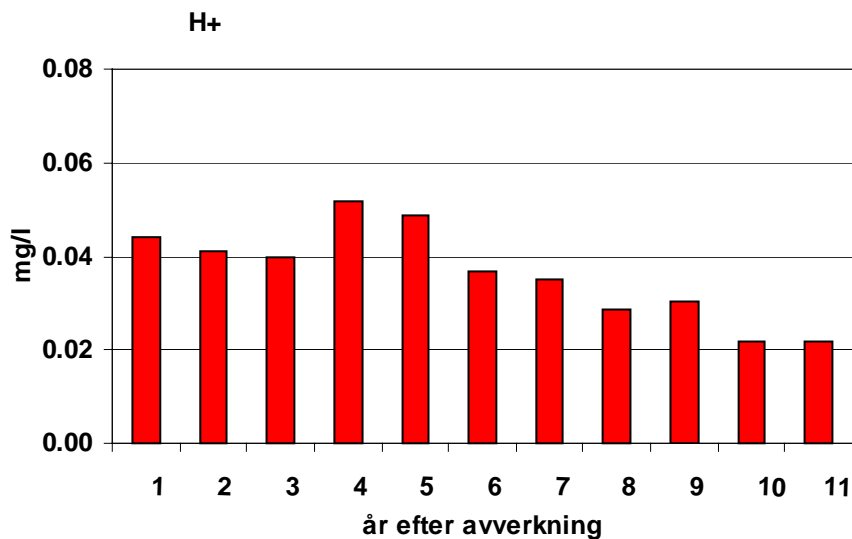
Figur 3. Medelvärden av halter i markvatten av sulfatsvavel och klorid olika år efter avverkning. Exemplet avser försöksledet utan riståkt och med markberedning på Tönnersjöheden.

2) Halterna av vissa näringsämnen, främst kalium och oorganiskt kväve (nitrat och ammonium) påverkas huvudsakligen av förändrade processer på hygget i form av ökad nedbrytning och omsättning av kväve (nitrifikation), samt inte minst drastiskt minskat upptag i vegetation. Ett exempel på hur nitrathalten i markvatten förändras efter avverkning visas i figur 4. Några år efter hyggesupptagningen kulminerar förekomsten av löst nitrat som kan utlakas från rotzonen.



Figur 4. Medelvärden av halter i markvatten av nitratkväve olika år efter avverkning. Exemplet avser försöksledet utan riståkt och med markberedning på Tönnersjöheden

3) Den tredje kategorin är ämnen som påverkas av kombinationen av ovanstående förändringar, i första hand markens syra-bas status och förekomsten av mobila anjoner som transporterar katjoner som aluminium och kalcium, lösta i markvattnet, genom markprofilen.

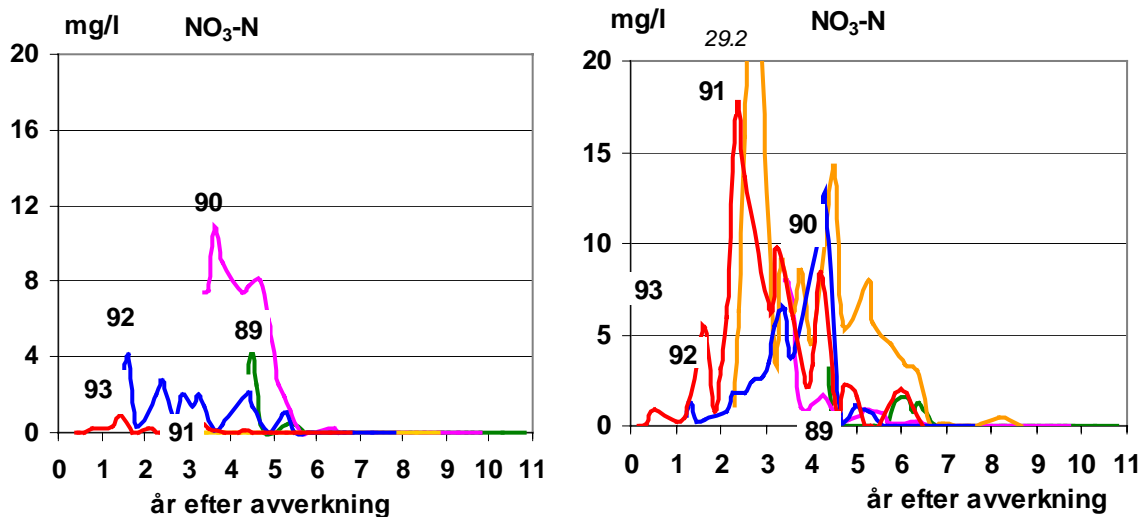


Figur 5. Medelvärden av halter i markvatten av vätejoner olika år efter avverkning. Exemplet avser försöksledet utan riståkt och med markberedning på Tönnersjöheden.

Figur 5 visar halten vätejoner i markvatten där många processer inverkar, men den högsta halten (lägsta pH-värdet) noteras i samband med att den syrabildande nitrifikationen är som störst. Under senare delen av perioden minskar nitrifikationen och dessutom är depositionen av försurande luftföroreningar lägre än i skogen som fanns före hygget, vilket minskar halten vätejoner i markvattnet (pH stiger).

Markvattnets reaktion på kraftiga förändringar som kalavverkning är oftast konsekvent, men naturliga variationer mellan olika lokaler och provytor kan bidra med en betydande spridning i storleken på effekten. Denna studie använder dessutom data från ett försök där årmanseffekterna också bidrar till variationen eftersom hyggena inte är avverkade samma år. Försöket ger därför en realistisk bild av hur stor variationen i effekt på markvatten av till exempel riståkt kan vara med hänsyn till både rumsliga olikheter och mellanårsskillnader främst i väder. Samtidigt bidrar den stora variationen till att det kan vara svårt att med konventionella statistiska metoder visa på signifikanta behandlingseffekter. Därför kompletteras redovisningen med att med hjälp av tidsserier ge en visuell bild av utvecklingen av markvattenkvalitén efter avverkning, riståkt, markberedning och askgödsling, med kommentarer om behandlingseffekternas säkerhet.

Figur 6 ger ett exempel på variationen i nitratkvävehalter i markvatten efter avverkning. N-halterna i Asa varierade mellan kraftig och relativt långvarig ökning (hygge upptaget 1990) till mycket liten och kortvarig inverkan (hygge upptaget 1993). Lokalen på Tönnersjöheden uppvisade en kraftig ökning i alla upprepningar, men spridningen var stor, både i maximala halter och förlopp. Hygget från 1993 visade höga halter tidigt efter avverkning, medan halterna på hygget från 1992 kulminerade först efter tre till fyra år efter avverkning.



Figur 6. Tidsserier av halter i markvatten av nitratkväve i försöksledet "ej riståkt" uppmätta mellan 1993 och 1999. Hyggena avverkades mellan 1989 och 1993 (beteckningarna inne i figuren). Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

#### 4.1.1 Effekter av ristäkt

De signifikanta behandlingseffekterna av ristäkt på arealförluster från 50 cm av olika ämnen fram till 1996 har beräknats av Örlander m. fl. (1997). I Asa noterades lägre arealförluster av aluminium och vätejoner i risrensade provytor, jämfört med ej ristäkt, men skillnaderna var relativt små. Sannolikt berodde det på lägre nitrifikation efter ristäkt, indikerat av i genomsnitt lägre genomsnittlig utlakning av oorganiskt kväve från försöksledet med ristäkt (dock ej signifikant). Tönnersjöheden uppvisade signifikant betydligt lägre arealförluster för kalium och TOC i risrensade provytor, jämfört med ej ristäkt.

I avsnitt 4.1.1 redovisas resultat av jämförelser under hela den studerade perioden 1993 till 1999 mellan halter i markvatten i försöksleden ej ristäkt och ristäkt, utan markberedning, uttryckt som medelvärden per år efter avverkning. Vid tolkning av diagrammen är det viktigt att beakta att osäkerheten ökar vid få respektive många år efter avverkning (jämför avsnitt 3.4 och figur 2), eftersom antalet observationer som ingår i medelvärdet är litet. De längre tidsserierna som redovisas här jämfört med Örlander m. fl. (1997) medförde inga stora förändringar av slutsatserna av behandlingseffekterna. Denna studie visar hur hyggeseffekten generellt klingar av, och att tidigare skillnader mellan försöksleden under de första åren efter avverkning därför ibland inte består under hela perioden. Exempel på detta är halterna av kalium (figur 10) och TOC på Tönnersjöheden (figur 13).

## Signifikanta effekter

Signifikanta behandlingseffekter redovisas i tabell 6. Den statistiska analysen under perioden 1993-1996 utfördes på beräknade arealförluster där hyggen med samma ålder efter avverkning jämfördes, eftersom "hyggeseffekten", främst nitrifikation, påverkar hela markvattenkemin på ett sätt som är beroende på tiden efter avverkningen. Den naturliga variationen i nitrifikation mellan olika provytor i försöksleden hade en tendens att överskugga inverkan av andra behandlingar, vilket resulterade i relativt få signifikanta effekter av riståkt.

Efter 1996 hade hyggeseffekten, i form av förhöjda halter av oorganiskt kväve i markvatten, i stort sett klingat av i både Asa och på Tönnersjöheden. Under perioden 1997 till 1999 jämfördes därför de olika försöksledens mätvärden (halter) vid respektive provtagningstillfälle jämförts parvis med T-test. Det gör att skillnader i årsmån inte påverkar lika mycket och det visar sig i relativt många signifikanta effekter där skillnaderna mellan medelvärdena i de olika behandlingarna inte är så stora (tabell 6). Efter 1996 innebar de flesta signifikanta behandlingseffekterna att halterna av flera ämnen i markvatten minskade efter riståkt, i synnerhet i Asa. På Tönnersjöheden noterades högre halter av aluminium och lägre pH efter riståkt. Figureerna 7 till 13 ger en bild av hur stora de genomsnittliga skillnaderna mellan försöksleden varit för ett urval ämnen i markvatten under hela undersökningsperioden mellan 1993 och 1999.

Tabell 6. Signifikanta behandlingseffekter ( $p < 0,05$ ) i Asa respektive på Tönnersjöheden. Perioden 1993-1996 avser arealförluster och uppgifterna är hämtade från Örlander m. fl. (1997) och den statistiska bearbetningen är inte direkt jämförbar med 1997-1999 där beräkningarna baseras på halter i markvatten.

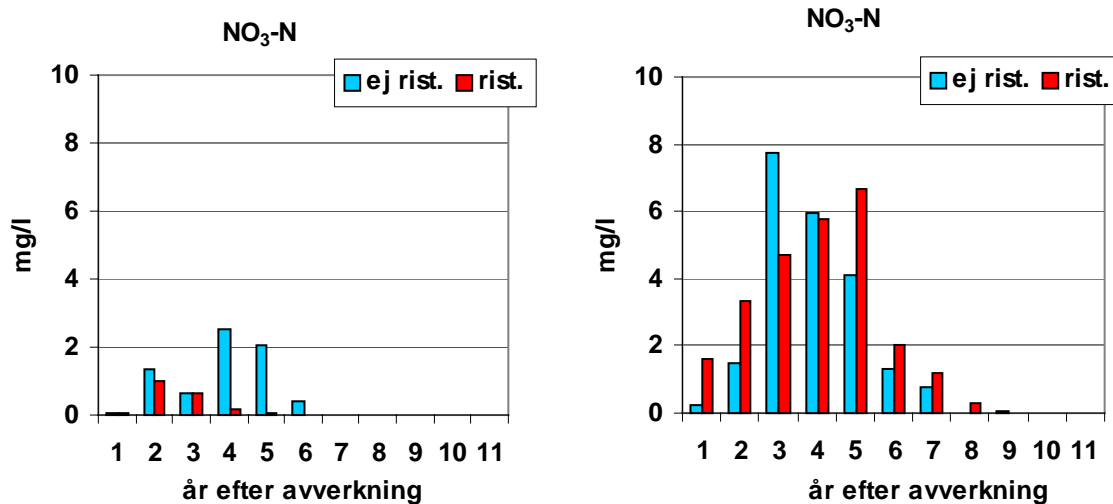
Jämförelse	Lokal	Arealförluster 1993-1996		Halter 1997-1999	
		Ökning	Minskning	Ökning	Minskning
Effekt av riståkt (jämfört med ej riståkt)	Asa		H <sup>+</sup> , Al		H <sup>+</sup> , Ca, Mg, K, Al, TOC, SO <sub>4</sub> -S, Cl
	Tön.		K, TOC	H <sup>+</sup> , Al	Ca, K

## Oorganiskt kväve

En vanlig effekt av avverkning är en kraftigt ökade halter av oorganiskt kväve, framförallt nitrat i markvattnet (figur 7). I samband med att upptaget i växter är kraftigt reducerat eller helt saknas kan en avsevärd utlakning av nitrat ske till grund- och ytvattnen. Halterna av nitrat i markvatten på de båda lokalerna var signifikant skilda, med en faktor 2-4 gånger högre halter på Tönnersjöheden, som länge har haft en högre kvävedeposition än Asa. Även förloppet i halter var delvis olika på de två lokalerna. På Tönnersjöheden observerades ett mycket mar-



kant maximum i samtliga upprepningar både utan och med ristäkt, medan de enskilda provytorna i Asa uppvisade mer varierande förlopp med förhöjda halter. Samtidigt som halterna av nitratkväve kulminerade förekom även förhöjningar av ammoniumkväve, men halterna var betydligt lägre jämfört med nitratkväve.



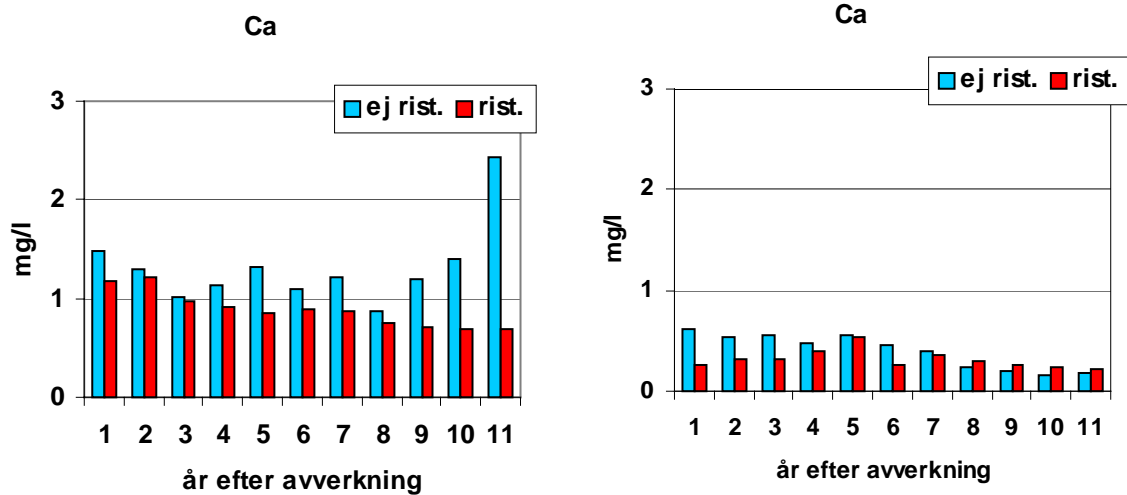
Figur 7. Halter i markvattnet av nitratkväve utan och med ristäkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

På båda lokalerna observerades vanligen låga nitratkvävehalter i markvattnet under den första sommaren efter avverkning. Det fanns inte någon tydlig inverkan av ristäkt på halterna av nitratkväve. Det fanns dock en tendens att kvävehalterna i försöksledet med ristäkt klingade av snabbare i Asa, men på Tönnersjöheden var förhållandet omvänt.

### Baskatjoner

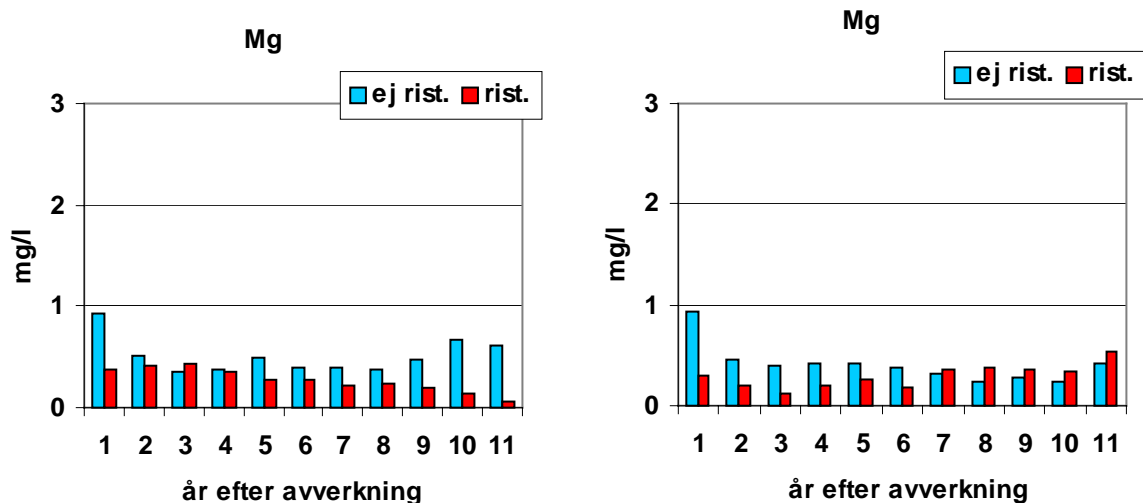
Halterna av kalcium (figur 8) och magnesium (figur 9) med ristäkt var i genomsnitt lägre i Asa under hela perioden, jämfört med ej ristäkt. Skillnaderna ökade mot slutet av perioden då halterna i ej ristäkt ökade samtidigt som ristäkt fortsatte att minska. Data det sista året (år 11) är osäkra på grund av få upprepningar. Halterna av kalcium och magnesium på Tönnersjöheden uppvisade likartade skillnader till en början som i Asa, men på slutet av perioden var halterna i försöksledet med ristäkt något högre än ej ristäkt.

Halterna av kalium samvarierade starkt med nitratkvävehalterna på båda lokalerna (figur 10). Den växande skogen har en omfattande cirkulation av kalium via rotupptag och därefter utsöndring från blad och barrytor som återförs till marken. Efter slutavverkning bryts denna kedja och kalium kan utlakas. Det är även möjligt att jonbytesprocesser, med till exempel bildat ammonium- och nitratkväve, kan göra att kaliumjoner frigörs från markpartiklarna och tillförs markvattnet.

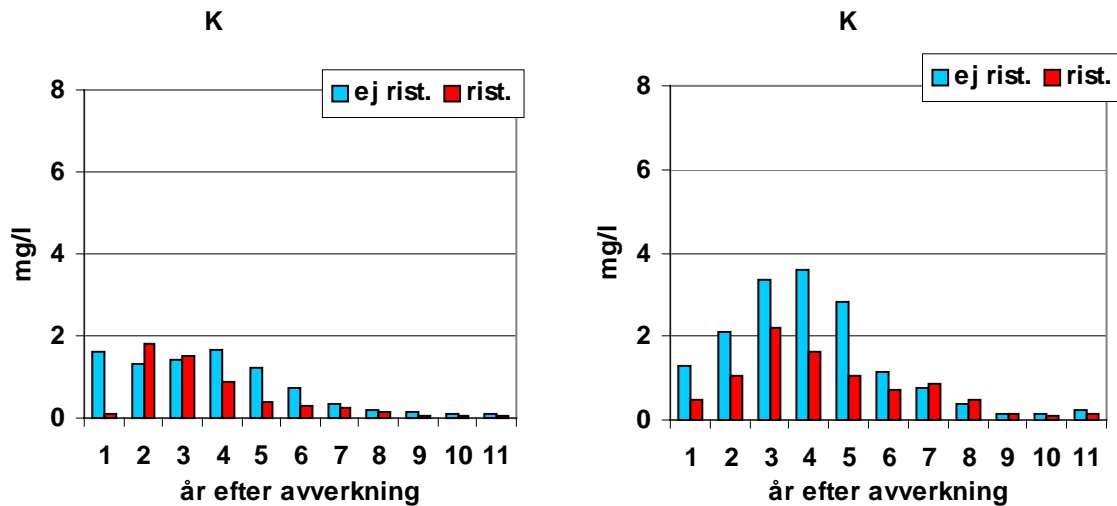


Figur 8. Halter i markvatten av kalcium utan och med riståkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

Den högsta halterna noterades i försöksledet med ej riståkt, i synnerhet på Tönnersjöheden. Den beräknade arealförlusten av kalium, summerad under de första sju åren, var mer än 100 kg högre per hektar med ej riståkt, jämfört med riståkt (Örlander m. fl., 1997). Det innebär att kalium, som i mängd nästan motsvarar hela det kvarlämnade risets innehåll (se tabell 4), gick förlorat från marken genom förhöjd utlakning. Även Asa uppvisade högre arealförluster av kalium de första sju åren utan riståkt, jämfört med riståkt, men skillnaderna var inte signifikanta. När hyggeseffekten klingat av återgick halterna till att vara normalt låga. Riståkt medförde något lägre halter mot slutet av undersökningsperioden, men skillnaden mot ej riståkt var liten på båda lokalerna.



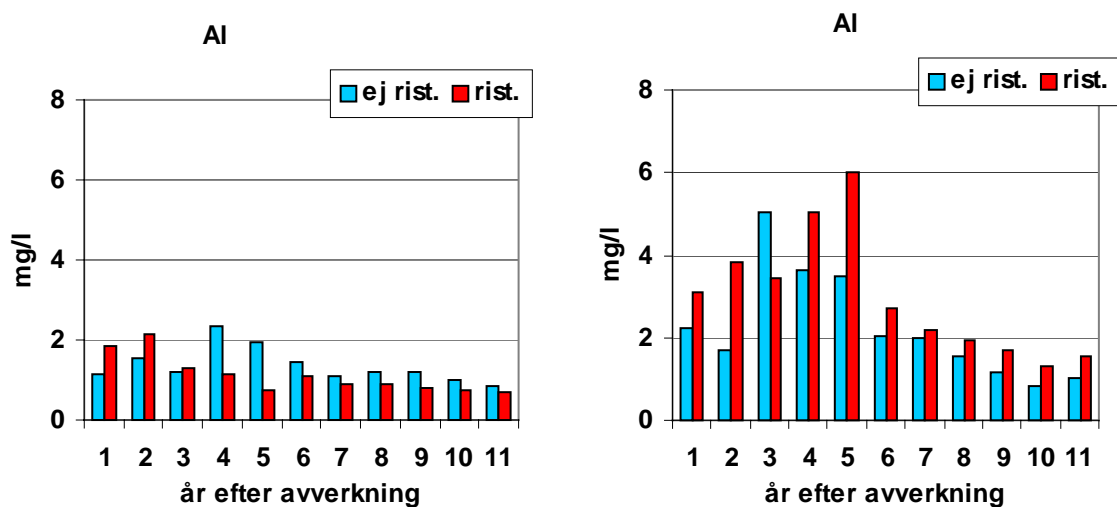
Figur 9. Halter i markvatten av magnesium utan och med riståkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.



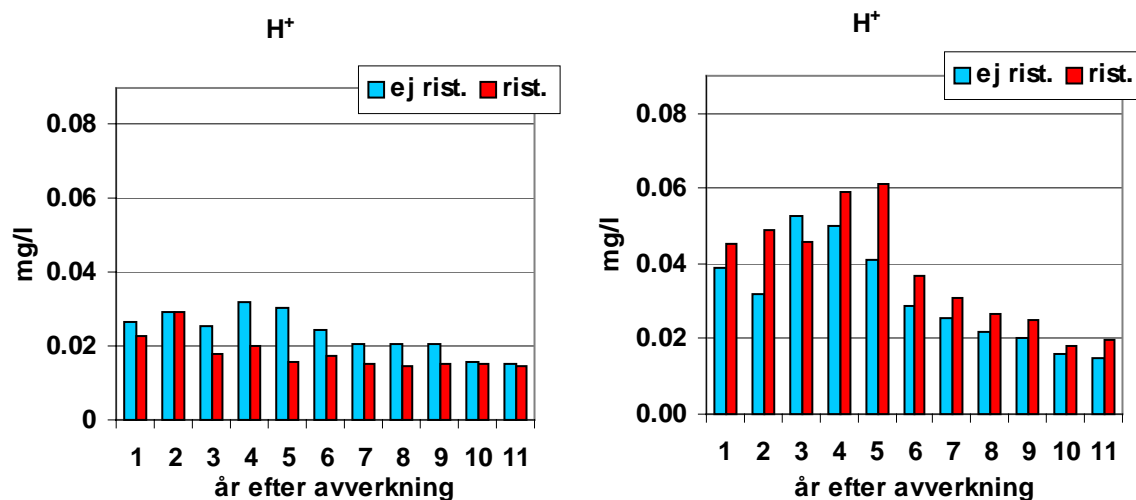
Figur 10. Halter i markvatten av kalium utan och med riståkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

### Aluminium och vätejoner

Förändrade halter av aluminium och vätejoner i markvatten, i relation till andra ämnen som kalcium och magnesium, indikerar ökad eller minskad försurning. Markvattnets surhetsgrad utan och med riståkt påverkades generellt mest av förloppet i ökad nitrifikation på hygget (figur 11 och 12). Nitrifikation är en starkt försurande process som påverkar markvattnet om bildat nitratkväve utlakas istället för att tas upp i växter. Den surare markmiljön och den högre nitrifikationen på Tönnersjöheden gjorde att halterna av aluminium och vätejoner var betydligt högre än i Asa. Nitrifikationen kan öka efter avverkning, men är ständigt närvarande i skogsmark. Med tiden etableras ny vegetation på hygget som tar upp kväve och försurningseffekten i markvatten orsakad av nitrifikation minskar.



Figur 11. Halter i markvatten av totalt aluminium utan och med riståkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

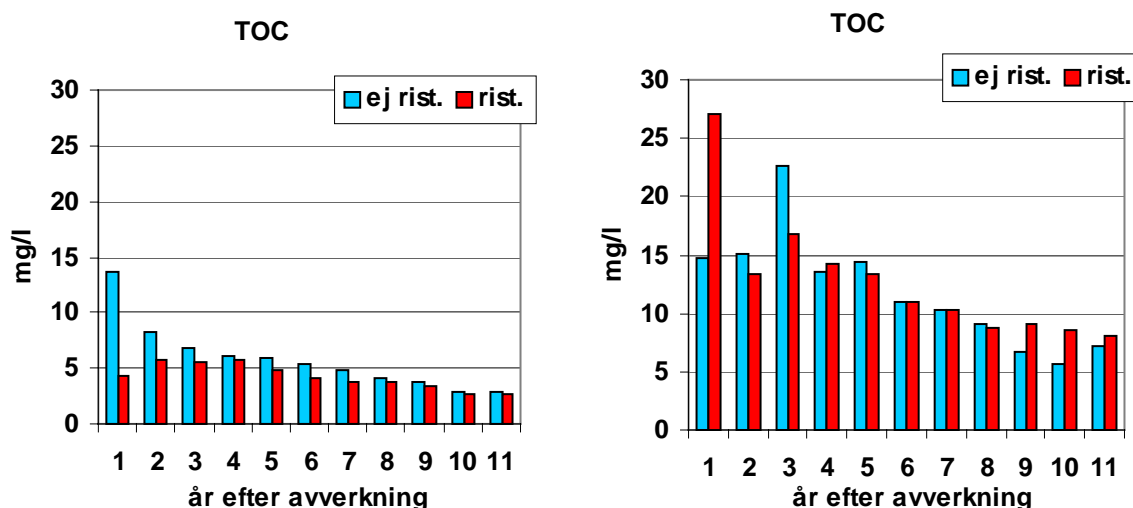


Figur 12. Halter i markvattnen av vätejoner utan och med ristäkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

Ristäkt gav, jämfört med ej ristäkt, lägre halter av aluminium och vätejoner i markvattnet i Asa under större delen av undersökningsperioden, medan förhållandet var det omvända på Tönnersjöheden (figur 11 och 12). Markvattnet i Asa hade lägre halter av flertalet ämnen efter ristäkt, men i den kalciumfattiga markmiljön på Tönnersjöheden indikerar de ökade halterna av aluminium och vätejoner att det minskade tillskottet av basiska ämnen från avverkningsrester på risrensade provtytor inte var tillräckligt för att motverka försurningen av markvattnet, jämfört med ej ristäkt.

### Organiskt kol

Halterna av organiskt kol i markvattnet minskade generellt med tiden efter avverkning oberoende av ristäkt (figur 13). Provytorna Asa uppvisade hela tiden något lägre halter TOC efter ristäkt än efter ej ristäkt. På Tönnersjöheden noterades först lägre halter och därefter, mot slutet av undersökningsperioden, högre halter efter ristäkt.



Figur 13. Halter i markvatten av organiskt kol utan och med riståkt som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

#### 4.1.2 Effekter av askgödsling

Askgödslingen som utfördes i december 1996 skedde där den akuta hyggesfasen, med kraftigt förhöjda halter av nitratkväve i markvatten, var förbi på de flesta av provytorna. Effekterna av askgödslingen efter riståkt, jämfört med enbart riståkt, redovisas som uppmätta tidsserier som visar ett medelvärde baserat på fem upprepningar för respektive behandling och lokal (figur 14-20). Även halter i markvatten före askgödslingen redovisas i figurerna.

#### Signifikanta effekter

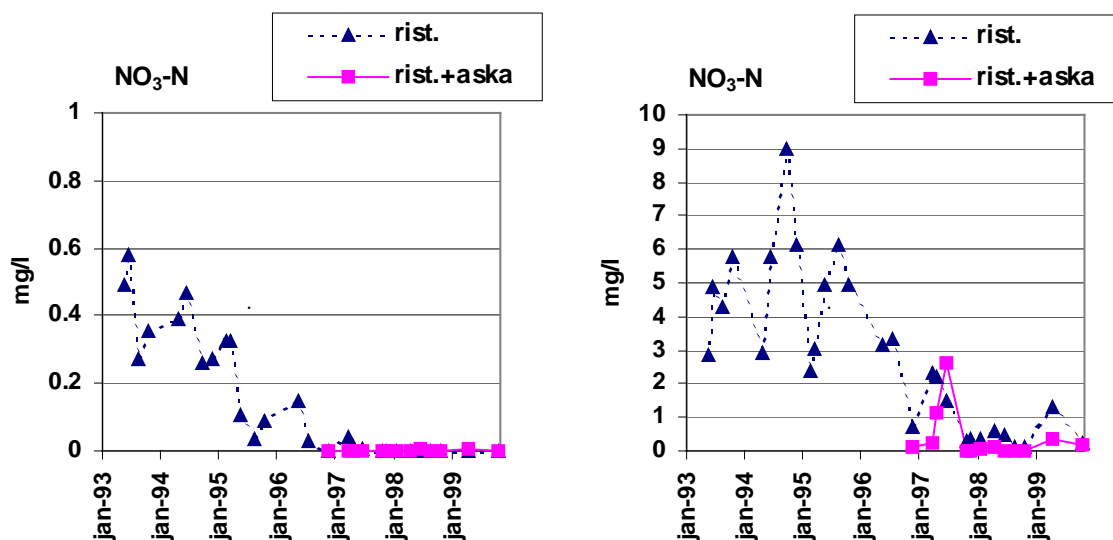
De signifikanta behandlingseffekterna (tabell 7) av askgödslingen, jämfört med enbart riståkt, på markvatten bestod av ökade halter av de ämnen som dominerar de mer lättlösliga komponenterna i askan. Undantag är natrium som sannolikt ökade på grund av jonbyte i marken (se vidare avsnitt 4.5). Askan, som är starkt basisk, bidrog till att minska surhetsgraden i markvattnet, samt även halterna av TOC, på Tönnersjöheden. Halterna av summan av sulfatsvavel och klorid, sannolikt med ursprung i askan, ökade påtagligt på båda lokalerna efter gödsling.

Tabell 7. Signifikanta behandlingseffekter ( $p < 0,05$ ) i Asa respektive på Tönnersjöheden under perioden 1996-1999 där beräkningarna baseras på halter i markvatten.

Jämförelse	Lokal	Halter 1996-1999	
		Ökning	Minskning
Effekt av aska (jämfört med enbart riståkt)	Asa	Ca, Mg, Na, K, SO <sub>4</sub> -S, Cl	
	Tön.	Ca, Mg, Na, K, SO <sub>4</sub> -S, Cl	Al, TOC

## Oorganiskt kväve

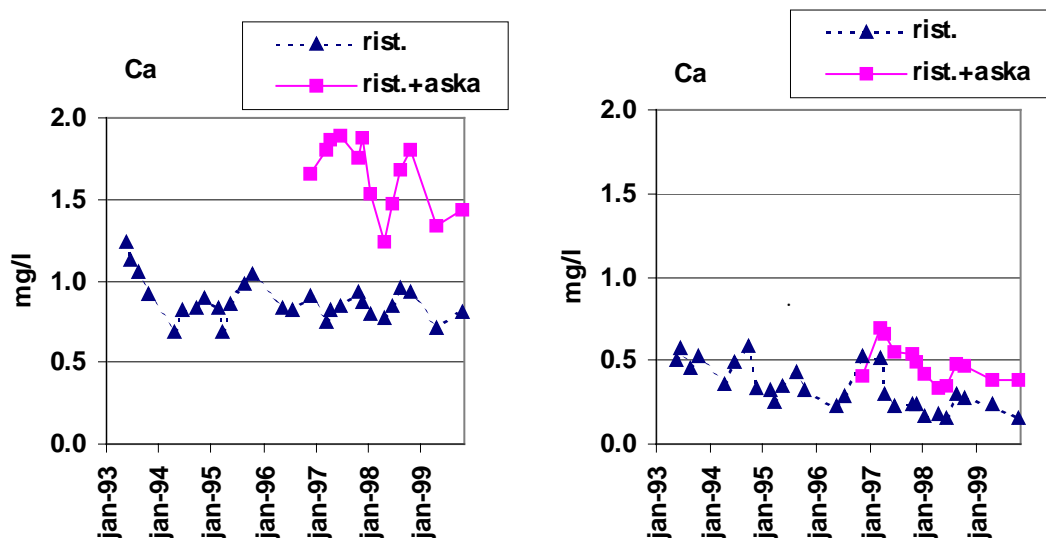
Askgödslingen påverkade inte halterna av nitratkväve i markvatten i Asa (figur 14). På Tönnersjöheden förekom halterna något högre i försöksledet med riståkt under 1997. Provytorna som askgödslades hade låga halter strax innan behandlingen, halterna ökade kortvarigt något efter gödslingen, för att därefter sjunka till en nivå lägre än enbart riståkt.



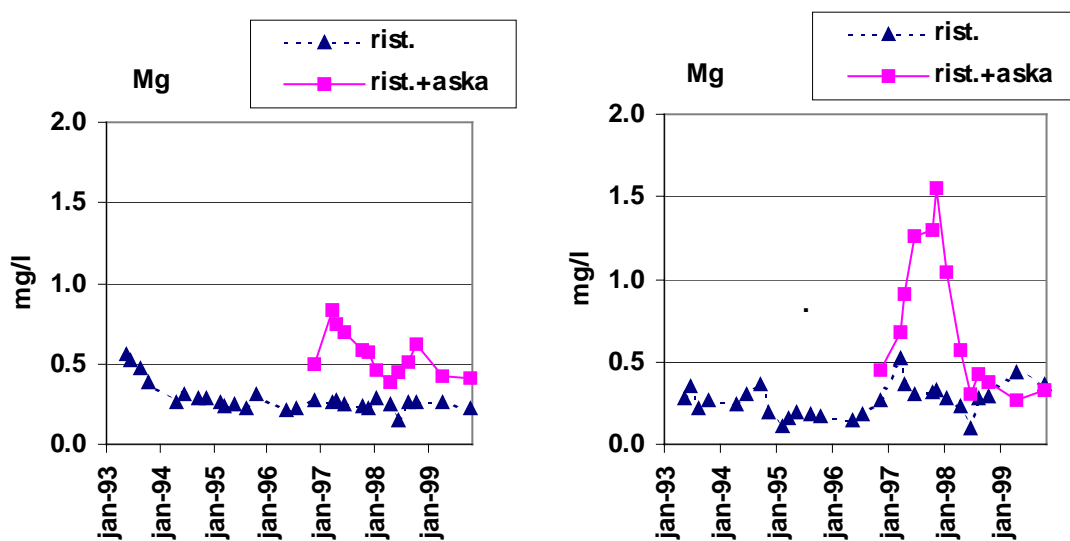
Figur 14. Halter i markvatten av nitratkväve med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

## Baskatjoner

Halterna i markvatten av baskatjonerna kalcium (figur 15), magnesium (figur 16) och i synnerhet kalium (figur 17) steg kraftigt efter askgödsling. Effekten klingade i regel av efter första året efter behandling men kvarstod under hela den studerade perioden.

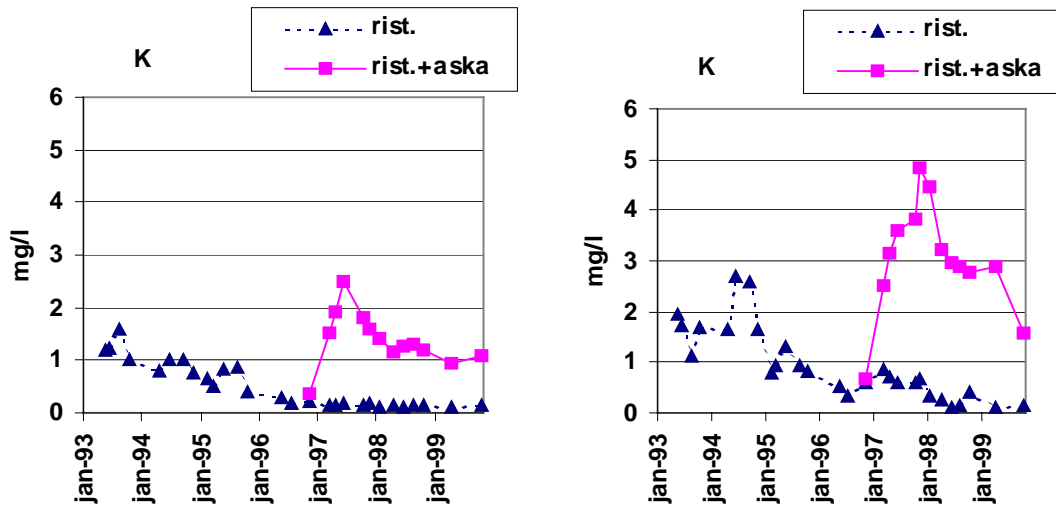


Figur 15. Halter i markvatten av kalcium med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.



Figur 16. Halter i markvatten av magnesium med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

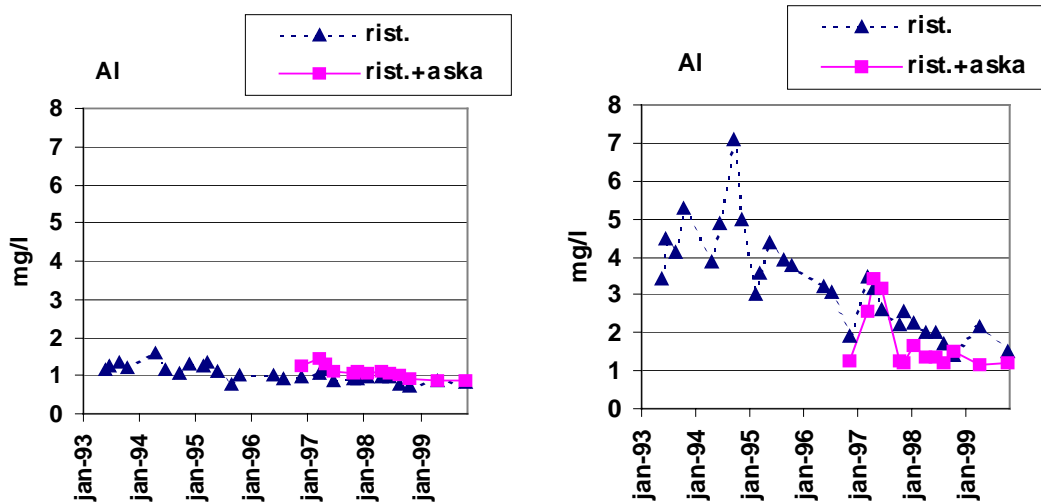
Ökningen av kalcium och magnesium i Asa är osäker eftersom halterna strax innan gödslingen var högre än i försöksledet med enbart riståkt.



Figur 17. Halter i markvattnet av kalium med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

### Aluminium och vätejoner

Effekterna av askgödslingen på markvattnets surhetsgrad, uttryckt som halter av aluminium och vätejoner, var begränsade trots att halter av baskatjoner ökade (figur 18 och 19).

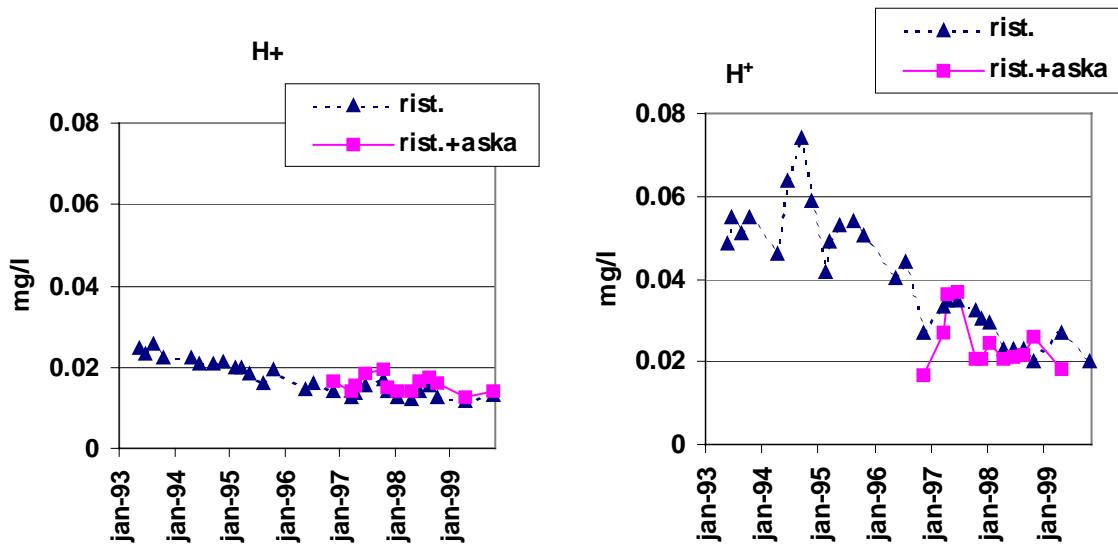


Figur 18. Halter i markvattnet av aluminium med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

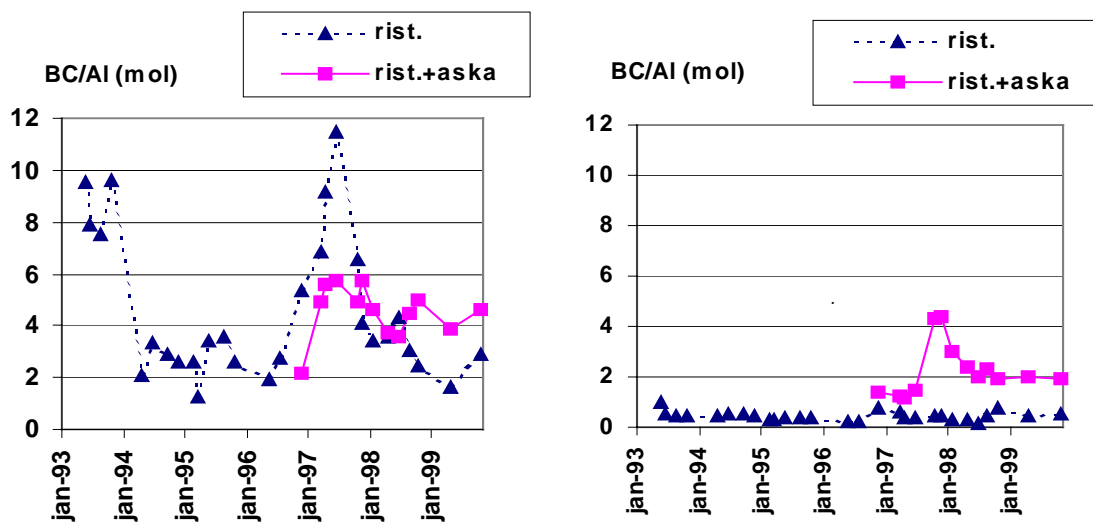
De höga halterna av aluminium minskade något på Tönnersjöheden efter askgödsling och efter det att nitratkvävehalterna sjunkit till en låg nivå. De ökade halterna av baskatjoner åtföljdes av anjonerna sulfat och klorid, sannolikt från askan. Trots det kraftigt ökade flödet av



anjoner ökade inte halten av aluminium och vätejoner. Det betyder att kvoten mellan baskatjoner och aluminium i markvattnet ökade påtagligt efter askgödsling, i synnerhet på Tönnersjöheden där kvoterna var extremt låga i försöksledet med riståkt under hela den undersökta perioden (figur 20).

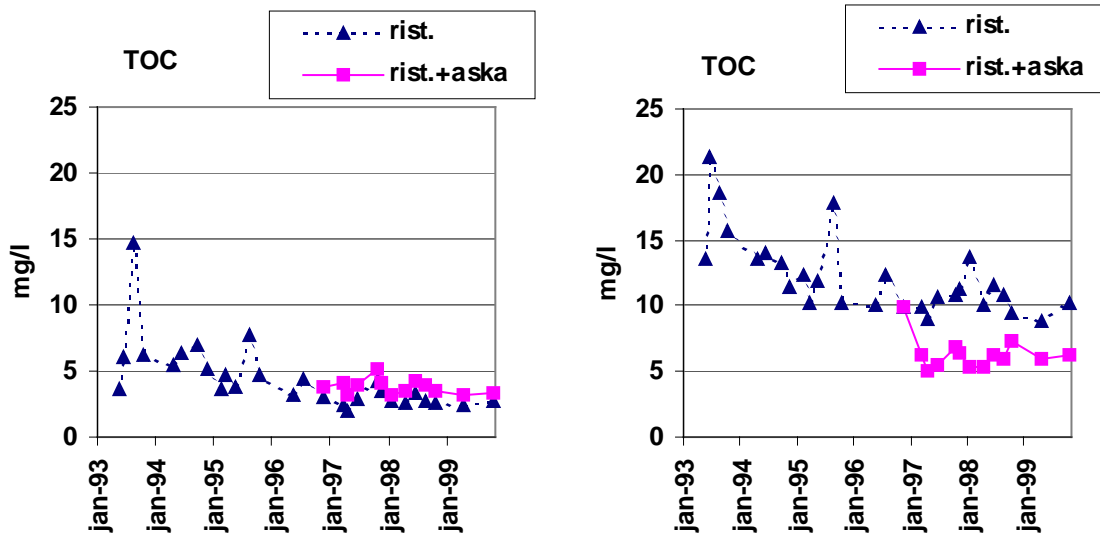


Figur 19. Halter i markvattnet av vätejoner med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.



Figur 20. Kvoten (mol) mellan baskatjoner (Ca+Mg+K) och totalt aluminium i markvattnet med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

## Organiskt kol

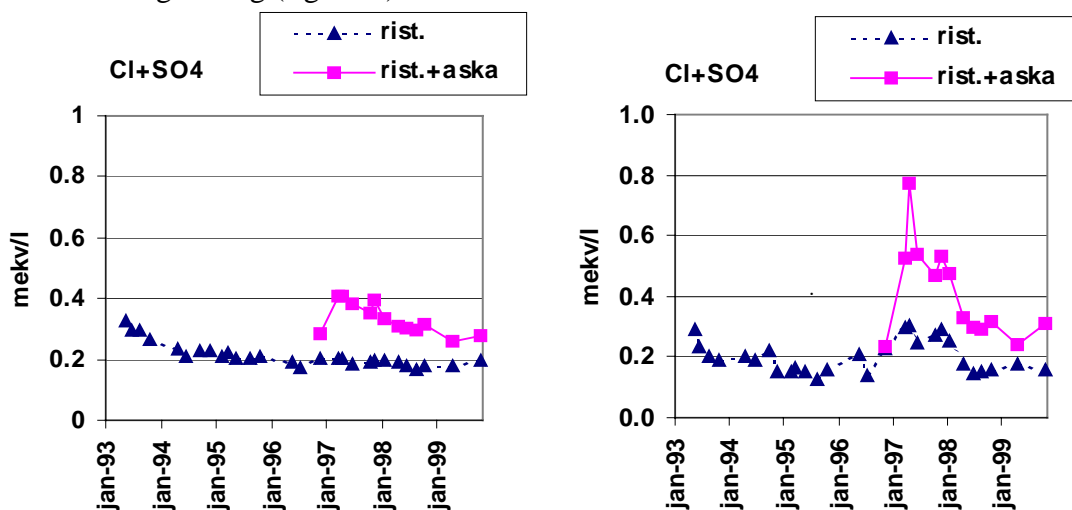


Figur 21. Halter i markvatten av TOC med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Åsa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

Halterna av totalt organiskt kol minskade tydligt efter askgödsling på Tönnersjöheden (figur 21). I Åsa noterades ingen effekt av askgödslingen.

## Sulfat och klorid

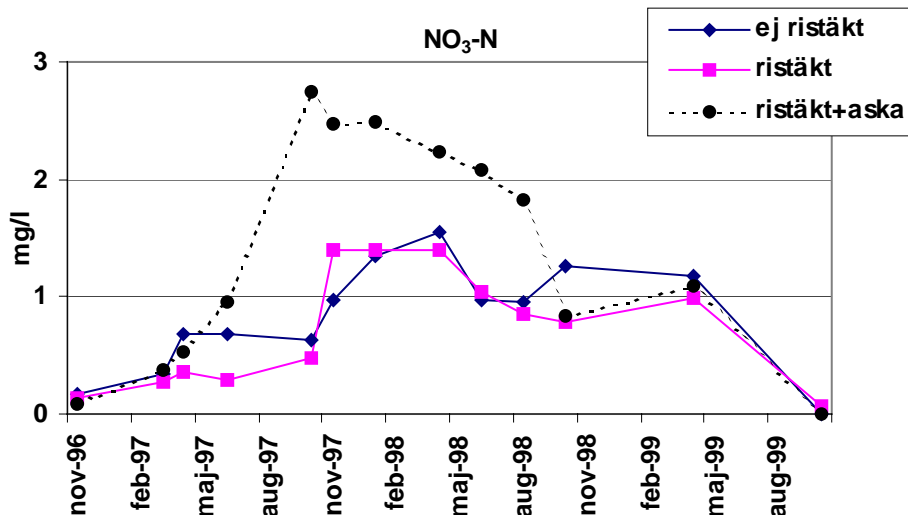
Sulfat och klorid bidrar ungefär lika mycket till den kraftiga ökningen av anjonflödet på båda lokalerna efter gödsling (figur 22).



Figur 22. Halter i markvatten av Cl+SO<sub>4</sub> med riståkt och riståkt+aska. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen. Åsa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

### 4.1.3 Effekter av askgödning på färskt hygge

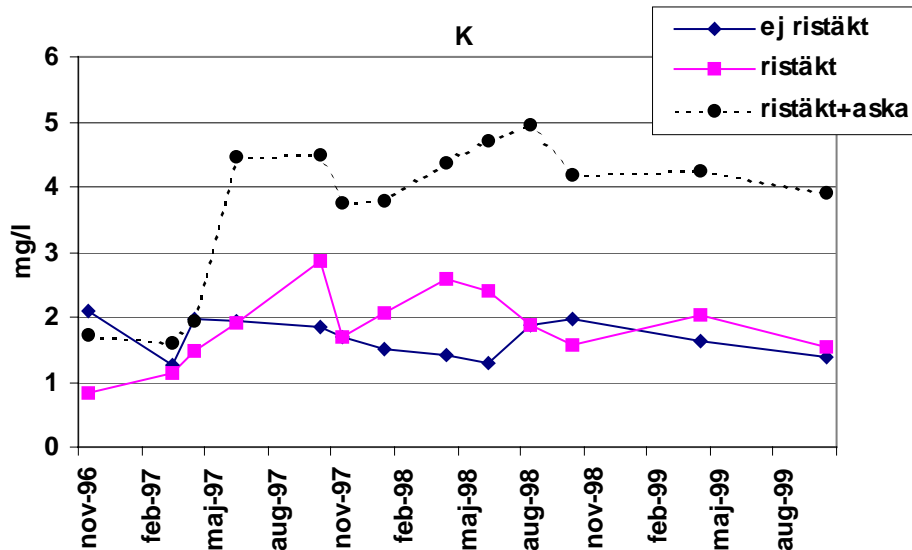
Som komplement till hyggesåldersförsöket utfördes askgödning på ett färskt hygge i Asa (avverkat vintern 1995/1996) med samma aska som i övriga försök. Figur 23 visar de tre undersökta försöksleden uppvisade ett typiskt förlopp i halter (medelvärde av tre upprepningar) av nitratkväve i markvatten efter avverkning. Behandlingarna ej ristäkt och ristäkt visade ingen skillnad, men ristäkt+aska medförde signifikant högre halter av nitratkväve i markvattnet under ca ett år. Effekten berodde sannolikt på att den basiska askan stimulerade nitrifikationen genom en pH-höjande effekt i marken.



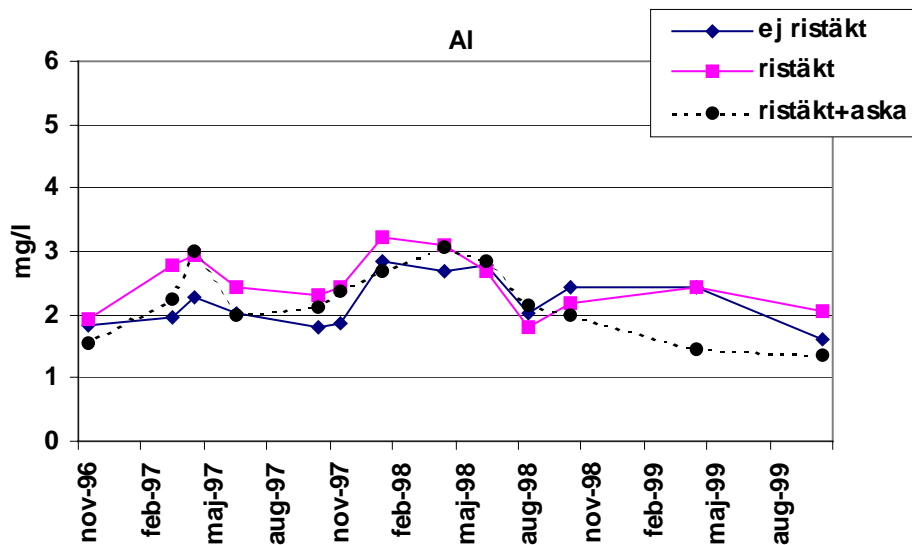
Figur 23. Halter i markvatten av nitratkväve med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska på färskt hygge i Asa. Askgödningen utfördes i december 1996 på färskt hygge och det första värdet i serien visar halten strax innan gödningen.

En annan tydlig effekt av askgödningen på färskt hygge, liksom i de andra försöken, var högre halter av kalium i markvattnet (figur 24). Gödningseffekten var större än den generella hyggeseffekten, som i detta fall var begränsad, och de förhöjda halterna av K var kvar hela den undersökta perioden fram till och med 1999.

Effekterna på andra ämnen i markvatten än nitratkväve, kalium och klorid (det senare visas ej här) var begränsade (främst något ökade halter av andra baskatjoner utöver kalium) och likartade som provytorna i hyggesåldersförsöket i Asa. Figur 25 visar halterna av aluminium som trots att askgödningen stimulerade nitrifikationen inte resulterade i förhöjda halter. Två till tre år efter askgödningen fanns en tendens till lägre halter av Al jämfört med övriga behandlingar.



Figur 24. Halter i markvatten av kalium med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska på färskt hygge i Asa. Askgödslingen utfördes i december 1996 på färskt hygge och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.



Figur 25. Halter i markvatten av aluminium med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska på färskt hygge i Asa. Askgödslingen utfördes i december 1996 på färskt hygge och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.

#### 4.1.4 Effekter av markberedning

Studien av effekter av markberedning på markvatten omfattar perioden 1993 till 1999, med undantag för försöksledet med ristäkt+markberedning+aska där askgödslingen utfördes 1996.

Det senare försöksledet redovisas inte med figurer i detta avsnitt eftersom effekterna av markberedningen var små och likartade de som noterades för risrensade provytor utan aska.

### Signifikanta effekter

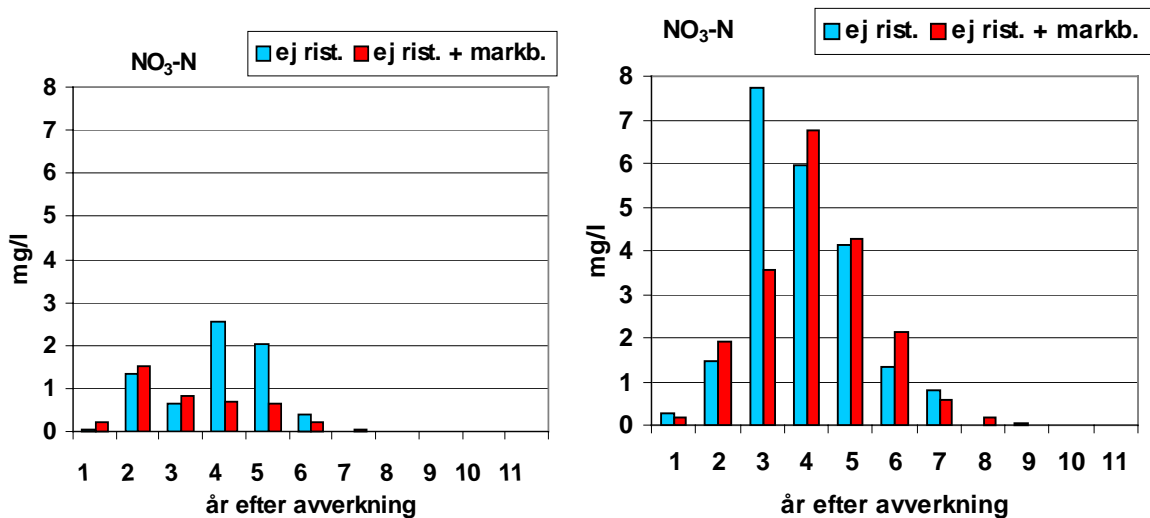
Effekterna på arealförluster av markberedning i försöksledet med ristäkt under perioden 1993 till 1996 var generellt små (Örlander m. fl., 1997). Perioden nära efter avverkning dominerades av förhöjda halter av nitratkväve, som i sin tur ökade halten av andra ämnen i markvattnet, vilket överskuggade effekterna av markberedning. När halterna i markvatten stabiliserats på hygget tre till sex år efter avverkning (1996-1999) noterades små, men signifikanta, skillnader mellan markberedda försöksled och övriga behandlingar (tabell 8). Generellt ökade halterna något efter markberedning för ämnen som representerar både katjoner och anjoner. Exempel på minskade halter efter markberedning var relativt få, men bland annat var nitratkvävehalterna något lägre på Tönnersjöheden i slutet av hyggesfasen. Det finns inga signifikanta exempel på att nitratkvävehalterna ökat efter markberedning i denna undersökning.

Tabell 8. Signifikanta behandlingseffekter ( $p < 0,05$ ) av markberedning i Asa respektive på Tönnersjöheden, jämfört med motsvarande försöksled utan. Perioden 1993-1996 avser arealförluster och uppgifterna är hämtade från Örlander m. fl. (1997) och den statistiska bearbetningen är inte direkt jämförbar med 1996-1999 där beräkningarna baseras på halter i markvatten.

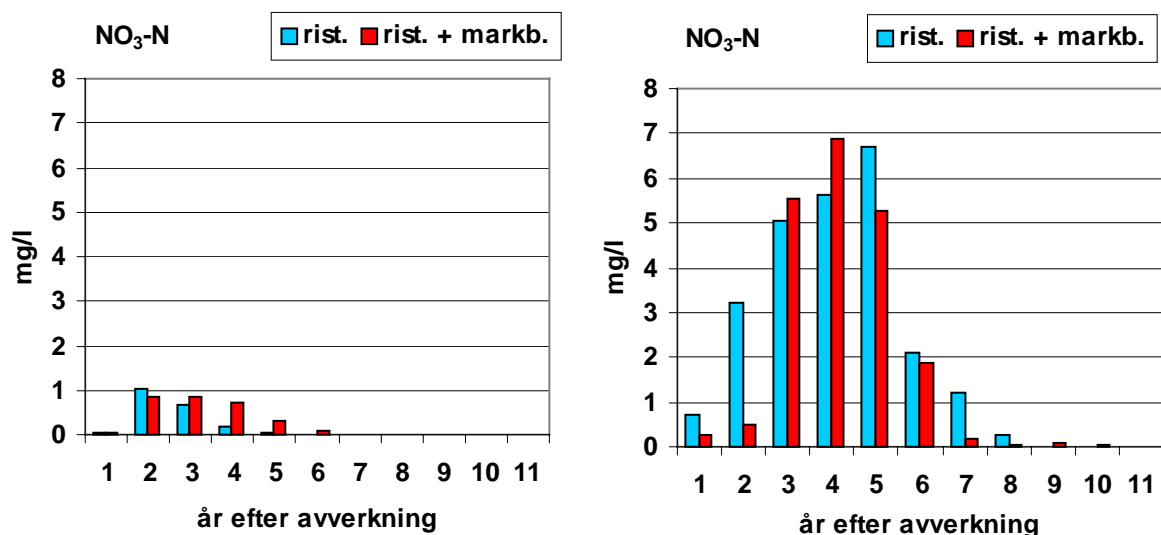
Jämförelse	Lokal	Arealförluster 1993-1996		Halter 1996-1999	
		Ökning	Minskning	Ökning	Minskning
Effekt av markberedning (utan ristäkt)	Asa	-	-	K, Al, SO <sub>4</sub> -S+Cl	Mg, TOC
	Tön.	-	-	H <sup>+</sup> , Mg, Al, TOC, SO <sub>4</sub> -S+Cl	NO <sub>3</sub> -N, K
Effekt av markberedning (med ristäkt)	Asa	Mg		H <sup>+</sup> , Ca, Mg, K, Al, TOC, SO <sub>4</sub> -S+Cl	
	Tön.	H <sup>+</sup> , Na, Cl, Al, TOC		Ca, TOC	NO <sub>3</sub> -N
Effekt av markberedning (med ristäkt och aska)	Asa	-	-		H <sup>+</sup> , Al
	Tön.	-	-	H <sup>+</sup> , Al, TOC, SO <sub>4</sub> -S+Cl	K

## Oorganiskt kväve

Markberedning hade ingen tydlig effekt på halterna av nitratkväve i markvatten på de båda lokalerna. Det gäller både försöksleden utan (figur 26) och med riståkt (figur 27). Det fanns en tendens till att halterna minskades något med tiden efter markberedning på provytor utan riståkt i Asa. Med riståkt noterades det omvända i Asa, men inga effekter var signifikanta. Provytorerna på Tönnersjöheden uppvisade ingen tendens vare sig utan eller med riståkt följt av markberedning, utom de sista åren i undersökningen då antalet observationer av låga halter av nitratkväve var större i markberedda provytor, jämför med utan. Effekten var dock liten och något osäker, trots att den var signifikant, eftersom uppmätta halter var låga och nära analysmetodens detektionsgräns.



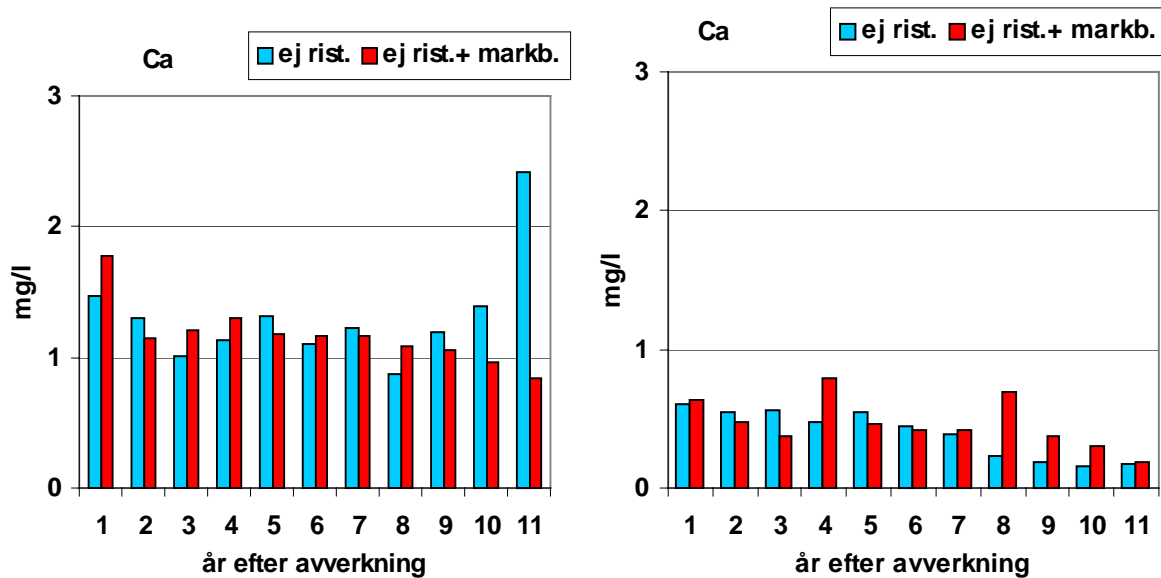
Figur 26. Halter i markvatten av nitratkväve med ej riståkt och ej riståkt+markberedning som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.



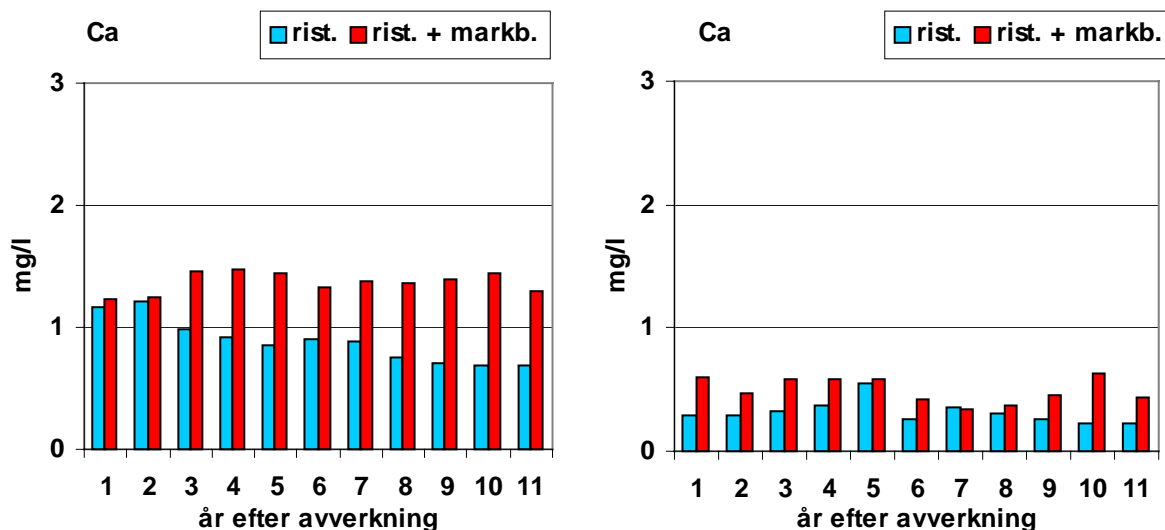
Figur 27. Halter i markvatten av nitratkväve med riståkt och riståkt+markberedning som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

## Baskatjoner

Markberedningens effekter på halten av baskatjoner i markvattnet var som regel liten. Figur 28 och 29 visar som exempel kalcium, där markberedning utan ristäkt inte hade någon tydlig inverkan på halterna på de båda lokalerna. Medelvärde för år 11 är osäkert på grund av få upprepningar. Markberedning efter ristäkt hade dock en relativt tydlig inverkan i form av ökade kalciumhalter, i synnerhet i Asa. I Asa noterades ökade halter, utöver kalcium, för många ämnen efter ristäkt och markberedning, jämfört med enbart ristäkt.



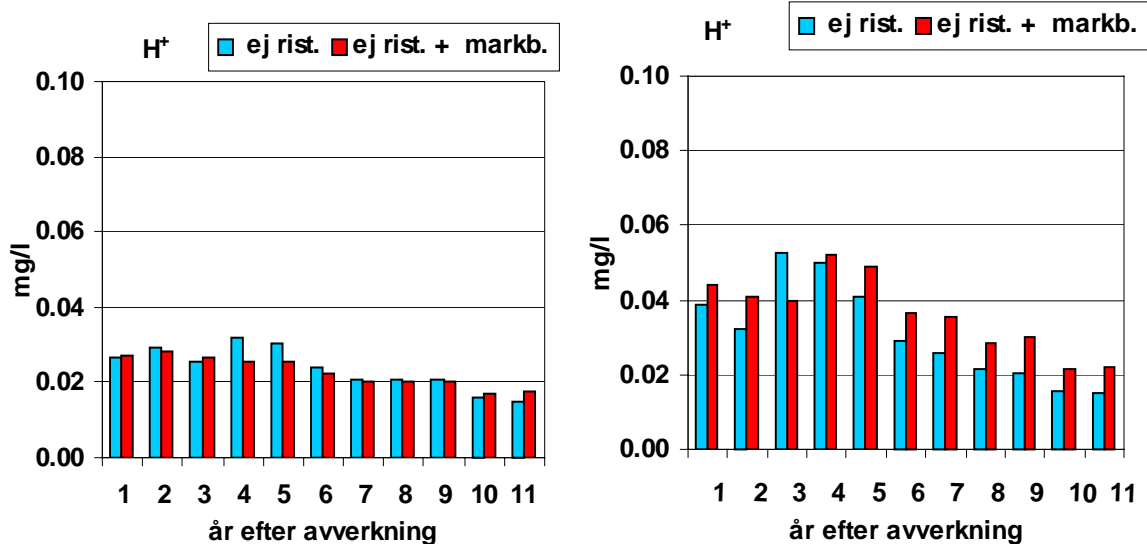
Figur 28. Halter i markvatten av kalcium med ej ristäkt och ej ristäkt+markberedning som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.



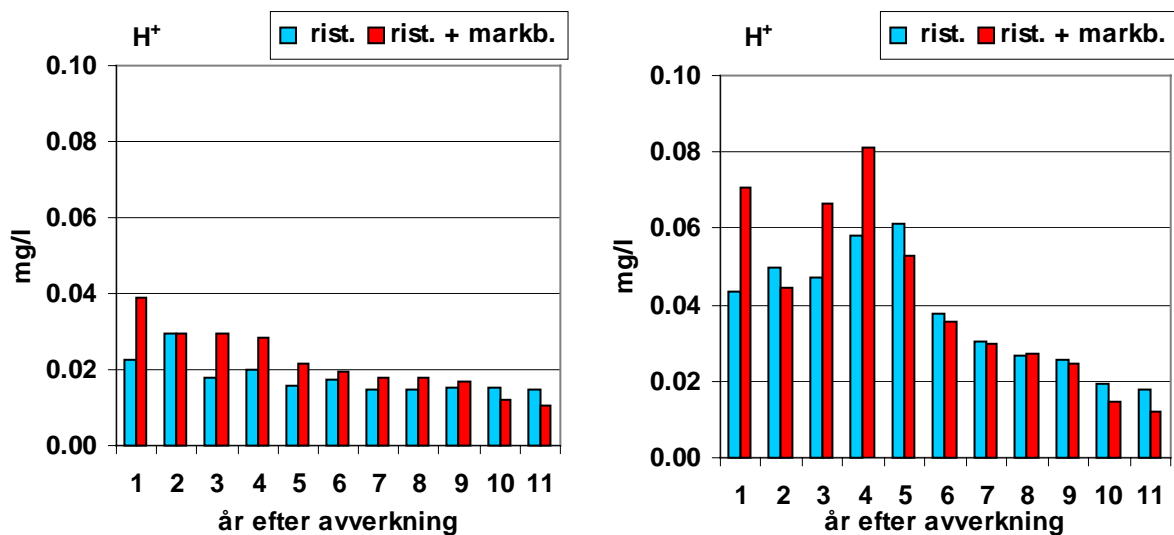
Figur 29. Halter i markvatten av kalcium med ristäkt och ristäkt+markberedning som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

## Vätejoner

Effekten av markberedning på markvattnets surhetsgrad av markberedning var generellt liten. Det fanns en tendens till ökade halter av vätejoner (figur 31 och 32) och aluminium under vissa perioder på båda lokalerna, men samtidigt ökade halterna av flera andra ämnen. Den tydligaste effekten noterades på Tönnersjöheden i försöksleden utan riståkt som visade ökad vätejonhalt efter markberedning.



Figur 30. Halter i markvatten av vätejoner med ej riståkt och ej riståkt+markberedning som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.



Figur 31. Halter i markvatten av vätejoner med riståkt och riståkt+markberedning som funktion av år efter avverkning. Asa till vänster och Tönnersjöheden till höger.

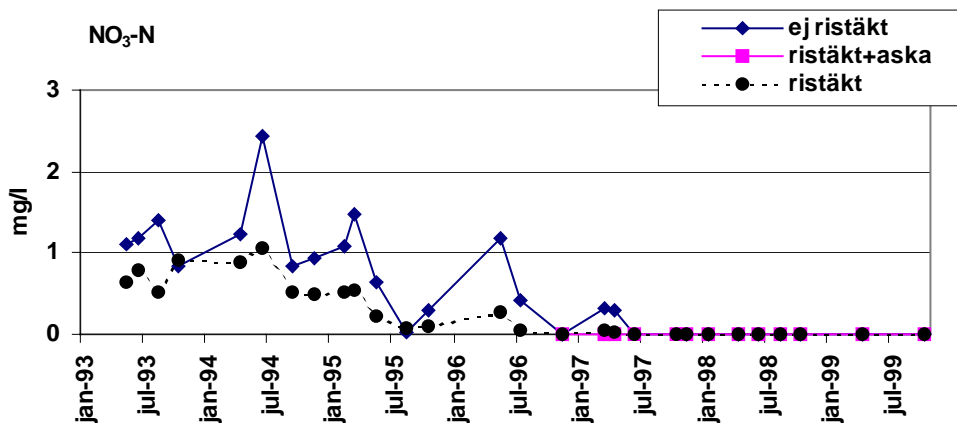


#### 4.1.5 Utlakningsförlopp och arealförluster

##### Utlakningsförlopp

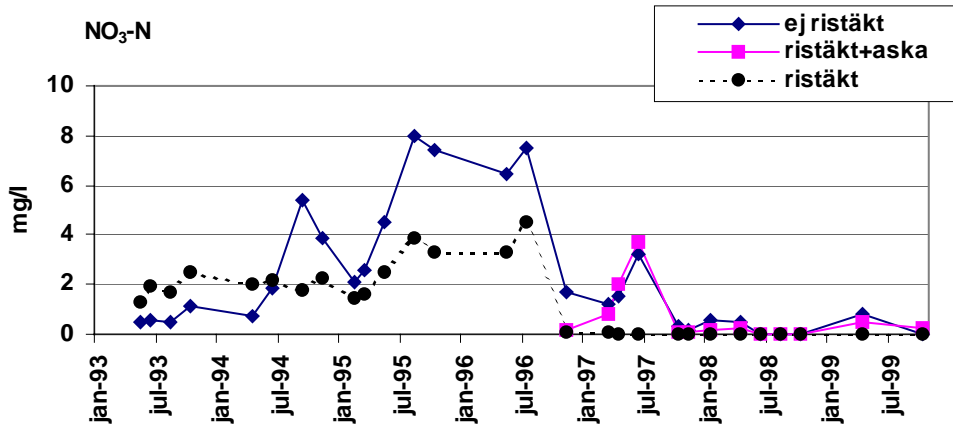
Syftet med askåterföring är att kompensera för näringsämnesförluster vid uttag av GROT för att minska risken för negativa effekter på mark och vatten. Askgödsling efter ristäkt är tänkt att motsvara vad som normalt tillförs skogsmarken från avverkningsrester under nedbrytning. Möjliga orsaker till att det kan bli skillnader är främst olika utlakningsförlopp från aska respektive avverkningsrester, delvis olika näringsammansättning. I detta försök har en viss överdosering (i förhållande till uttaget) när dosen tre ton aska per ha används. Vid en samlad bedömning av miljöeffekter i denna studie av uttag och kompensation bör försöksledet med ristäkt, senare följt av askåterföring, i första hand jämföras med försöksledet ej ristäkt. Det kan belysa om uttag och kompensation påverkar miljötillståndet på ett väsentligt annorlunda sätt än om riset hade varit kvar.

Hela förloppet i utlakning av nitratkväve i markvatten under hyggesfasen där avverkning skett 1992 och 1993 (då mätningar påbörjades kort efter avverkning) visas i figur 32 och 33. Figurerna visar försöksledet med ej ristäkt samt ristäkt som i december 1996 övergår i ristäkt+aska. Medelvärdena för respektive provtagningstillfälle inkluderar provytor både med och utan markberedning. Asa uppvisade ett förlopp som innebar att halterna av nitratkväve kulminerade efter ca ett år, de högsta halterna noterades för försöksledet med ej ristäkt och halterna avklingade efter 3 till 4 år, med början i försöksledet med ristäkt. Den askgödsling som följde när halterna hade nått låga värden påverkade inte förloppet, utan halterna fortsatte att vara låga.



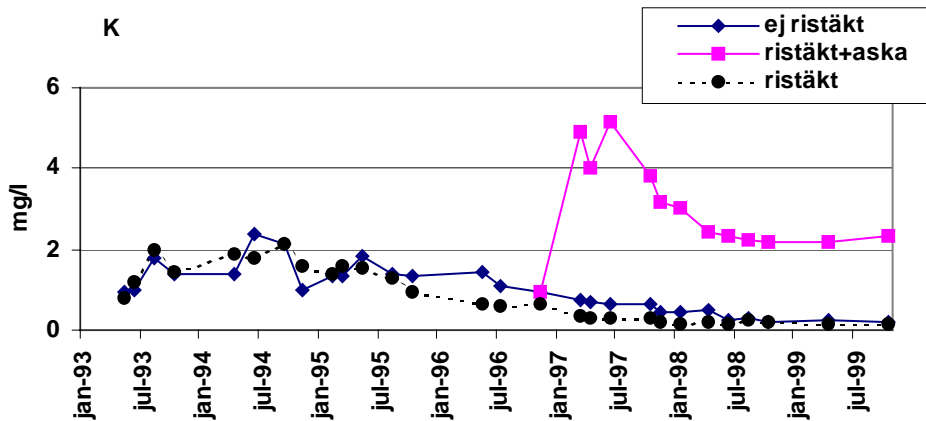
Figur 32. Halter i markvatten av nitratkväve med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska från hyggen avverkade 1993 och 1992 i Asa under perioden 1993 till 1999. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.

Tönnersjöheden uppvisade ett likartad förlopp med högst halter av nitratkväve i markvatten med ej ristäkt, men halterna var betydligt högre än i Asa och de kulminerade senare, efter ca 2 år. Förhöjda halter noterades upp till drygt 4 år efter avverkning. Askgödslingen hade en tendens att öka halterna i försöksledet med ristäkt något i början, men ett år efter gödslingen var skillnaderna mellan försöksleden små.

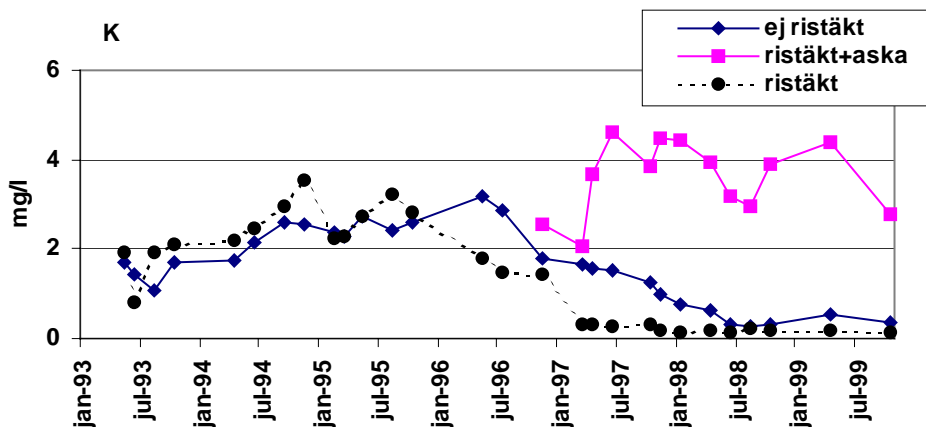


Figur 33. Halter i markvatten av nitratkväve med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska från hyggen avverkade 1993 och 1992 på Tönnersjöheden under perioden 1993 till 1999. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.

Den största avvikelserna mellan alternativen ej ristäkt och ristäkt+aska, med avseende på markvattenkemi och utlakning, är sannolikt kalium där det under hyggesfasen var en tendens till lägre halter efter ristäkt (figur 34 och 35). Efter askgödsling steg halterna i markvatten kraftigt på båda lokalerna till en nivå som inte är normal för näringsfattig skogsmark. Förhöjningen fanns kvar under hela den studerade perioden 1997 till 1999. Askgödslingen tillförde ett visst överskott av kalium (se avsnitt 3.3), men långvarigt förhöjda halter i markvatten efter askgödsling på hygge kan medföra att av ett för skogen viktigt näringsämne utlakas under en period när behovet är litet.

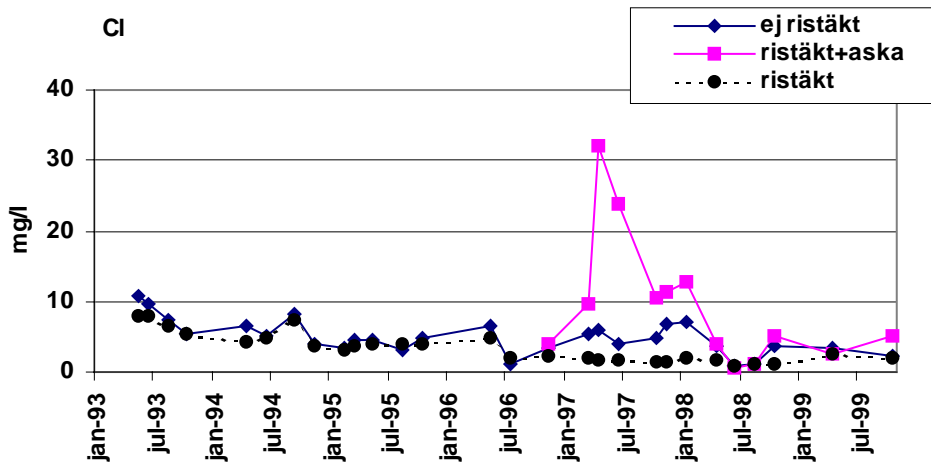


Figur 34. Halter i markvatten av kalium med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska från hyggen avverkade 1993 och 1992 i Asa under perioden 1993 till 1999. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.



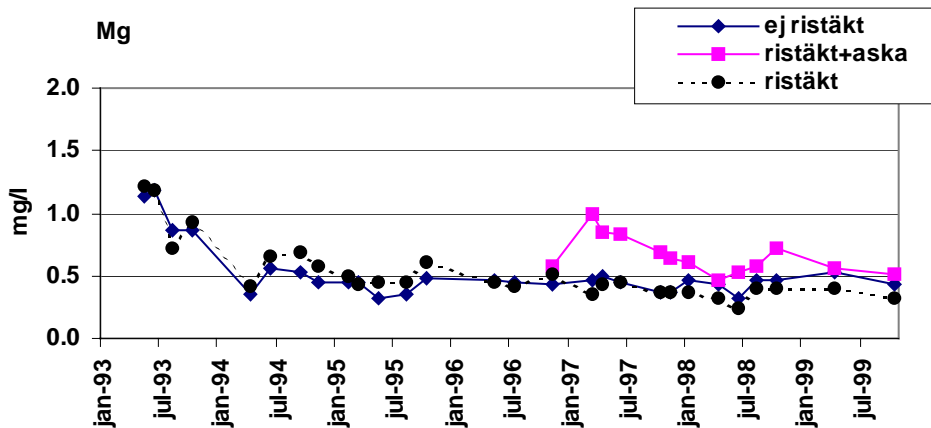
Figur 35. Halter i markvatten av kalium med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska från hyggen avverkade 1993 och 1992 på Tönnersjöheden under perioden 1993 till 1999. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.

De förhöjda halterna av klorid i markvatten efter askgödsling på Tönnersjöheden (figur 36) illustrerar en annan skillnad mellan riset kvar och ristäkt+aska. Lättlösliga salter i askan (med klorid och sulfat som anjoner) ger under en tid ett ökat anjonflöde genom marken som kan påverka utlakningen av andra ämnen, samt vid mycket höga halter ge en ”salteffekt”.



Figur 36. Halter i markvatten av klorid med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska från hyggen avverkade 1993 och 1992 på Tönnersjöheden under perioden 1993 till 1999. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.

Effekterna på markens surhetsgrad av ristäkt+aska, jämfört med att riset lämnas kvar, var små. Halterna av baskatjoner utöver kalium ökade i regel något efter askgödsling, men effekterna var begränsade. Figur 37 visar ett typiskt exempel från Asa där halterna av magnesium var något förhöjda efter askgödsling. Effekten är störst det första året efter behandling, men en skillnad kvarstod under en längre tid.



Figur 37. Halter i markvatten av magnesium med ej ristäkt, ristäkt och ristäkt+aska från hyggen avverkade 1993 och 1992 i Asa under perioden 1993 till 1999. Askgödslingen skedde i december 1996 och det första värdet i serien visar halten strax innan gödslingen.

## Arealförluster

Med syfte att kvantifiera effekterna på utlakning av askgödsling i Asa och på Tönnersjöheden har genomsnittliga arealförluster uppskattats under tiden 1996 till 1999 (tabell 9 och 11). Beräknade arealförluster under tidigare faser av hyggesförloppet finns redovisade i Örlander m. fl. (1997). Tabellerna visar även signifikanta behandlingseffekter av ristäkt+aska, jämfört med enbart ristäkt. Behandlingseffekten av aska avser signifikanta förändring i arealförluster jämfört med enbart ristäkt, korregerat för olikheter i arealförluster mellan försöksleden innan askgödslingen.

Tabell 9. Uppskattade arealförluster (kg/ha) 1996-1999 i Asa samt signifikanta behandlingseffekter av askgödslingen (positiva värden anger en ökning). 1996 är före askgödsling. Med korregerad behandlingseffekt av aska menas att hänsyn tagits till skillnader i arealförluster mellan försöksleden före askgödslingen vid beräkningen.

Försöksled	År	kg/ha										
		H+	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub> -S	Cl	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Tot-Al	TOC
Ej ristäkt	1996	0.04	2.8	0.9	2.7	1.3	8.6	3.1	0.00	0.02	3.0	10
	1997	0.08	3.8	1.4	4.8	1.4	12.4	7.1	0.19	0.04	5.2	15
	1998	0.11	6.4	2.2	8.0	1.2	19.5	8.5	0.01	0.04	7.3	22
	1999	0.09	5.6	1.9	7.0	0.8	15.4	12.8	0.02	0.03	6.1	17
Ristäkt	1996	0.03	2.8	0.9	3.4	0.6	8.0	2.4	0.00	0.02	2.6	10
	1997	0.06	4.3	1.3	5.6	0.8	11.9	6.0	0.03	0.04	4.3	14
	1998	0.09	6.7	1.9	9.4	0.8	17.5	9.4	0.01	0.04	6.4	22
	1999	0.07	5.1	1.6	8.6	0.7	14.5	11.2	0.01	0.03	5.4	15
Ristäkt+aska	1996	0.04	3.6	1.1	3.5	1.3	7.7	6.4	0.00	0.02	2.7	9
	1997	0.06	6.5	2.4	9.5	7.2	14.8	17.1	0.01	0.04	4.2	14
	1998	0.09	9.2	2.9	12.8	8.0	22.2	14.8	0.01	0.04	5.7	22
	1999	0.06	7.3	2.1	9.7	6.4	16.6	12.6	0.03	0.03	4.1	17
Korrigerad behandlingseffekt av aska (jämfört med enbart ristäkt)	1997		1.1	0.8	3.7	5.5	3.4					
	1998		0.7	0.4	3.2	6.4	5.4					
	1999		0.9	0.0	0.9	5.0	2.7					

Andelen utlakad på de båda lokalerna av de näringsämnen som fanns i askan visas i tabell 10 och 12. Den utlakade andelen under tre år var 9 % respektive 18 % för kalium i Asa och på Tönnersjöheden. Utlakad andel av kalcium på båda lokalerna och magnesium i Asa var relativt liten under tre år. På Tönnersjöheden noterades även en relativt stor utlakning av askans innehåll av magnesium (13 %).

Tabell 10. Beräknad utlakning av näringsämnen tre år efter gödsling i Asa i relation till askgivan (3 ton per ha) totala näringsinnehåll.

Försöksled	År	Ca	Mg	Na	K
Andel av askgiva					
Aska+ristäkt	1997	0.2%	1.0%	21.8%	2.8%
	1998	0.1%	0.5%	18.6%	3.2%
	1999	0.1%	0.0%	5.1%	2.6%
	1997-1999	0.4%	1.6%	45.4%	8.6%

Utlakningen av natrium på Tönnersjöheden, där utlakningen (enbart behandlingseffekten) var mycket större än vad som finns i askgivan, indikerar att det inte finns något enkelt samband mellan de ämnen som utlakas ur askan och vad som på kort sikt (något eller några år) återfinns i markvattnet. Det är sannolikt att utlakningen ur askan av framför allt kalcium, som utgör en stor andel av askan, är betydligt större än vad undersökningarna av markvatten indikerar. Kalcium, och andra katjoner, kan jonbyta med natrium som frigörs från markpartiklarna och tillförs markvattnet.

Tabell 11. Uppskattade arealförluster 1996-1999 på Tönnersjöheden samt signifikanta behandlingseffekter av askgödslingen. (positiva värden anger en ökning). 1996 är före askgödsling. Med korrigerad behandlingseffekt av aska menas att hänsyn tagits till skillnader i arealförluster mellan försöksleden före askgödslingen vid beräkningen.

Försöksled	År	H+	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub> -S	Cl	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Tot-Al	TOC
kg/ha												
Ej ristäkt	1996	0.16	2.6	2.4	18.3	7.2	10.8	22.4	6.5	0.18	11.5	74
	1997	0.22	2.7	3.2	24.9	6.4	12.8	45.4	5.5	0.12	16.9	78
	1998	0.20	2.7	3.2	23.5	3.3	13.9	30.0	0.8	0.05	14.3	98
	1999	0.13	1.9	3.3	13.6	2.1	7.7	21.8	1.2	0.06	9.4	74
Ristäkt	1996	0.16	3.2	2.6	20.1	3.5	11.2	23.7	2.5	0.06	11.1	85
	1997	0.24	2.2	2.5	27.9	4.7	10.3	49.6	6.5	0.10	19.2	89
	1998	0.19	2.7	2.8	25.8	3.0	12.1	29.6	1.5	0.08	15.4	119
	1999	0.14	1.5	2.5	15.6	0.9	6.4	22.8	2.5	0.04	10.3	70
Aska+ristäkt	1996	0.13	2.0	2.0	15.8	7.3	14.1	20.5	0.5	0.08	8.0	52
	1997	0.23	4.1	8.9	52.0	17.7	22.4	112.0	4.0	0.61	18.5	57
	1998	0.20	3.9	4.9	29.6	19.8	31.7	38.7	0.3	0.13	14.4	65
	1999	0.12	2.1	1.7	16.0	15.7	14.0	25.0	0.9	0.03	8.2	55
Korrigerad behandlingseffekt av aska (jämfört med enbart ristäkt)	1997		2.7	7.0	30.1	8.1	9.4	69.3				
	1998		2.2	2.8	9.3	13.6	16.5	13.3				
	1999		1.2	0.0	3.8	13.9	5.9	5.4				

Skillnaden i reaktion mellan Asa och Tönnersjöheden kan bero på att den senare lokalen har större mängder utbytbar natrium i markprofilen, beroende på högre havssaltsnedfall än i Asa. Jonbyteseffekten innebär att marken blir rikare på kalcium och eventuellt andra baskatjoner som på lång sikt även kommer att påverka markvattnets kemi.

Tabell 12. Beräknad utlakning av näringsämnen tre år efter gödsling på Tönnersjöheden i relation till askgivans (3 ton per ha) totala näringsinnehåll.

Försöksled	År	Ca	Mg	Na	K
Andel av askgiva					
Aska+ristäkt	1997	0.4%	9.2%	176%	4.1%
	1998	0.3%	3.7%	55%	6.9%
	1999	0.2%	0.0%	22%	7.0%
	1997-1999	0.9%	12.9%	253%	18.0%

Skillnaderna i arealförluster mellan försöksleden ej ristäkt och ristäkt var små enligt beräkningarna. Askgödslingen medförde signifikant ökade arealförluster av flera ämnen som fanns i askan. Det relativt största bidraget bland näringsämnena noterades för kalium. Även utlakningen av sulfatsvavel och klorid ökade relativt kraftigt som en följd av askgödsling, i synnerhet på Tönnersjöheden. Behandlingen ristäkt+aska medförde att markens tillgång på kalcium, magnesium och kalium var större vid försökets slut (efter elva år) än utan ristäkt i både Asa och på Tönnersjöheden, även med hänsyn tagen till den mängd som förts bort vid ristäkten samt förhöjd utlakning efter askgödsling (tabell 13 och 14). Skillnaden var speciellt stor för kalcium efter askbehandling, eftersom askgivan baserades på återföring av kalium i tillräcklig mängd. Till skillnad mot kalcium minskade kaliummängden i kedjan från skogen, via förbränning och askbehandling till återföring till skogen igen. Proportionerna mellan ämnena var väsentligt annorlunda i askan jämfört med det skogsbränsle som togs ut (jämför tabellerna 3 och 4 i avsnitt 3.3).

Arealförlusten av kalium var betydligt högre de första åren i försöksledet där riset lämnats (Örlander m. fl., 1997), i synnerhet på Tönnersjöheden (tabell 14). Förhöjningen var så stor att den i stort sett motsvarade den mängd kalium som fanns i det kvarlämnade riset (se även avsnitt 4.1.1). Det gjorde att kaliumförlusterna var ungefär lika stora utan och med ristäkt under försöksperioden på Tönnersjöheden. Summerat över elva år (1989-1999) var kaliumförlusten (utlakning) i försöksledet utan ristäkt ca 200 kg per ha (tabell 13). Förlusterna med ristäkt (utlakning plus risets kaliuminnehåll) var ca 220 kg per ha, och motsvarande värde i försöksledet med ristäkt+aska var ca 60 kg per ha (utlakning plus risets kaliuminnehåll minus askans kaliuminnehåll).

Tabell 13. Beräknad omsättning av baskatjoner och kväve (utlakning endast oorganiskt kväve) i kg per ha i de olika försöksleden under perioden från hygge till elva år efter plantering i Asa. Positiva tal betyder tillskott till marken och negativa tal förlust. Tabellen visar endast förändringarna av förråden som ristäkt och askåterföring orsakar, jämfört med ej ristäkt. Skogsmarkens totala balans av näringsämnen är beroende på fler faktorer; förluster via stamvedsuttag samt tillförsel i form av deposition och markens vittring.

Asa kg per ha	Bortfört med ris	Utlakning 1989-96	Tillfört med aska	Utlakning 1997-1999	Balans
<i>Ej ristäkt</i>					
Ca		-51		-16	-67
Mg		-22		-6	-28
K		-53		-4	-57
N		-35		-1	-36
<i>Ristäkt</i>					
Ca	-137	-54		-16	-207
Mg	-24	-22		-5	-51
K	-103	-38		-2	-143
N	-240	-20		-1	-261
<i>Ristäkt+aska</i>					
Ca	-137	-54	680	-23	466
Mg	-24	-22	75	-7	22
K	-103	-38	200	-22	37
N	-240	-20		-1	-261

Skillnaderna i utlakning av oorganiskt kväve (tabell 13 och 14) mellan försöksleden var inte signifikanta, men tendensen var att behandlingen ej ristäkt gav störst utlakning. Detta noterades på båda lokalerna, men utlakningen var större på Tönnersjöheden både med och utan ristäkt. Den omfattande utlakningen av oorganiskt kväve under perioden 1989 till 1996 orsakades av hyggesupptagningen. Under den efterföljande perioden, 1997 till 1999 återgick utlakningen till normalt låga nivåer. I Asa var den viktigaste orsaken till kväveförlust det uttagna riset. På Tönnersjöheden var uttag via ris och utlakning av samma storleksordning. Med ristäkt på Tönnersjöheden var förlusten av kväve under elva år mer än 500 kg per ha. Till detta kommer uttaget via stamved (ca 150 kg per ha). De båda posterna motsvarar ca 25 år av den nuvarande depositionen av kväve i sluten skog. Motsvarande förlust i Asa, ca 380 kg per ha inklusive stamved, motsvarar också ca 30 år av nuvarande deposition till skog i området. Behandlingen med aska som utfördes på 3-7 år gamla hyggen ökade inte utlakningen av kväve, vilket även har visats i andra försök i Sverige (Arvidsson, 2001).



Tabell 14. Beräknad omsättning av baskatjoner och kväve (utlakning endast oorganiskt kväve) i kg per ha i de olika försöksleden under perioden från hygge till elva år efter plantering på Tönnersjöheden. Positiva tal betyder tillskott till marken och negativa tal förlust. Tabellen visar endast förändringarna av förråden som ristäkt och askåterföring orsakar, jämfört med ej ristäkt. Skogsmarkens totala balans av näringsämnen är beroende på fler faktorer; förluster via stamvedsuttag samt tillförsel i form av deposition och markens vittring.

<b>Tönnersjöheden</b> <b>kg per ha</b>	<b>Bortfört</b> <b>med ris</b>	<b>Utlakning</b> <b>1989-96</b>	<b>Tillfört med</b> <b>aska</b>	<b>Utlakning</b> <b>1997-1999</b>	<b>Balans</b>
<i><b>Ej ristäkt</b></i>					
Ca		-39		-7	-46
Mg		-37		-10	-47
K		-190		-12	-202
N		-264		-8	-272
<i><b>Ristäkt</b></i>					
Ca	-182	-33		-6	-221
Mg	-31	-26		-8	-65
K	-129	-80		-9	-218
N	-298	-228		-11	-537
<i><b>Ristäkt+aska</b></i>					
Ca	-182	-33	680	-10	455
Mg	-31	-26	75	-16	2
K	-129	-80	200	-53	-62
N	-298	-228		-6	-532

## 4.2 Plantutveckling och markvegetation

Plantornas tillväxt är beräknad mellan hösten 1996 och 1997, respektive 2002 i huvudförsöket. Planteringen skedde samma år (1993), men på olika gamla (3-7 år) hyggen. Det färska hygget planterades våren 1997. Markvegetationen mättes hösten 1997 och bestod av alla insamlade arter. I regel dominerade gräs i provytorna.

Tabell 15. Markvegetation hösten 1997, torrsvikt ton per ha. Genomsnitt för alla hyggesåldrar på Asa och Tönnersjöheden.

Försöksled	Vegetation, torrsvikt, ton/ha		
	Ej markberett	Markberett	Medel
1=Ristäkt+aska	6.88	5.29	6.08
2=Ristäkt	6.69	4.74	5.71
3=Ej ristäkt	4.57	4.82	4.70
Medel	5.68	4.92	5.30

Tabell 16. Markvegetation hösten 1997, täckningsgrad. Genomsnitt för alla hyggesåldrar på Asa och Tönnersjöheden.

Försöksled	Vegetation, täckningsgrad, %		
	Ej markberett	Markberett	Medel
1=Ristäkt+aska	95	92	93
2=Ristäkt	92	83	87
3= Ej ristäkt	90	92	91
Medel	92	90	91

Markvegetationens biomassa (tabell 15) påverkades inte tydligt under 1997 av askgödslingen. Oavsett askgödslingen fanns en skillnad mellan ristäkt och riset kvar, med en något högre biomassa på risrensade ytor. Markvegetationens täckningsgrad hösten 1997 (tabell 16) var hög i alla försöksled. Ingen effekt av askbehandlingen kunde noteras.

Tabell 17. Effekt av ristäkt och asktillförsel (3ton/ha) på genomsnittlig plantvolym. Medelfel inom parentes. Genomsnitt för alla hyggesåldrar på Asa och Tönnersjöheden.

<b>Volym (cm<sup>3</sup>) 1996, före askgödning</b>			
<b>Försöksled</b>	<b>Ej markberett</b>	<b>Markberett</b>	<b>Medel</b>
1=Ristäkt+aska	117.0	172.9	145.0
2=Ristäkt	118.0	159.7	138.9
3= Ej ristäkt	102.5	152.1	127.3
Medel	112.5	161.6	137.0

<b>Volym (cm<sup>3</sup>) 1997, ett år efter askgödning</b>			
<b>Försöksled</b>	<b>Ej markberett</b>	<b>Markberett</b>	<b>Medel</b>
1=Ristäkt+aska	335.6	433.0	384.3
2=Ristäkt	299.2	403.7	351.4
3= Ej ristäkt	326.2	444.1	385.1
Medel	320.3	426.9	373.6

<b>Volym (dm<sup>3</sup>) 2002, sex år efter askgödning</b>			
<b>Försöksled</b>	<b>Ej markberett</b>	<b>Markberett</b>	<b>Medel</b>
1=Ristäkt+aska	7,31 (0,58)	8,95 (0,61)	8,19 (0,43)
2=Ristäkt	6,33 (0,48)	7,26 (0,44)	6,84 (0,32)
3= Ej ristäkt	7,04 (0,26)	8,18 (0,41)	7,65 (0,28)
Medel	6,94 (0,26)	8,14 (0,28)	7,59 (0,19)

Plantornas tillväxt (mätt som stamvolym) mellan 1996 och 1997 (tabell 17) påverkades inte av askbehandlingen. Markberedda ytor hade generellt högre volym än ytor utan markberedning. Plantornas höjdtillväxt under 1997 (tabell 18) var likartad i alla försöksled och askgödningen hade ingen statistiskt säkerställd effekt.

Sex år efter askbehandling var trädens volym högre på askbehandlade ytor än där askgödning ej utförts (tabell 17 och 18). Effekten var statistiskt säkerställd i huvudförsöket, där behandlingen skett på 3-7 år gamla hyggen. Ytor med ristäkt hade lägre tillväxt än de där riset lämnats, men den skillnaden var inte statistiskt säkerställd. Markberedning ökade tillväxten för alla försöksled och den högsta tillväxten uppmättes för kombinationen markberedning+askgödning. Det fanns ingen skillnad i effekt av askgödning beroende av hyggets ålder vid askgödningstillfället. På försökslokalerna i Asa och på Tönnersjöheden var effekten av ristäkt och askgödning likartad. Höjdtillväxten påverkades på samma sätt som volymtillväxten, men skillnaderna var mindre (tabell 18).

Askgödsling på det färskta hygget gav en positiv effekt på plantornas tillväxt, såväl på volym som höjd (tabell 19), medan ristäkt medförde en sänkt tillväxt. Skillnaden mellan behandlingarna var dock inte statistiskt säkerställd.

Tabell 18. Effekt av ristäkt och asktillförsel (3 ton/ha) på genomsnittlig toppskottstillväxt, 1997 och höjd 2002. Medelfel inom parentes. Genomsnitt för alla hyggesåldrar på Asa och Tönnersjöheden.

<b>Tillväxt 1997, mm</b>			
<b>Försöksled</b>	<b>Ej markberett</b>	<b>Markberett</b>	<b>Medel</b>
1=Ristäkt+aska	219 (59)	260 (74)	239 (66)
2=Ristäkt	181 (50)	244 (71)	213 (60)
3= Ej ristäkt	224 (41)	292 (52)	258 (46)
Medel	208 (50)	265 (65)	237 (58)

<b>Höjd 2002, m</b>			
<b>Försöksled</b>	<b>Ej markberett</b>	<b>Markberett</b>	<b>Medel</b>
1=Ristäkt+aska	4,15 (0,13)	4,47 (0,12)	4,32 (0,09)
2=Ristäkt	3,94 (0,13)	4,40 (0,10)	4,19 (0,09)
3= Ej ristäkt	4,20 (0,09)	4,39(0,09)	4,30 (0,08)
Medel	4,13 (0,06)	4,41(0,06)	4,28 (0,04)

Tabell 19. Genomsnittlig volym och höjd 6 år efter askgödsling på färskt hygge, Asa Småland. Medelfel inom parentes.

<b>Försöksled</b>	<b>Volym, dm<sup>3</sup></b>	<b>Höjd, m</b>
1=Ristäkt+aska	1,82 (0,11)	2,58 (0,06)
2=Ristäkt	1,29 (0,08)	2,34 (0,06)
3= Ej ristäkt	1,53 (0,10)	2,47 (0,07)
Medel	1,54 (0,06)	2,46 (0,04)

## 5 Slutsatser

### **Effekter av kalavverkning**

Slutavverkning av skog som skapar kalhyggen leder till kraftiga fysiska och biologiska förändringar av ståndorten. Förutom direkta förändringar av temperatur- och vindförhållanden samt solinstrålning till marken höjs grundvattenytan och avrinningen ökar. Nedbrytningen av organiskt material fortsätter i minst samma omfattning som innan avverkningen, men upptaget av näringsämnen minskar drastiskt till dess att ny hyggesvegetation är etablerad. Dessa förändringar bidrar tillsammans med minskad torrdeposition till att förutsättningarna som styr de biogeokemiska processerna blir kraftigt förändrade. Dessutom innebär hyggesfasen att marken på en gång tillförs en stor mängd förna (under förutsättning att avverkningsrester lämnas) som med varierande hastighet kan omsättas och ytterligare påverka flöden inom och ut från marken. Förändringarna av markvattnets kemi samt utlakningen av olika ämnen kan delas in i tre kategorier:

- Ämnen som i stor utsträckning tillförs genom torrdeposition till träden, till exempel havssalter och svavel, minskar påtagligt efter avverkning.
- Utlakning av vissa näringsämnen, främst kalium och oorganiskt kväve påverkas huvudsakligen av förändrade processer på hygget i form av ökad nedbrytning och omsättning av kväve, samt inte minst drastiskt minskat upptag i vegetation. Utlakning ökar relativt snabbt efter avverkning för att efter några år klinga av när ny vegetation etableras på hygget. Utlakningen av kväve påverkas även av kvävenedfallets storlek i området.
- Den tredje kategorin är ämnen som påverkas av kombinationen av ovanstående förändringar, i första hand markens syra-bas status och förekomsten av mobila anjoner som transporterar katjoner som aluminium och kalcium, lösta i markvattnet, genom markprofilen.

### **Effekt av riståkt**

De närmaste åren efter hyggesupptagningen dominerades effekterna av själva avverkningen. Den lokala variationen i effekter av kalhuggning var relativt stor vilket gör att tillkommande effekter av riståkt är svåra att statistiskt belägga under den akuta hyggesfasen. Riståkt visade en tendens till att minska utlakningen av kväve de första åren efter avverkning. Med den minskade utlakningen av kväve följde även minskad utlakning av andra ämnen. På Tönnersjöheden var de summerade kaliumförlusterna ungefär lika stora utan och med riståkt under försöksperioden på elva år, trots att nära 130 kg kalium per ha tagits bort vid riståkten. När utlakningen av kväve klingat av på hygget kvarstod en skillnad där utlakningen var något lägre av många ämnen efter riståkt, jämfört med om riset lämnats kvar. Försöksled med riståkt hade lägre tillväxt på plantorna men skillnaden var inte statistiskt säkerställd.

### **Effekt av askgödsling**

Askgödslingen som utfördes när den akuta hyggeseffekten i stort sett var över gav i regel små effekter på utlakningen av olika ämnen med några undantag. Vissa ämnen som utgör en bety-

dande andel av askan är relativt lösliga och lätttrörliga i markprofilen. Det gäller i synnerhet kalium, sulfat och klorid som uppvisade en nivå på utlakning som var betydligt högre än den normala från plantskog utan askgödsling. Behandlingen ristäkt+aska innebar dock att markens tillgång på kalcium, magnesium och kalium var större vid försökets slut än i försöksledet utan ristäkt, även med hänsyn tagen till den mängd som förts bort vid ristäkten samt förhöjd utlakning efter askgödsling. Askgödslingen medförde även viss ökad utlakning av andra baskatjoner än kalium, vilket kompenserade för ristäkstens inverkan att minska utlakningen av flera baskatjoner. Under en treårsperiod efter gödsling utlakades en mindre del av askans näringsinnehåll. Andelen var störst för kalium (9-18%) och minst för kalcium (0,5-1 %). Askgödslingen på tre till sju år gamla hyggen gav inga effekter på utlakningen av kväve.

Askgödsling på färskt hygge ökade kortvarigt utlakningen av kväve under den akuta hyggesfasen, men askans syranutraliserande förmåga bidrog till att den normala försumningseffekten uteblev som vanligtvis följer på ökad bildning och utlakning av nitratkväve.

Behandlingen av risrensade försöksytor med aska påverkade inte utvecklingen av markvegetationens biomassa och täckningsgrad, samt plantornas tillväxt under det första året efter behandling. Efter sex år hade plantor på askbehandlade ytor en signifikant högre volym än där askgödsling ej utförts. Tillväxten hos plantor på ej risrensade ytor och på ytor risrensade+askbehandlade skilde sig inte signifikant.

### **Effekt av markberedning**

Perioden nära efter avverkning domineras av förhöjd utlakning av nitratkväve, som i sin tur ökar utlakningen av andra ämnen, vilket överskuggar eventuella små effekter av andra åtgärder som markberedning. När utlakningen stabiliserats på hygget tre till sex år efter avverkning noterades små, men signifikanta, skillnader mellan markberedda försöksled och övriga behandlingar. Generellt ökade utlakningen något efter markberedning för ämnen som representerar både katjoner och anjoner. Exempel på minskad utlakning efter markberedning var relativt få, bland annat var kväveutlakningen något lägre på Tönnersjöheden i slutet av hyggesfasen. Det fanns inga signifikanta exempel på att utlakningen av oorganiskt kväve ökat efter markberedning i denna undersökning. Tillväxten hos plantorna ökade som väntat som en följd av markberedning.

## 6 Referenser

- Anon. 2001. Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling. Skogsstyrelsen Meddelande 2-2001. 16 s.
- Arvidsson H. 2001. Wood Ash Application in Spruce Stands – Effects on ground vegetation, tree nutrient status and soil chemistry. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Sylvestria 221. Doktorsavhandling, SLU Ultuna. 33.s + 4 appendix.
- Hallgren Larsson E., Svensson A. & Westling O. 2003. Luftföroreningar i skogliga provytor – Resultat till och med september 2002. IVL rapport B 1521. 65 s.
- Jönsson O. & Nilsson C. 1996. Aska från biobränslen. KSLAs tidskrift 135 (13), 25-36
- Larsson P.-E. & Westling O. 1999. Lakning av vedaska - en laboratoriestudie. IVL rapport B1325. Aneboda 21 s.
- Nilsson U., Örlander G., Erixon M. & Petterson M. 1994. Hyggesåldersförsöket. Redovisning av resultat från åren 1989-1993. Arbetsrapport nr 6. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp. 29 s.
- Nilsson U. & Örlander G. 1999. Vegetation management on grass dominated clearcuts in southern Sweden. Canadian Journal of Forest Research 29: 1015-1026.
- Örlander G., Nilsson U. & Hällgren J-E. 1996. Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted Norway spruce. New Zealand Journal of Forest Research, 26: 99-117.
- Örlander G.; Langvall, O., Petersson P. & Westling O. 1997. Arealförluster av näringsämnen efter riståkt och markberedning på sydsvenska hyggen. Arbetsrapport nr 15. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp. 18 s.

## 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 arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

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

### Forskning- 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](http://www.ivl.se)

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



---

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

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

P.O.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 77 80  
Fax: +46 472 26 77 90

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)