

Luftföroreningar i skogliga provytor - Resultat till och med september 2005

Anna Nettelblatt, Olle Westling, Cecilia Akselsson,
Annika Svensson och Sofie Hellsten
B 1682
Juni 2006

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 5302 400 14 Göteborg	Projekttitel Krondropps nätet
Telefonnr 031-725 62 00	
Rapportförfattare Anna Nettelblatt, Olle Westling, Cecilia Akselsson, Annika Svensson och Sofie Hellsten	
Rapporttitel och undertitel Luftföroreningar i skogliga provtytor - Resultat till och med september 2005	
Sammanfattning IVL mäter nedfall (deposition) av luftföroreningar, markvattenkemi och lufthalter på sammanlagt 108 provtytor i Sverige (Krondropps nätet) på uppdrag av luftvårdsförbund, länsstyrelser, Skogsstyrelsen och kommuner. Mätningarna i skogsytorna visar att svaveldepositionen har minskat kraftigt sedan mitten av 1980-talet när mätningarna startade, i takt med att utsläppen av svavel minskat. För kväve finns ingen tydlig trend i tiden, vilket beror på att kväveutsläppen har varit svårare att begränsa. Markvattenmätningarna uppvisar tydliga tecken på återhämtning med ökande pH och ANC samt minskande halter av oorganiskt aluminium på flertalet provtytor i södra Sverige, samt även i viss mån i mellersta Sverige. Återhämtningen är dock inte lika snabb som minskningen i svavelnedfall, eftersom marken är ett trögt system med buffringsprocesser som förhindrar snabba förändringar. Halten nitratkväve har generellt varit låg, men det finns exempel på ytor, framför allt i sydvästra Sverige med högst kvävenedfall, där nitratkvävehalten ofta varit förhöjd. Miljökvalitetsnormerna för lufthalter av svavel- och kvävedioxid överskreds inte under det hydrologiska året 2004/2005. Halten marknära ozon under sommarhalvåret 2005 översteg däremot gränsvärdet enligt miljökvalitetsmålet "Frisk luft" på alla lokaler utom två. Med hjälp av mätningar med provtagare under tak har en metod utvecklats för att uppskatta andelen torrdeposition i depositionen uppmätt på öppet fält, som är tänkt som ett mått på våtdeposition. Detta har lett till förbättrade modellberäkningar av våtdeposition. Modellerad deposition i skog är överskattad jämfört med uppmätt deposition via krondropp och fortsatta mätningar i skogsytorna är därför viktiga. Ytorna i Krondropps nätet klarade sig relativt bra vid stormen Gudrun, endast fyra provtytor blev så svårt skadade att krondroppsmätningar inte kunde fortsätta. Det finns redan tecken på att stormen kommer att leda till ökad utlakning av kväve och därmed övergödnings- och försurningseffekter.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Luftföroreningar, krondropp, skog, deposition, markvatten, svavel, kväve, marknära ozon	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B 1682	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se , e-post: publicationservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Rapporten godkänd:
2006-06-09



Avdelningschef

Sammanfattning

Sedan 1985 mäter IVL nedfall (deposition) av luftföroreningar, markvattenkemi och lufthalter på skogsytor i Sverige (Krondroppsnätet) på uppdrag av luftvårdsförbund, länsstyrelser, Skogsstyrelsen och kommuner. Mätningarna har utförts enligt samma metodik sedan mätningarna startade, vilket innebär att det nu finns ytor med upp till 20-åriga tidsserier. Detta innebär en unik möjlighet att studera hur effekter av luftföroreningar varierar i tid och rum. Flertalet provytor sammanfaller med Skogsstyrelsens observationsytor, vilket innebär att data kan jämföras med skogliga uppgifter.

Under det hydrologiska året 2004/2005 gjordes mätningar på sammanlagt 108 ytor. Svaveldepositionen var på ungefär samma nivå som de närmast föregående åren, men har minskat kraftigt sedan mitten av 1980-talet när mätningarna startade, i takt med att utsläppen av svavel minskat. Minskningen är mest markant i södra Sverige som är värst drabbat av luftföroreningar, där har depositionen minskat från över 20 kg per ha och år i mitten av 1980-talet till omkring 5 kg per ha och år. Kvävenedfallet har varierat mellan åren, främst beroende på variationer i nederbörds mängd, men det finns ingen tydlig trend i tiden, vilket beror på att kväveutsläppen har varit svårare att begränsa. I Götaland deponerades knappt 8,8 kg kväve (oorganiskt och organiskt) per hektar under det hydrologiska året 2004/2005. Motsvarande siffra i Norrland var 1,4 kg per hektar. Mätningar av luftföroreningar i fjällområden har visat att depositionen är högre på hög höjd jämfört med låglandet. Skillnaden har dock minskat under senare år.

Halten sulfatsvavel i markvatten har minskat kraftigt i takt med att svavelnedfallet minskat, framför allt i södra Sverige. Effekten på de försurningsrelaterade parametrarna pH, oorganiskt aluminium och ANC är inte alls lika tydliga. I södra och i viss mån mellersta Sverige är något ökande pH och ANC, samt minskande halter av oorganiskt aluminium vanligt förekommande, medan ytorna i norr oftast är oförändrade. Den mindre responsen i markvattnet beror på att marken är ett trögt system, med buffringssystem som förhindrar snabba förändringar. Halten nitratkväve har generellt varit låg på de allra flesta ytorna i Sverige, men det finns exempel på ytor, framför allt i sydvästra Sverige, där nitratkvävehalten ofta varit förhöjd, vilket kan vara ett tecken på att marken är nära kvävemättad.

Miljökvalitetsnormerna överskreds varken för svavel- eller kvävedioxid under det hydrologiska året 2004/2005. I september 2005 inträffade en kort episod med kraftigt förhöjda halter av svaveldioxid i norra Sverige, vilket framför allt syns på lokalen Palovare i norra Norrbottens län. En trolig orsak är höga emissioner från ett nickelsmältverk i Nikel på Kolahalvön som transporterades med vinden till området kring Palovare. Halten marknära ozon under sommarhalvåret 2005 översteg gränsvärdet enligt miljökvalitetsmålet "Frisk luft", 50 µg/m³, på alla lokaler utom två.

Med hjälp av mätningar med provtagare under tak har en metod utvecklats för att uppskatta torrdepositionsandelen i depositionen uppmätt på öppet fält, som är tänkt som ett mått på våtdeposition. Detta har lett till förbättrade modellberäkningar av våtdeposition. Modellerad deposition i skog är överskattad jämfört med uppmätt deposition via krondropp och mätningar i skogsytor är därför fortfarande viktiga.

Stormen Gudrun i januari 2005 innebar en markant ökning av kalhyggen i södra Sverige vilket innebär ökad utlakning av kväve och därmed övergödnings- och försurningseffekter, främst på grund av att upptaget av kväve avbryts. Ökad kväveutlakning efter stormen Gudrun har redan uppmätts på provytor i södra Sverige, men förväntas nå en topp inom två år. Ökat havssaltsnedfall efter stormar kan innebära skador på vegetationen och surstötter då natrium byter plats med väte- och aluminiumjoner i marken. Havssaltsnedfallet efter stormen Gudrun var dock inte extremt jämfört med tidigare år. Provytorna i Krondroppsnätet klarade sig förhållandevis bra vid stormen, endast fyra provytor blev så svårt skadade att krondroppsmätningar inte kunde fortsätta.

Summary

Deposition and concentration of air pollution as well as soil water chemistry has been measured on forest plots in Sweden since 1985 within the Throughfall Monitoring Network. The measurements have been performed in a similar way since they started, and thus the time series of 20 years constitute a great source for studying the variation of air pollution effects in time and space. Most of the plots are coinciding with permanent forest plots (Level II network within ICP-Forest), thus data concerning deposition, soil solution and air quality can be compared with forest observations.

During the hydrological year October 2004-September 2005 measurements were performed on 108 sites. The sulphur deposition has substantially decreased since the mid 1980s along with the reduced sulphur emissions. The decrease is most pronounced in southern Sweden, which is the part of Sweden most affected by air pollution. In southern Sweden the sulphur deposition has decreased from over 20 to around 5 kg per hectare and year. The nitrogen deposition has varied between the years, mostly due to differences in precipitation amounts. There is, however, no obvious time trend as in the case of sulphur, due to the fact that it is much more difficult to reduce nitrogen emissions. In southern Sweden 8.8 kg nitrogen (organic and inorganic) was deposited per hectare during 2004/2005. The corresponding figure in northern Sweden was 1.4 kg per hectare. Measurements of air pollution in mountainous areas indicate that the deposition is higher on high elevations than in lowland areas. The difference has, however, decreased during recent years.

The concentration of sulphur in soil water has decreased rapidly along with the decreased sulphur deposition. The effect on the acidification related parameters pH, inorganic aluminium and ANC is not that evident. In southern Sweden, slightly increasing pH and ANC and decreasing concentrations of inorganic aluminium is commonly occurring, whereas no changes can be seen on the forest sites in northern Sweden. The lower response in the soil water than in the deposition is due to the buffering reactions in the soil which counteract rapid changes. The concentration of nitrate was low on most of the sites in Sweden. There are, however, some sites, especially in southern Sweden, with enhanced nitrate concentrations, which can be an indication of the soil being close to nitrogen saturation.

The Swedish environmental quality standards were not exceeded for sulphur dioxide or nitrogen oxide during 2004/2005. In September 2005 a short episode occurred, with substantially increased concentrations of sulphur dioxide in northern Sweden, which can be seen on the site Palovare in northernmost Sweden. A possible cause is high emissions from a nickel smelting plant on the Kola Peninsula in Russia, which were transported with the winds to the area around Palovare. The concentration of ground-level ozone during the summer months of 2005 exceeded the limit value according to the environmental objective "Clean Air", 50 µg/m³, on all but two sites.

A method involving measurements under a roof has been developed to estimate the dry fraction in the open field deposition, which is intended as a measure of wet deposition. This has led to improved model calculations of wet deposition. Modelled deposition in forest is overestimated compared with measured throughfall deposition and measurements are thus still important.

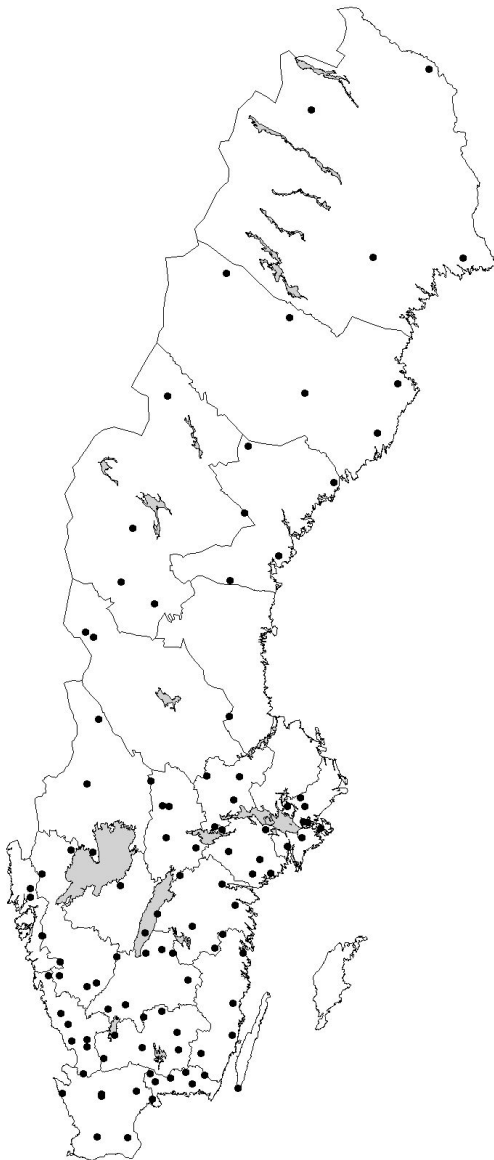
A great storm in January 2005 led to a pronounced increase of the amount of clearcuts in southern Sweden resulting in increased leaching of nitrogen, and thus eutrophication and acidification effects, mainly due to the terminated uptake of nitrogen. Increased nitrogen leaching after the storm has already been observed on sites in southern Sweden, and is expected to reach a maximum within 2 years. Only four sites in the Throughfall Monitoring Network were so badly damaged that measurements can not continue.

Innehåll

Sammanfattning.....	1
Summary	2
1 Inledning.....	5
1.1 Program 2004-2006.....	6
1.2 Använd metodik.....	8
2 Resultat från mätningarna.....	9
2.1 Nedfall i skog och på öppet fält.....	9
2.2 Nedfall av luftföroreningar i fjällområden	12
2.3 Markvatten	19
2.4 Lufthalter	28
3 Förbättringar av mätningar och modellberäkningar av deposition	42
4 Stormeffekter	45
5 Referenser.....	48
Bilaga 1: Nedfall på öppet fält	49

1 Inledning

Sedan 1985 mäter IVL nedfall, markvattenkemi och lufthalter på skogsytor i Sverige inom det så kallade Krondroppsnetet, på uppdrag av luftvårdsförbund, länsstyrelser, Skogsstyrelsen och kommuner. Sedan de första mätningarna utfördes i Blekinge 1985 har provytanätet utvecklats till att omfatta över 100 lokaler i hela landet, men med tyngdvikt på södra Sverige där problemen med försurande nedfall är som störst (Figur 1).



Figur 1. Krondroppsnetet under 2004/05. Samordnade mätningar av luftföroreningar i skogliga observationsytor.

Metoderna har i princip bibehållits sedan början av mätningarna, vilket innebär unika möjligheter att studera effekter av minskade utsläpp av luftföroreningar på nedfall och markvattenkemi i de upp till 20-åriga mätserierna. Huvuddelen av undersökningarna av luftföroreningar sker i Skogsstyrelsens skogliga observationsytor. Skogsstyrelsen undersöker regelbundet skogens och skogsmarkens tillstånd, som tillväxt, kronutglesning samt barr- och markkemi. Det gör att luftföroreningarnas inverkan på skogens och markens tillstånd kan analyseras. De skogliga observationsytorna ingår i såväl ett regionalt som ett nationellt och ett Europeiskt nät. Mer information om Krondroppsnetet finns att hämta på IVLs hemsida, www.ivl.se.

1.1 Program 2004-2006

Nuvarande treåriga program som löper från hösten 2003 till våren 2006 är i stora drag utformat som föregående treårsprogram, 2001-2003, då en rad förbättringar genomfördes såsom ökad samordning med nationell övervakning av luft, utökad redovisning av resultat på hemsidan, förbättrade metoder att undersöka torrdeposition i skog samt förbättrad kvalitetssäkring i mätningarna. Två skillnader jämfört med programmet 2001-2003 är att det numera finns minst en lokal per län med nederbördskemiska mätningar på öppet fält, samt att antalet skogsytor minskats något. De moment som ingår i programmet är:

- Mätningar avseende deposition, halter i luft och markvatten
- Modellberäkningar (i samarbete med SMHI)
- Lagring, bearbetning och utvärdering av data
- Redovisning
- Samordning, kvalitetssäkring och programutveckling

Under 2004/05 har mätningar utförts på 108 lokaler. En länsvis genomgång av vilka typer av mätningar som utförts presenteras i Tabell 1. Undersökta parametrar för deposition och markvatten framgår av Tabell 2. Parameterlistan för lufthalter omfattar i flertalet fall svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon.

Denna redovisning för det hydrologiska året 2004/05 är den andra inom det treåriga programmet. Den utförs, till skillnad från förra och nästa rapportering, som en samordnad rapport för hela Sverige i stället för separata länsrapporter. Detta görs för att ge en överblick över geografiska gradienter i Sverige. En motsvarande nationell rapportering finns även från programperioden 2001-2003 (Hallgren Larsson m. fl., 2003).

Utöver redovisning av nedfall, markvattenkemi och lufthalter innehåller denna rapport även ett separat avsnitt om nedfall av försurande luftföroreningar i fjällkedjan, en beskrivning av effekter av stormen Gudrun samt ett avsnitt om förbättringar av mätningar och modellberäkningar av deposition. Resultat till och med det hydrologiska året 2004/05 redovisas även i form av databaser, kartor och modellberäknad deposition på Krondroppsnetets hemsida, under www.ivl.se.

Tabell 1. Lokaler med mätningar under 2004/05. Flera typer av mätningar kan förekomma på samma lokal. 10 ytor är så kallade intensivytor (ingår i Naturvårdsverkets nationella program).

Län	Öppet fält	Kron dropp	Markvatten	Luft	Antal lokaler
AB	4	5	7	5	8 ^I
AC	2	5	5	1	5 ^{II}
BD	1	2	2	3	4
C	0	0	0	0	0
D	1	6	6	1	6
E	0	6	6	2	6
F	2	6	6	1	7 ^{III}
G	1	7	7	1	7
H	1	6	6	4	6
K	0	6	7	0	7
L/M	2	6	6	6	6
N	2	7	7	1	7
O	3	9	9	1	11
S	1	3	3	3	3
T	0	5	5	0	5
U	1	4	4	4	4
W	1	2	0	0	2 ^{IV}
X	1	1	1	0	1
Y	1	4	4	1	4
Z	4	5	2	0	9 ^V
<i>Summa</i>	<i>28</i>	<i>95</i>	<i>93</i>	<i>34</i>	<i>108</i>

^IVarav en lokal inom Luftfartsverkets miljökontroll vid Arlanda, samt en lokal, Ulriksdal, med två mätstationer, en med vanlig mätutrustning på öppet fält och en med en s.k "locksamlare".

^{II}Varav en yta inom Boliden Mineral ABs miljökontroll.

^{III}Varav en mätstation med enbart öppet fältmätningar på Visingsö.

^{IV}Båda ytorna utgör så kallade höghöjd-mätningar.

^VVarav sju ytor utgör höghöjd-mätningar.

Tabell 2. Parameterlista för depositions- och markvattenprover.

Analys	Deposition, kategori av yta			Markvatten <i>Samtliga ytor</i>
	<i>Intensiv</i>	<i>EU</i>	<i>Bas</i>	
pH, surhetsgrad	x	x	x	x
alkalinitet, buffertkapacitet	x	x	x	x
konduktivitet, ledningsförmåga	x	x	x	-
SO ₄ -S sulfatsvavel	x	x	x	x
Cl, klorid	x	x	x	x
NO ₃ -N, nitratkväve	x	x	x	x
NH ₄ -N, ammoniumkväve	x	x	x	x
Kj-N, Kjeldahl-kväve	x	x	-	-
TOC, totalt organiskt kol	x	-	-	x
Ca, kalcium	x	x	-	x
Mg, magnesium	x	x	-	x
Na, natrium	x	x	-	x
K, kalium	x	x	-	x
Fe, järn	-	-	-	x
Mn, mangan	x	x	-	x
TAl, totalt aluminium	-	-	-	x
ToAl, totalt organiskt aluminium	-	-	-	x
ooAl, oorganiskt aluminium	-	-	-	x

1.2 Använd metodik

Provtagning av nederbörd sker på öppna ytor. Analys av den provtagna nederbörden ger främst ett mått på det våta nedfallet (våtdepositionen). Depositionsförhållandena är annorlunda i en skog än på intilliggande öppen mark på grund av vissa egenskaper hos träden, till exempel att de fungerar som filter för luftburna föroreningar. Provtagning av krondropp görs i skogsytor och innefattar även torrdeposition. Skogsmarkens reaktion på surt nedfall studeras framför allt genom markvattenstudier.

Mätningarna på öppet fält görs genom att nederbörd provtas i en insamlare som har en känd area, varefter nederbördsvattnet analyseras med avseende på olika kemiska ämnen. Depositionen till skogsmark mäts genom att samla in nederbörden under trädkronorna (krondropp). Provtagning sker av lokala provtagare en gång per månad och resultaten utvärderas per hydrologiskt år; perioden 1 oktober till och med 30 september. På samtliga intensivytor görs depositions-mätningar både i en skogsyta (krondroppsmätning) och på en öppen yta (öppet fältmätning) för varje lokal. På flertalet övriga lokaler har de nederbörds-kemiska mätningarna på öppet fält ersatts av yttäckande modellberäkningar (samarbete med SMHI).

I skogsytorna analyseras markvatten från 50 cm djup med hjälp av undertryckslysimetrar. Resultaten används som indikation på skogsmarkens reaktion på nedfallet av luftföroreningar, men är i hög grad även påverkat av markens ursprungliga karaktär. Markvatten provtas tre gånger per år och skall representera förhållandena före, under respektive efter vegetationsperioden.

Lufthalter ingår på vissa lokaler och mäts med hjälp av diffusionsprovtagare, "passiva provtagare". Detta innebär att gasen fångas upp på ett filter, impregnerat med en kemikalie som kvantitativt absorberar det ämne man vill analysera. Provtagning görs en gång per månad.

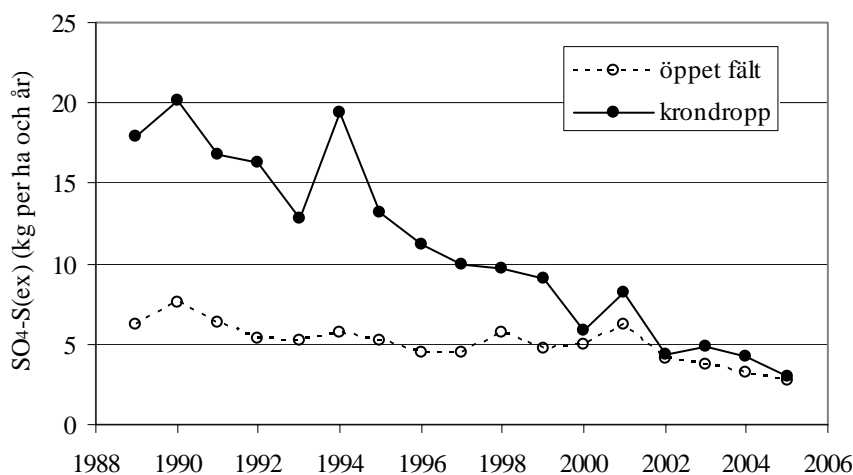
Hela kedjan från programskrivning till rapportering är viktig för att slutresultatet skall vara av god kvalitet. För att uppnå detta finns provtagningsmanualer som noga beskriver provtagningsförfarandet i fält och provtagarna utbildas enligt ett speciellt program. Med undantag för speciering av aluminium (markvatten) används endast ackrediterade analysmetoder och laboratorier. Stor vikt lagts vid en omfattande kvalitetskontroll.

2 Resultat från mätningarna

2.1 Nedfall i skog och på öppet fält

Nedfall i skog via krondropp mäts för närvarande på 95 lokaler inom Krondroppsnätet. De längsta mätserierna, på två lokaler i Blekinge, uppgår till 20 år. Antalet lokaler på öppet fält har minskat på senare år och ersatts med modellberäkningar, idag mäts depositionen på öppet fält på 28 lokaler (Bilaga 1).

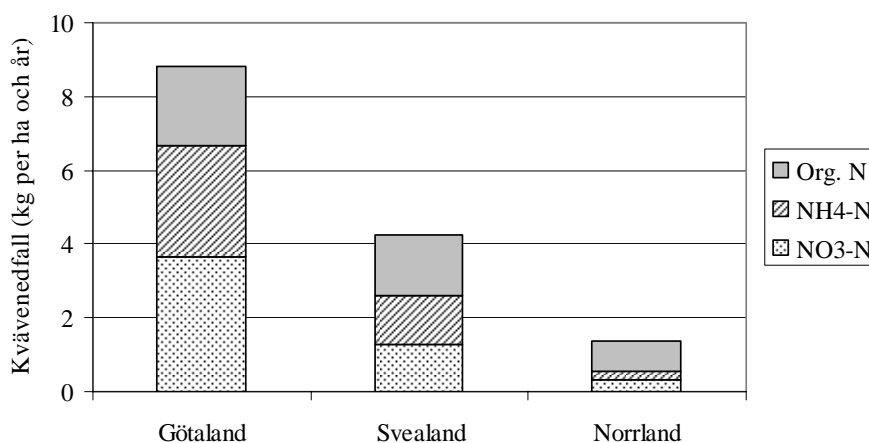
Nedfallet av svavel i skogsmark har minskat kraftigt sedan mätningarna startade i mitten av 1980-talet. Minskningen är störst i sydvästra Sverige (Figur 4) som är den del av Sverige med högst nedfall på grund av den rådande sydvästliga vindriktningen och närheten till kontinenten. Det är framför allt torrdepositionen som minskat, vilket syns i Figur 2 där tidsutvecklingen av svavel i krondropp och på öppet fält i Arkelstorp i Skåne jämförs. Sedan 1989 har depositionen via krondropp i granytan i Arkelstorp minskat från omkring 20 till mindre än 5 kg per ha och år. Depositionen på öppet fält har däremot bara minskat från mellan 5 och 10 till mindre än 5 kg per ha och år. Depositionen av svavel via krondropp i skog och depositionen på öppet fält är därmed numera på ungefär samma nivå, vilket visar att torrdepositionen nu har relativt liten betydelse.



Figur 2. Tidsutveckling för uppmätt svaveldeposition exklusive havssaltets bidrag, SO₄-S(ex), via krondropp och på öppet fält i Arkelstorp (kg per ha och år).

Oorganiskt och organiskt kväve i krondropp analyseras på 44 lokaler i landet (alla utom en, Rockneby i Kalmar län, är så kallade EU-tytor). Liksom tidigare år fortsätter den tydliga trenden med högre deposition av kväve via krondropp i södra Sverige och med en ökad andel organiskt kväve ju längre norrut i landet man kommer (Figur 3). Deposition av organiskt och oorganiskt kväve via krondropp i Götaland 2004/05 uppgick till 8.8 kg per ha och år, motsvarande siffra för Svealand och Norrland var 4.2 respektive 1.4 kg per ha och år. Andelen organiskt kväve av den totala kvävemängden var 25% i Götaland, 40% i Svealand och 60% i Norrland.

Nedfall av kväve via kronddropp återspeglar inte totaldepositionen till skog eftersom kväve tas upp i trädkronan, men kan användas för att studera trender i tiden. Tidsutvecklingen för oorganiskt kväve i Arkelstorp visar att kvävedepositionen inte minskat alls i samma utsträckning som svaveldepositionen, varken i kronddropp eller på öppet fält (Figur 5). De variationer som finns i kvävedeposition på öppet fält beror främst på variationer i nederbörds mängd mellan åren. Emissionerna av kväve har minskat något, men minskningen är så pass liten att den överskuggas av variationerna i nederbörds mängd. När mätningarna startade för 20 år sedan var svavel den absolut största orsaken till försurning, men i takt med att svavelemissionerna minskar kan kvävet roll öka i betydelse, och på sikt ge det största bidraget till försurningen. Fler trendanalyser baserat på deposition från Kronddropsnätet finns i Ugglå m. fl. (2004).



Figur 3. Deposition av oorganiskt kväve (NH₄-N och NO₃-N) och organiskt kväve (Org. N) i kg per ha och år via kronddropp i skogsytor, i Götaland, Svealand och Norrland under 2004/05.

Faktaruta: Termer med anknytning till deposition (nedfall)

Vid beskrivningen av metoder och utvärderingen av resultaten används olika termer och begrepp:

Våtdeposition är ämnen som deponeras via regn och snö. En snösäck eller en tratt på ett öppet fält samlar huvudsakligen våtdeposition, men i vissa lägen kan torrdeposition ske i de ständigt öppna insamlarna.

Torrdeposition består av gaser och partiklar. Oftast räknas även dim- och molndeposition (se nedan) in i torrdepositionen.

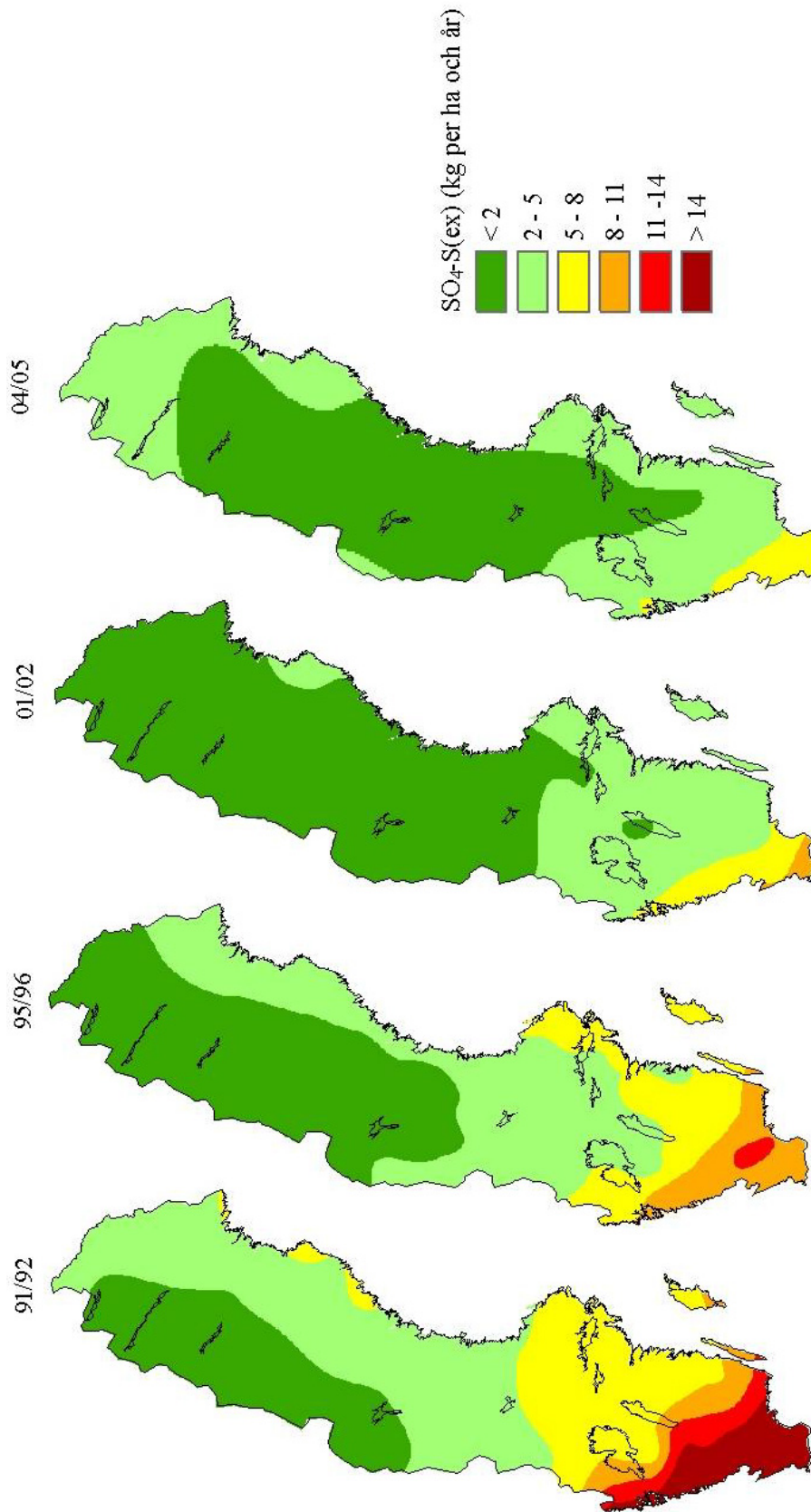
Dim- och molndeposition har sitt ursprung i molndroppar som under vinterförhållanden är underkylda och kan falla ut som dimfrost vid kontakten med markytan. Rimfrost har ett mer lokalt ursprung från till exempel avdunstning från en vattenyta som inte är frusen. Till skillnad mot dimfrost är halterna av föroreningar oftast låga i rimfrost.

Kronddropp insamlas under träden och kemien i kronddroppet bestäms av våtdeposition, torrdeposition inklusive dim- och molndeposition, samt trädkronans läckage (främst baskatjoner och mangan) och upptag (främst oorganiskt kväve).

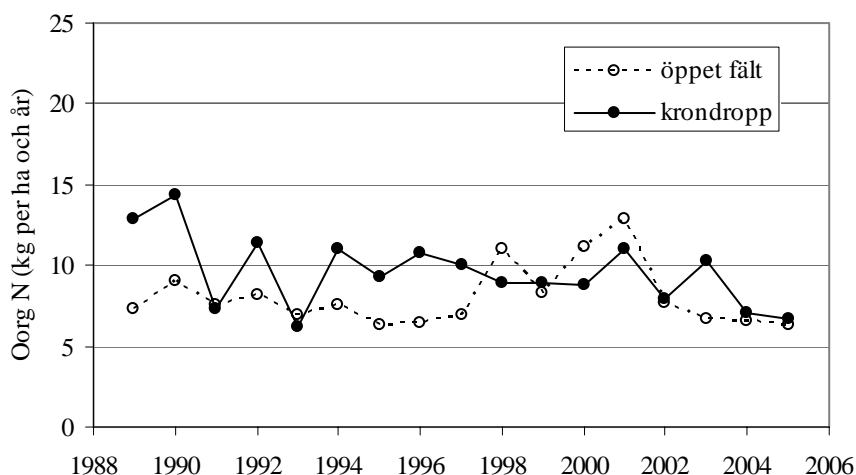
Totaldeposition är summan av våtdeposition och torrdeposition, inklusive dim- och molndeposition.

Hydrologiskt år omfattar perioden oktober till september och används i stället för kalenderår vid redovisning av årsdeposition eftersom det är bättre anpassat till vinter- och sommarhalvår.

Enheterna som används i denna studie är främst kg per hektar och år för deposition och milligram per liter (mg/l) för halter i nederbörd och kronddropp.



Figur 4. Årlig deposition av antropogent svavel (exklusive havssaltets bidrag), SO₄-S(ex), via krondropp i granytor inom Krondroppsnetet (kg per ha och år).

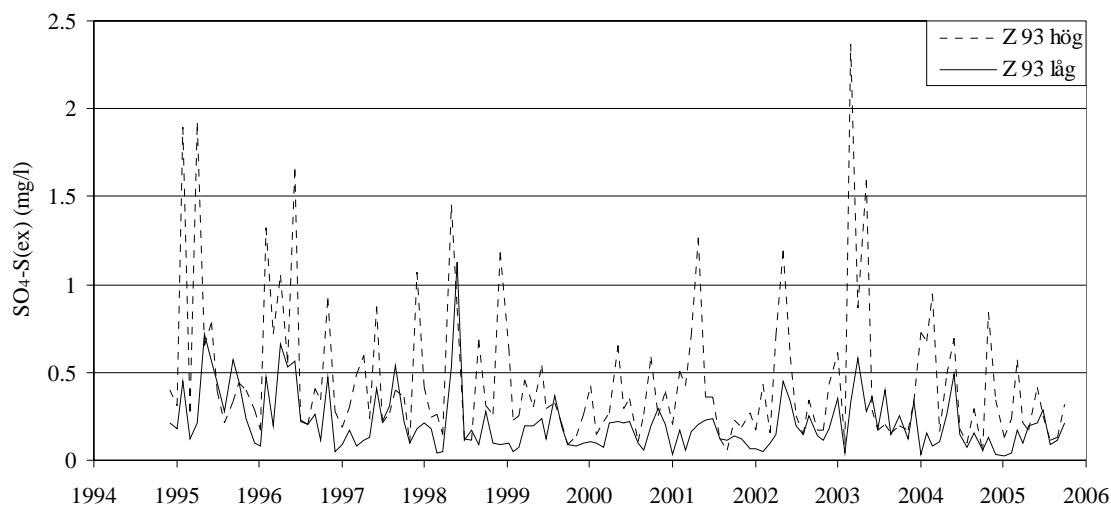


Figur 5. Tidsutveckling för uppmätt kvävedeposition i kg/ha via kronddropp och på öppet fält i Arkelstorp.

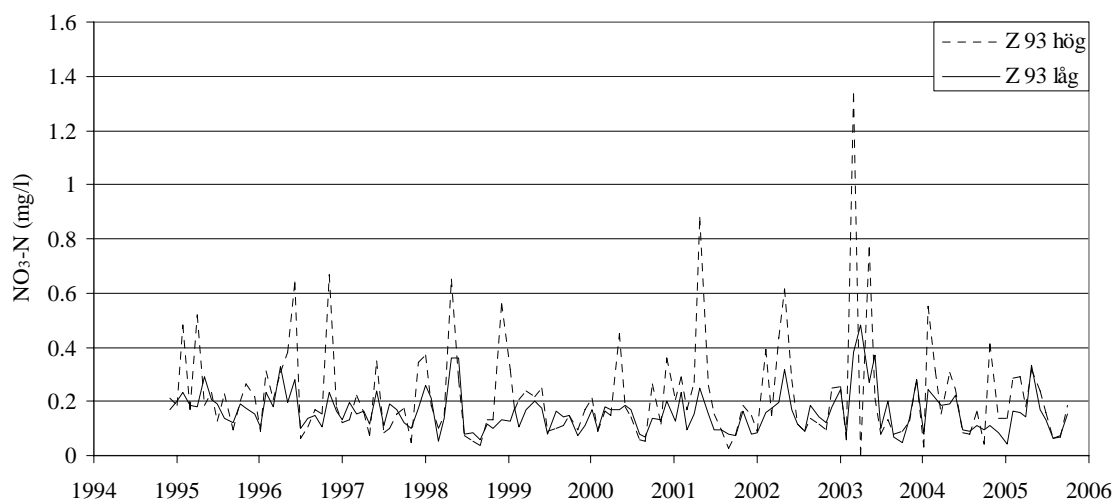
2.2 Nedfall av luftföroreningar i fjällområden

Länsstyrelsen i Jämtlands län påbörjade nedfallsmätningar vintern 1994/95 i olika fjällområden (Akselsson och Westling, 2000). Mätningarna är inriktade på att beskriva nedfallet av främst försurande luftföroreningar (svavel och kväve) till fjällområden i länet. Undersökningen under 2004/05 omfattar tre fjäll-lokaler i Jämtland; Sånfjället (Z 91) i södra delen av länet, Hundshögen (Z 93) i den centrala delen samt Fiskåfjället (Z 96) i norra Jämtlands län. På Sånfjället och Hundshögen finns en mätstation för nederbördsinsamling på öppen mark på ”hög” höjd (1170 respektive 1250 m.ö.h) och en på ”låg” höjd (635 respektive 670 m.ö.h). Dessutom finns kronddroppsmätningar i trädgränsen för granskog (620-780 m.ö.h.) på alla tre fjällen. I det fallet fungerar träden som provtagare av torra föroreningar inklusive föroreningar i dimma. Insamlarna är placerade rakt under trädkronorna, vilket gör att mätningarna inte är helt jämförbara med ordinarie skogsytor på låg höjd, där insamlarna är slumpmässigt utplacerade. Hösten 2002 startade även nationella mätningar av luftföroreningar i fjällen med syfte att bidra till bättre modellberäkningar (Sverigemodellen, SMHI) av deposition och halter i norra Sverige (läs mer under Kronddroppsnätet på www.ivl.se). På tre platser (BD 04, BD 05 och AC 06) på hög höjd utförs även nedfallsmätningar i fjällskog och på öppet fält. Länsstyrelsen i Dalarna har sedan 1994 utfört kronddroppsmätningar på låg och hög höjd vid Fulufjället (W 90 och W92).

Tidigare mätningar har visat att nederbörds-kemiska undersökningar på kalfjället medför vissa osäkerheter i både uppmätta nederbörds-mängder och halter av olika ämnen. Det beror på hård vind och hög dimfrekvens som kan bidra med torrdeposition i nederbördsinsamlaren på ett sätt som inte alltid är representativt för kalfjället. Mätningarna visar dock i regel att risken för förhöjd deposition är större på hög höjd jämfört med låg (Westling och Ferm, 1997). Utveckling av halterna av sulfat-svavel (utan havssalt) sedan de första nederbörds-kemiska mätningarna startade på låg och hög höjd på Hundshögen hösten 1994 visas i Figur 6. Insamlaren på hög höjd har ofta haft betydligt högre halter än på låg höjd. Frekvensen av tillfällen med höga halter på hög höjd har avtagit efter 2003 då en kraftig episod noterades. Figur 7 visar motsvarande mätningar men halter av nitratkväve i insamlarna. Halterna av nitratkväve samvarierar i regel med sulfat-svavel och tendensen till lägre halter och färre tillfällen med förhöjda halter under de senaste tre åren är likartad som för sulfat-svavel.



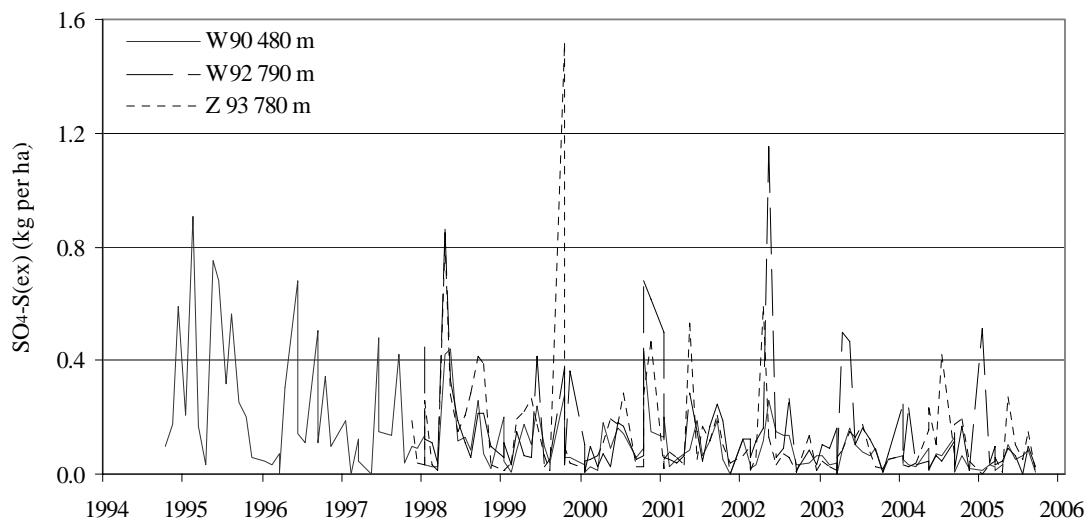
Figur 6 Halter av antropogent svavel, SO₄-S(ex), i nederbörd på öppen mark på hög (1250 m.ö.h.) respektive låg (670 m.ö.h.) höjd på Hundshögen (Z93) under hösten 1994 till hösten 2005.



Figur 7. Halter av nitratkväve (NO₃-N) i nederbörd på öppen mark på hög (1250 m.ö.h.) respektive låg (670 m.ö.h.) höjd på Hundshögen (Z93) under hösten 1994 till hösten 2005.

Nederbördskemin på hög höjd kan indikera episoder med förhöjda halter av föreningar i molndroppar. Dessa kan avsätta sig främst i skog nära trädgränsen som har hög dimfrekvens. Därför är krondroppsmätningar i trädgränsen en bra indikator på eventuella förhöjningar av depositionen på hög höjd, jämfört med krondroppsmätningarna på låg höjd.

Uppmätt månadsdeposition av sulfatsvavel (utan svavel från havssalt) i krondropp från granskog på Hundshögen (Z93), och som jämförelse på det sydligare belägna Fulufjället (W90 och W92), visas i Figur 8. Lokalerna på högre höjd är placerade i trädgränsen, på 700-800 m.ö.h. Lokal W90, som har den längsta mätserien, ligger lägre och består av äldre granskog i ett relativt skyddat läge i Göljådalen. Mätserien som börjar hösten 1994 (W90) visar att nedfallet av sulfatsvavel minskat under perioden fram till hösten 2005.



Figur 8. Uppmätt månadsdeposition (kg per ha) av antropogent svavel, $\text{SO}_4\text{-S(ex)}$, i krondropp i granskog på Hundshögen (Z93) respektive skogsytan på låg höjd vid Fulufjället (W90) och i trädgränsen på Fulufjället (W92).

Faktaruta: Nedfall av luftföroreningar på hög höjd

Nedfallet av luftföroreningar kan vara förhöjt i fjällområden. Det finns flera orsaker till detta:

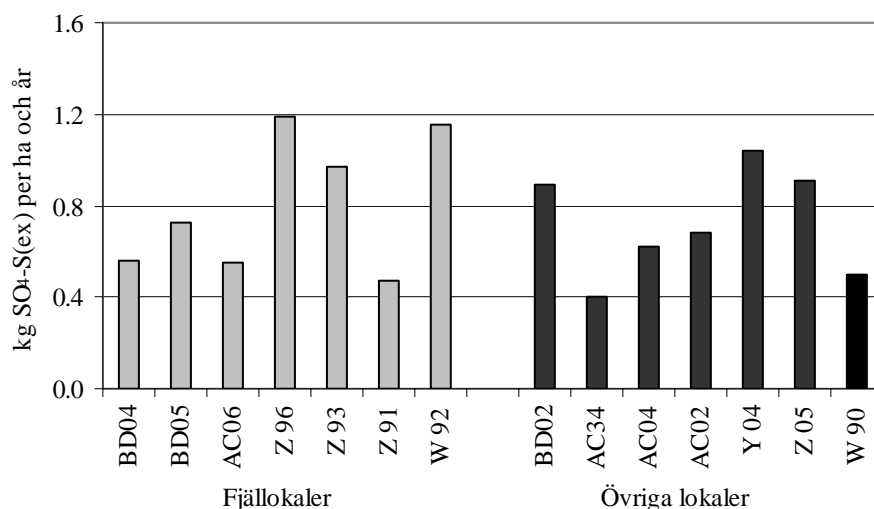
- Nederbörden ökar med höjden, vilket gör att den våta andelen av nedfallet (depositionen) av luftföroreningar ökar.
- Höglänt terräng har oftare direktkontakt med dimma i form av moln. Dimdropparna, som ofta har höga halter av föroreningar, kan falla ut på vegetation eller uppstickande bergsformationer.
- Vindhastigheten ökar med höjden så att torra föroreningar (gaser, partiklar och dimdroppar) i luften avsätts i större omfattning.

Flertalet nederbördsstationer i nationella och regionala miljöövervakningsprogram i Sverige ligger av praktiska skäl på låg höjd. Det medför att depositionen på hög höjd kan underskattas. Inte minst gäller detta fjällnära skog där kombinationen av hög höjd och filtrerande vegetation kan öka nedfallets storlek, jämfört med lägre belägna skogsområden. Av det skälet har metodik utvecklats med syfte att rutinmässigt övervaka luftföroreningar i fjällområden. Förbättrade metoder omfattar både ökad kunskap om de processer som förekommer på hög höjd (bland annat moln- och dimdeposition), och metoder för provtagning av moln- eller dimdroppar och nederbörd. Detta kan utgöra underlag för bedömningar av tillstånd, påvekan och behovet av åtgärder, som till exempel kalkning av ytvatten, i de ofta speciellt känsliga miljöer som fjällområdet utgör.

Lokalerna på högre höjd (W92 och Z93), där mätserierna börjar hösten 1997, uppvisar betydligt högre nedfall vissa månader, jämfört med granlokalen på låg höjd (W90). Skillnaderna är relativt stora vissa månader och tillskottet på hög höjd beror sannolikt på att förorenade molndroppar fastnar på träden. Mätningarna visar att episoder med hög månadsdeposition förekommer även de senaste två åren, men i begränsad omfattning.

Figur 9 visar nedfallet av sulfatsvavel (utan havssaltsdelen) under året 2004/05 på samtliga krondropslokaler i fjällskog. Som jämförelse visas även ett antal lokaler med gran- och tallskog på lägre höjd i västra eller centrala delarna av Norrland.

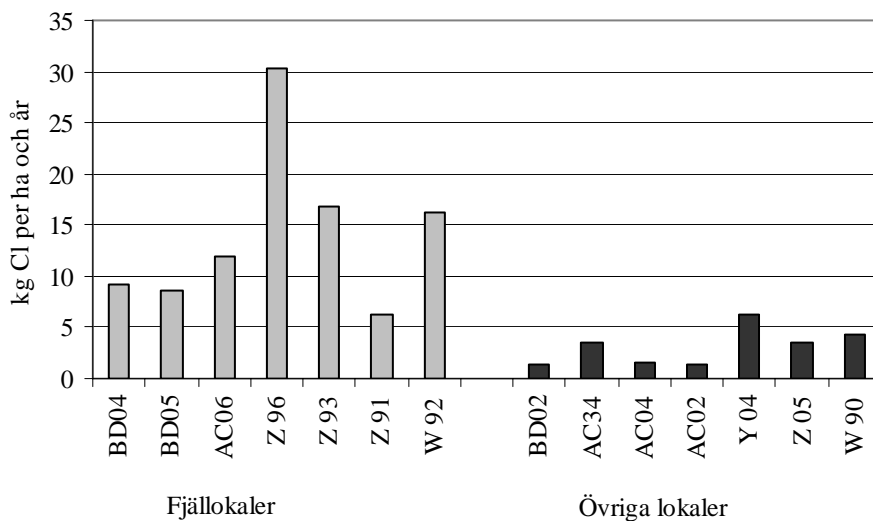
Lokalerna i Figur 9 är sorterade från norr till söder och fjällstationerna visar ingen geografisk gradient, till skillnad mot övriga lokaler som med några undantag indikerar ökat nedfall av svavel mot söder. Fjälllokalerna är sannolikt påverkade av lokala förhållanden i form av exponering och typ av skog. Dessutom varierade nederbördsmängderna ganska mycket mellan lokalerna under 2004/05, där framför allt Sånfjället (Z 91) hade avvikande låg nederbörd. Det medförde att depositionen var låg på den lokalen.



Figur 9. Uppmätt deposition (kg per ha och år) av antropogent svavel, SO₄-S(ex) i krondropp i fjällskog och på övriga lokaler under 2004/05. Bokstäverna i lokalnamnen utgör länsbeteckningar.

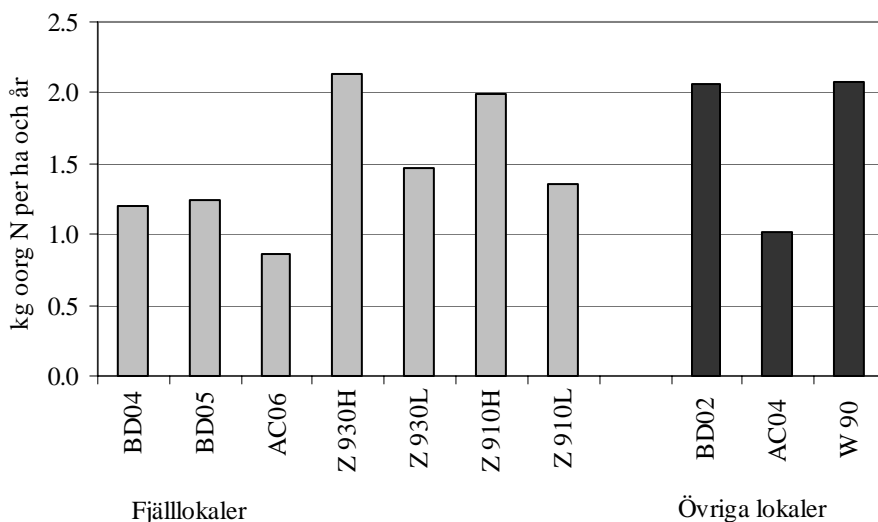
Mätningarna i Norr (BD)- och Västerbotten (AC) sker i fjällbjörkskog, som normalt bör samla in mindre luftföroreningar än granskog. Figur 10 visar hur skogen samlar in naturligt förekommande partiklar av havssalt som hamnar i krondroppet. Det indikerar i viss mån skogens exponering för luftföroreningar, men även avståndet till havet har stor betydelse. Från norra Jämtland och norrut är avståndet från fjälllokalerna till havet relativt litet, men högt nedfall av klorid noterades endast på Fiskåfjället, Z 96 och på Hundshögen, Z 93 (i granskog) under 2004/05. Fjällbjörkskogen längre norrut samlar också in relativt mycket havssalt, men sannolikt inte så mycket som granskog i samma höjdläge och avstånd från havet.

På låg höjd är nedfallet av havssalt betydligt lägre än i fjällområdet (Figur 10). Skillnaden beror delvis på att övriga lokaler är belägna längre österut, men även på att mängden luft med partiklar som passerar genom trädkronorna är mindre på låg höjd. Den sistnämnda effekten indikeras av att de västliga ytorna AC34 nära Ammarnäs och W90 nära Fulufjället hade lågt nedfall av havssalt. Lokal W92 högre upp på Fulufjället hade betydligt högre nedfall än lokal W90.



Figur 10. Uppmätt deposition (kg per ha och år) av klorid (Cl) i krondropp i fjällskog och på övriga lokaler under 2004/05.

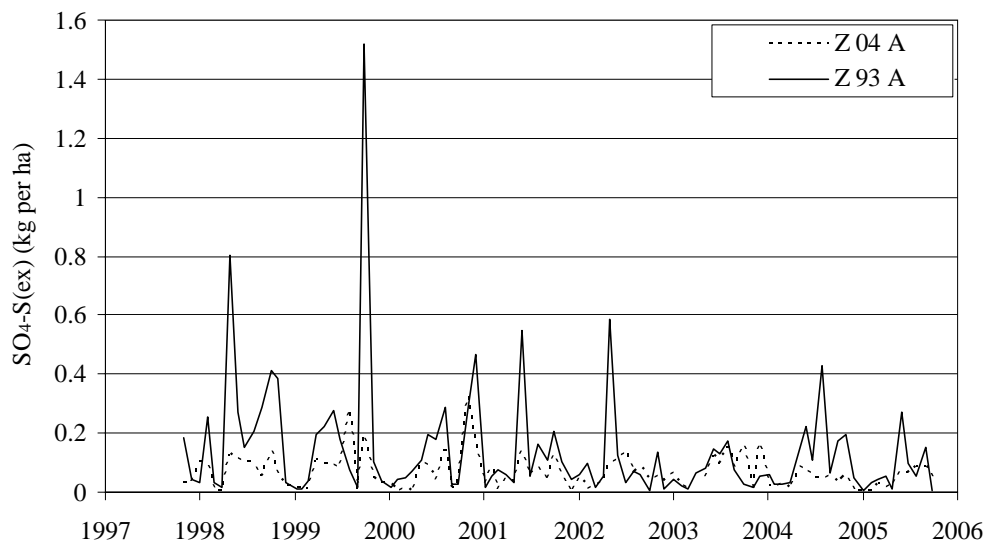
Det totala nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat- och ammoniumkväve) till skog är generellt svårt att mäta i form av krondropp på grund av upptag och omvandling i trädkronan, vilket även gäller i fjällskog. Det största bidraget kommer dock med nederbörden som kan mätas på öppet fält. Figur 11 visar nedfallet av oorganiskt kväve under 2004/05 från mätstationer i fjällområdet och dess närhet i regionala och nationella mätningar. Variationen mellan knappt 1 till 2,2 kg kväve per ha och år uppvisade ingen tydlig geografisk gradient, eller ett höjdberoende, även om det fanns en tendens till högre nedfall i den södra delen av området. Högst nedfall uppvisade lokalen på hög höjd vid Hundshögen (Z 930H).



Figur 11. Uppmätt deposition (kg per ha och år) av oorganiskt kväve (NO₃-N+NH₄-N) på öppet fält på fjälllokaler och på övriga lokaler under 2004/05.

Nivån på nedfallet under 2004/05 var måttligt jämfört med områden i södra Sverige, men fjällområdena i norra Sverige är i många fall mycket känsliga för tillförsel av försurande luftföroreningar. Det kan göra att även måttligt nedfall kan leda till att kritiska belastningsgränser överskrids.

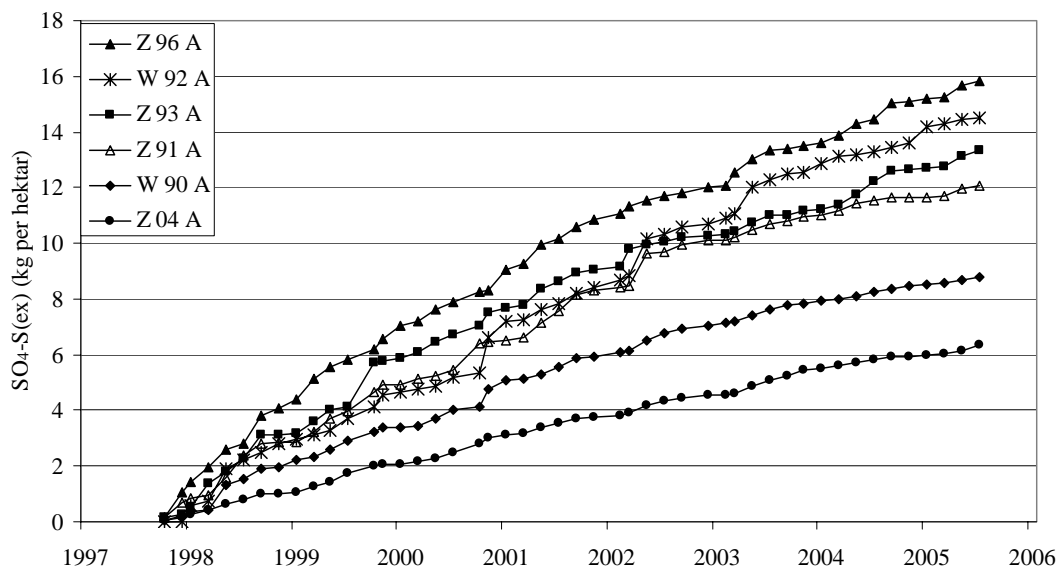
Figur 12 visar det månatliga svavelnedfallet sedan oktober 1997 under granar i trädgränsen på Hundshögen jämfört med granytan i sydöstra Jämtlands län, Sör-Digertjärn. Nedfallet samvarierade i regel, men nedfallets storlek i skogen på fjället är väsentligt högre vissa månader. Utsläppen av svavel har successivt minskat i hela Europa, men skillnaderna i nedfall mellan månader och år de senaste åren beror sannolikt på väderförhållandena i första hand.



Figur 12. Uppmätt månadsdeposition av antropogent svavel, $\text{SO}_4\text{-S(ex)}$, i krondropp i granskog på Hundshögen (Z93) respektive skogsytan på låg höjd i östra Jämtlands län, Sör-Digertjärnen (Z04) under hösten 1997 till hösten 2005.

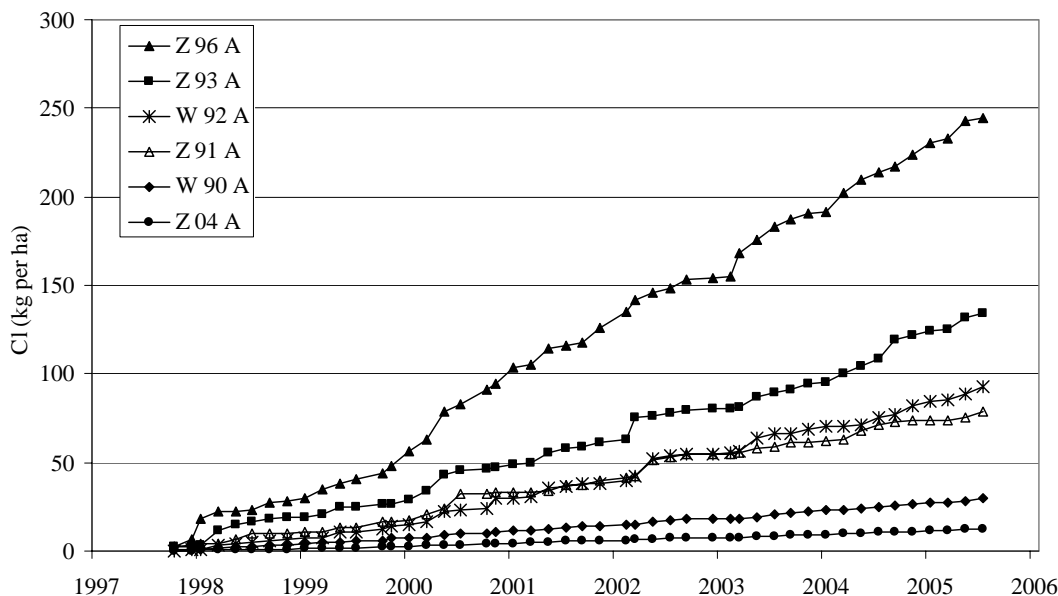
Betydelsen av högre nedfall av sulfatsvavel i fjällskog för det sammanlagda nedfallet indikeras i Figur 13. Figuren visar det ackumulerade nedfallet under fem år. Störst nedfall noterades för Fiskåfjället, nära 16 kg svavel per ha under perioden. Det är nästan dubbelt så mycket som skogsytan på låg höjd nedanför Fulufjället i nordvästra Dalarna och Nymyran i Östra Jämtland. De tre lokalerna på Fulufjället, Sånfjället och Hundshögen hade ett mycket likartat ackumulerat nedfall. Svavelnedfallet är en bra indikator på belastning av flera andra luftföroreningar. Nedfallet av kväve uppträder i stort sett på samma sätt som svavel, även om bidraget från torrdeposition ofta är något mindre.

Det var oftast högre halter av luftföroreningar i nederbörd och krondropp under vinterperioden än under sommarperioden, såväl på hög och låg höjd som i den fjällnära skogen. Hög nederbörd på sommaren kan dock göra att depositionen är störst den årstiden, även om halterna är lägre.



Figur 13. Ackumulerad deposition av svavel, SO₄-S(ex), i granskog på Fulufjället (W92), Sänfjället (Z 91), Hundshögen (Z 93), Fiskåfjället (Z 96) samt på låg höjd nedanför Fulufjället (W90) och vid Sör-Digertjärnen (Z 04) under hösten 1997 till hösten 2005.

Nedfallet av klorid som huvudsakligen kommer från havssalt indikerar att skogslokalerna på hög och låg höjd är olika exponerade. Figur 14 visar det ackumulerade nedfallet av klorid som var betydligt högre i skogen på Fiskåfjället än övriga lokaler. Det beror sannolikt både på lokala (läge i terrängen) och regionala (läge i länet) faktorer. Klorid förekommer i stor utsträckning som partiklar och aerosoler som fångas upp av vindexponerad skog. Kloridnedfallet är naturligt, men indikerar att även depositionen av föroreningar i partikelform kan variera kraftigt beroende på exponeringen.



Figur 14. Ackumulerad deposition av klorid (Cl) i granskog på Fulufjället (W92), Sänfjället (Z 91), Hundshögen (Z 93), Fiskåfjället (Z 96) samt på låg höjd nedanför Fulufjället (W90) och vid Sör-Digertjärnen (Z 04) under hösten 1997 till hösten 2005.

2.3 Markvatten

Antalet skogsytor med markvattenkemiska mätningar från 50 cm djup uppgår under denna programperiod till 93 stycken. De upp till 20-åriga mätserierna ger en bra bild över variationer i tid och rum. Markvattnet är mest försurningspåverkat i sydvästra Sverige där det försurande nedfallet har varit, och fortfarande är störst. Figureerna 15-16 visar medianvärden av pH och oorganiskt aluminium i markvatten för två perioder med tio års mellanrum, 1992-1995 samt 2002-2005. Markvattnets pH var under början av 1990-talet under 4.5 på merparten av provytorna i sydvästra Sverige, medan pH i ytorna i norra Sveriges inland var över 5.5, med undantag av en lokal i Västerbottens län med ett något lägre pH (Figur 15). Tio år senare understeg pH 4.5 enbart på ett mindre antal lokaler i Skåne, Blekinge och Halland, och pH var generellt något högre i hela landet.

Halten oorganiskt aluminium i markvattnet uppvisar en liknande bild (Figur 16). I sydväst översteg halten 2 mg/l på åtskilliga ytor i sydvästra Sverige under perioden 1992-1995. Tio år senare hade antalet provytor med halter över 2 mg/l minskat något, och halterna tycks ha minskat något även i övriga delar av Sverige. Möjligheterna att analysera skillnader mellan perioderna begränsas dock av att provytanätet bara delvis är det samma under de två perioderna. I norra Norrlands inland var halterna under 0.2 mg/l under båda perioderna, vilket indikerar att försurningspåverkan har varit begränsad i dessa delar av Sverige. Detta ger en indikation på nivån på halten oorganiskt aluminium i ett naturligt system, och en jämförelse mellan norr och söder visar att halterna är mer än 10 gånger förhöjda i delar av sydvästra Sverige.

Faktaruta: Försurningsindikatorer i markvattenkemiska mätningar

Flera olika parametrar från de markvattenkemiska mätningarna kan användas som indikatorer för försurning och övergödning. Här ges en överblick över de indikatorer som används i denna redovisning.

Sulfatsvavel (SO₄-S): Sulfatsvavel i form av svavelsyra är den förorening som bidragit starkast till försurningen. En långvarig förändring av halten sulfatsvavel i markvattnet är i regel ett tecken på att depositionen förändrats.

pH: pH-värdet är en av de vanligaste indikatorerna för försurning och beräknas baserat på vätejon-koncentrationen. Ju lägre pH-värdet är, desto mer vätejoner och desto surare förhållanden.

Oorganiskt aluminium (ooAl): Nedfall av försurande luftföroreningar i sura marker leder till buffring och upplösning av aluminiumföreningar som gör att mängden oorganiskt aluminium ökar i markvattnet.

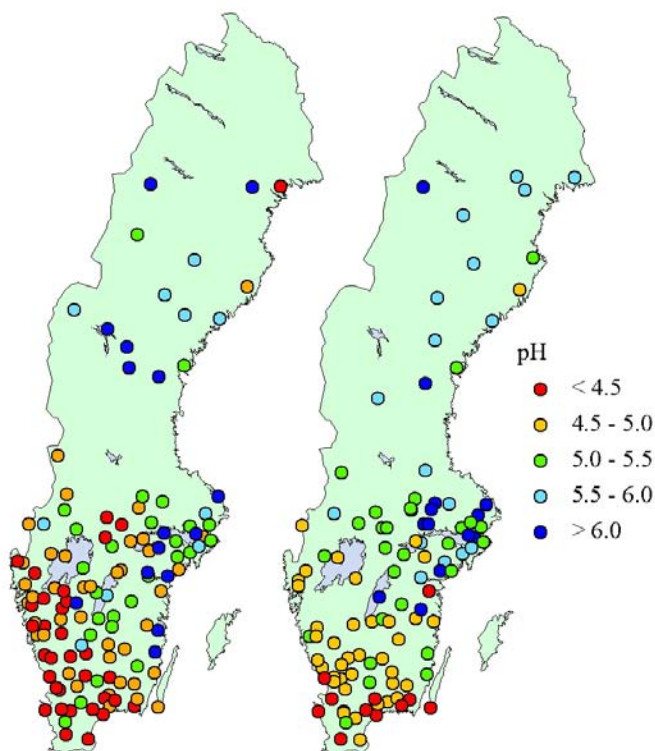
Detta motverkar en snabb pH-minskning, men oorganiskt aluminium är giftigt för vattenlevande organismer och kan ha negativa effekter på träd-rötter.

ANC: "Acid Neutralizing Capacity" (syranutraliserande förmåga) beräknas som starka basers katjoner (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) minus starka syrors anjoner (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻) räknat i ekvivalenter. Positivt värde utgörs av syrabuffrande vätekarbonat och organiska anjoner. Negativt värde uttrycker aciditet.

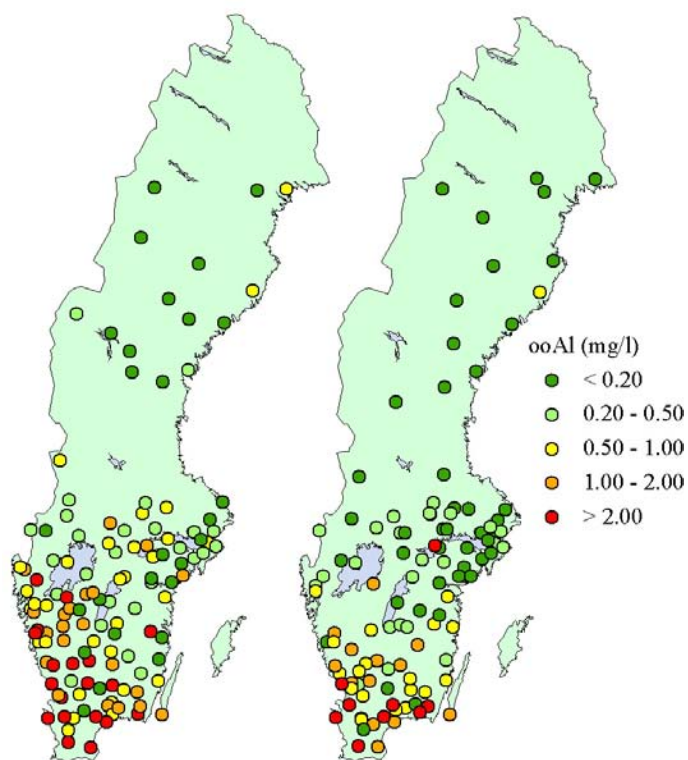
Nitratkväve (NO₃-N): Halten nitratkväve i markvattnet i skogsbestånd är vanligtvis mycket låg, vilket beror på att skogsekosystemet tar upp det mesta kvävet. Förhöjda halter är en indikation på att allt kväve inte längre tas upp på ett normalt sätt. Detta kan leda till kväveutlakning och därmed risk för övergödning och försurning.

Trendanalyser visar att halten sulfatsvavel har minskat signifikant på ett stort antal lokaler i södra Sverige sedan mätningarna startade, i takt med att svavelnedfallet minskat (Figur 18). Även i mellersta och norra Sverige har svavelhalten minskat på många lokaler. Effekterna på markvattnets försurningsgrad är tydligast i södra Sverige där minskningen av svavelbelastningen var störst, halten oorganiskt aluminium har minskat signifikant på 15 provytor och pH och ANC har ökat i motsvarande grad. I mellersta Sverige har halten oorganiskt aluminium ökat på lika många provytor som den har minskat och endast ett fåtal provytor visade upp signifikanta ökning av pH och ANC. I norra Sverige finns inga entydiga tecken på signifikant minskad försurning av markvattnet.

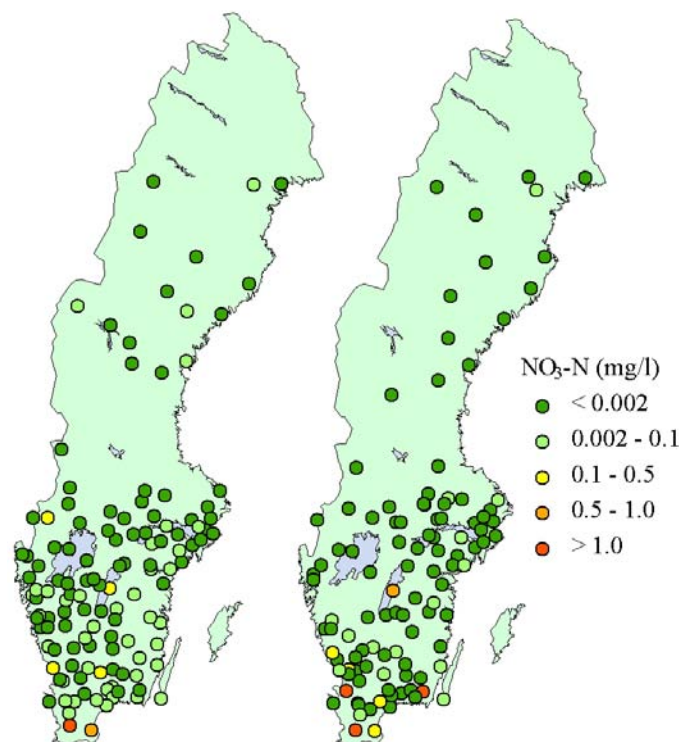
Förändringen av pH och oorganiskt aluminium i markvattnet sedan början av 1990-talet är inte alls av samma storleksordning som minskningen av svavelnedfallet. Den svaga responsen i markvattnet beror på att marken är ett trögt system där flera buffringsprocesser motverkar snabba förändringar. Den kraftigt minskade svaveldeposition bör dock på sikt leda till mindre försurat markvatten. Kvävenedfallet har däremot inte minskat i alls samma utsträckning som svavelnedfallet (avsnitt 2.1). När skogsmarkens kapacitet att ta upp kvävet överskrids kommer kväve att verka försurande och motverka den förbättring som det minskade svavelnedfallet medför. Nitratkoncentrationen i markvatten är fortfarande låg (<0.1 mg/l) på den absoluta merparten av Krondroppsnetzets provytor (Figur 17) men det finns några exempel på provytor där halterna ofta överstiger 1 mg/l i södra Sverige där kvävebelastningen är som störst. Fortsatta mätningar i Krondroppsnetz kommer att visa om, och i så fall hur snabbt, markvattnet återhämtar sig, samt om frekvensen av ytor med förhöjd kväveutlakning förändras.



Figur 15. Markvattnets pH-värde, medianvärden i granytor under perioden oktober 1992– september 1995 (t.v.), samt oktober 2002 – september 2005 (t.h.).

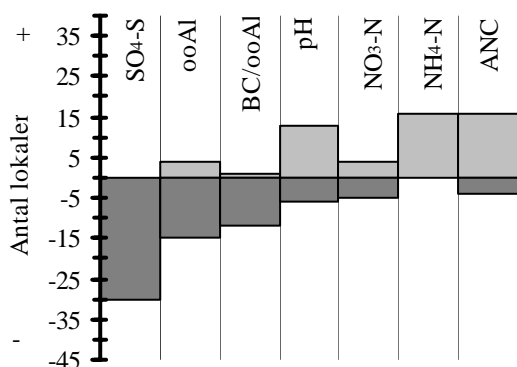


Figur 16. Oorganiskt aluminium i markvatten, medianvärden i granytor under perioden oktober 1992– september 1995 (t.v.), samt oktober 2002 – september 2005 (t.h.).

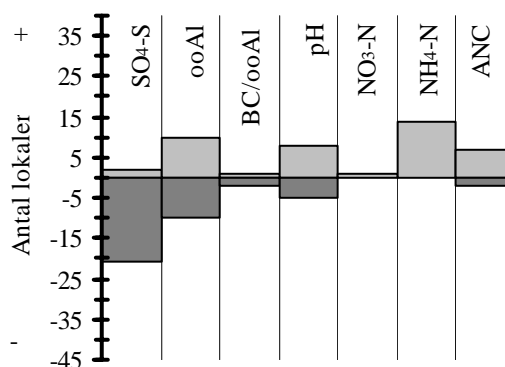


Figur 17. Nitratkväve i markvatten, medianvärden i granytor under perioden oktober 1992– september 1995 (t.v.), samt oktober 2002 – september 2005 (t.h.).

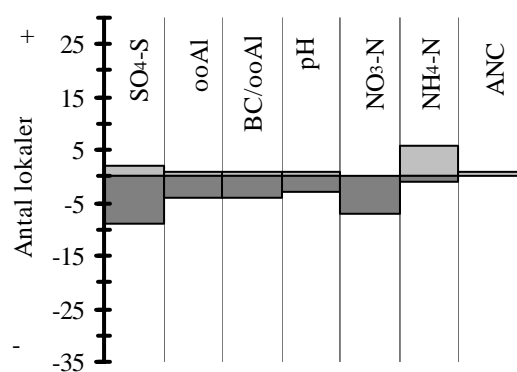
Götaland



Svealand



Norrland



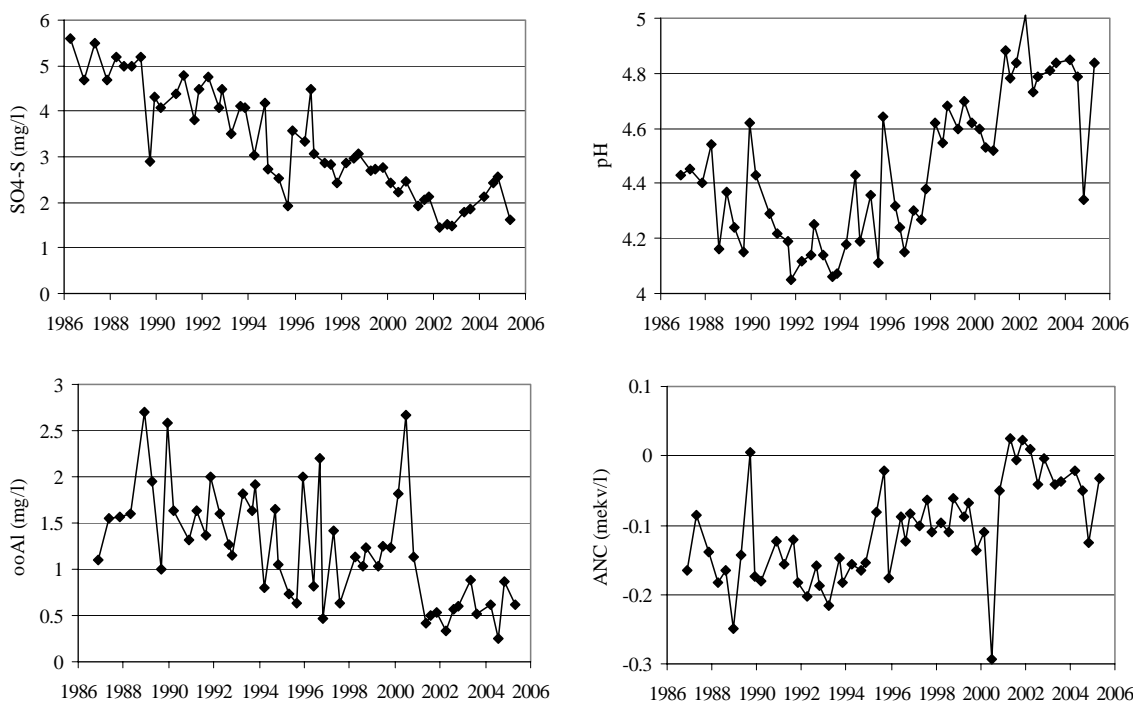
Figur 18. Antal markvattenlokaler med signifikanta förändringar sedan mätningarna startades i norra, mellersta och södra Sverige. Mörkgrå stapel visar en signifikant minskning, ljusgrå en signifikant ökning för olika parametrar.

Trender i tiden studeras bäst med hjälp av hela tidsserier från lokaler med lång tidsserie. Figur 19-22 visar pH, ANC samt halter av sulfatsvavel och oorganiskt aluminium i markvatten på fyra lokaler, två i södra Sverige (Hjärtsjömåla i Blekinge län och Alandsryd i Jönköpings län), en i mellersta delen av Sverige (Södra Averstad i Värmland) samt en i norra Sverige (Ruskhöjden i Västernorrlands län). I den sydligaste lokalen, Hjärtsjömåla i Blekinge, har halten sulfatsvavel minskat kontinuerligt, från mer än 5 till mindre än 2 mg/l under 20 år, vilket återspeglar den kraftiga minskningen i svavelnedfall (Figur 19). Detta syns också på pH och ANC som ökat. Halten oorganiskt aluminium har minskat i takt med att markvattnet blivit allt mindre försurat.

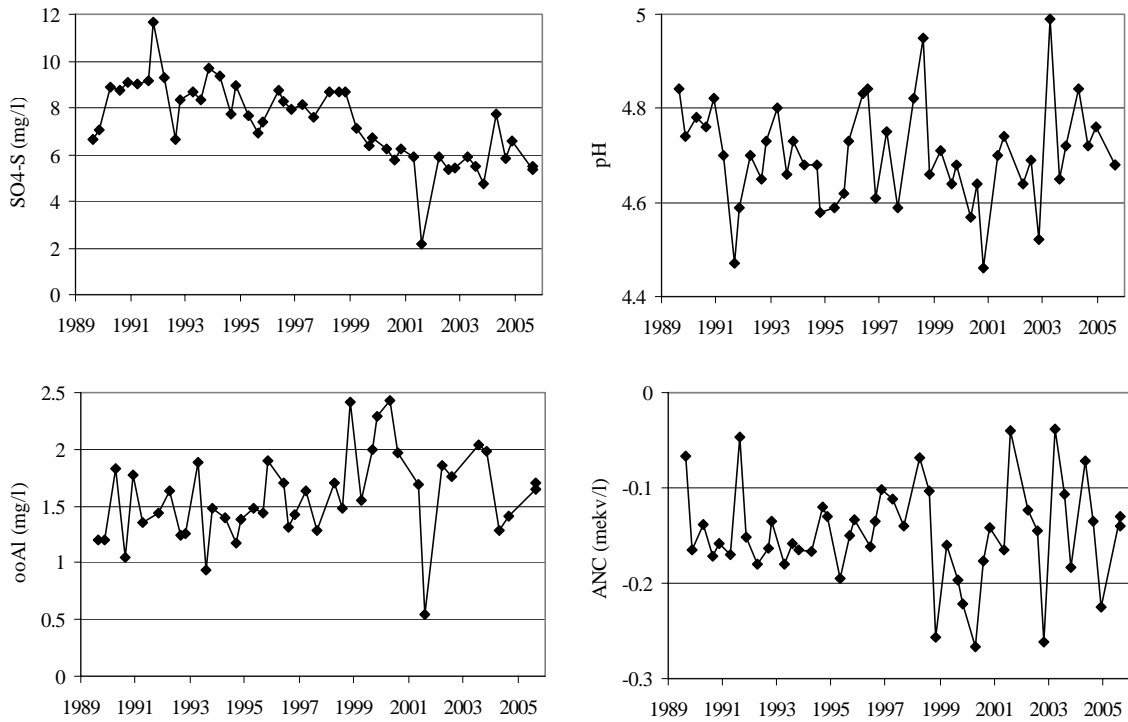
Många provtytor i södra och sydvästra Sverige uppvisar en liknande bild men det finns även provtytor som skiljer sig från detta mönster. I Alandsryd i Jönköpings län, där också svavelnedfallet minskat kraftigt, var sulfatsvavelhalten omkring 8-9 mg/l mellan 1989 och 1999, varefter det sjunkit till en något lägre nivå, omkring 6 mg/l (Figur 20). För ANC och pH syns inga tidstrender, och halten oorganiskt aluminium tycks vara något högre i slutet av perioden än i början, även om mellanårsvariationen är stor. Den svagare responsen i markvattnet på nedfallsminskningen kan bero på svaveladsorptionsprocesser i marken som leder till en fördröjning i systemet.

Södra Averstad i Värmland uppvisar en något svagare trend än Hjärsjömåla, med kontinuerligt minskande halter av sulfatsvavel sedan början av 1990-talet, från 3-4 mg/l till 1-2 mg/l, sjunkande halter av oorganiskt aluminium samt ökande pH och ANC (Figur 21). Trenderna visar att Södra Averstad är tydligt försurningspåverkat, men att markvattnet har börjat återhämta sig. Provyntans läge på Värmlandsnäs gör att den är mer utsatt för luftföroreningar än andra provtytor på samma breddgrad, eftersom luftföroreningar transporteras med de sydvästliga vindarna över Väneren och därefter deponeras.

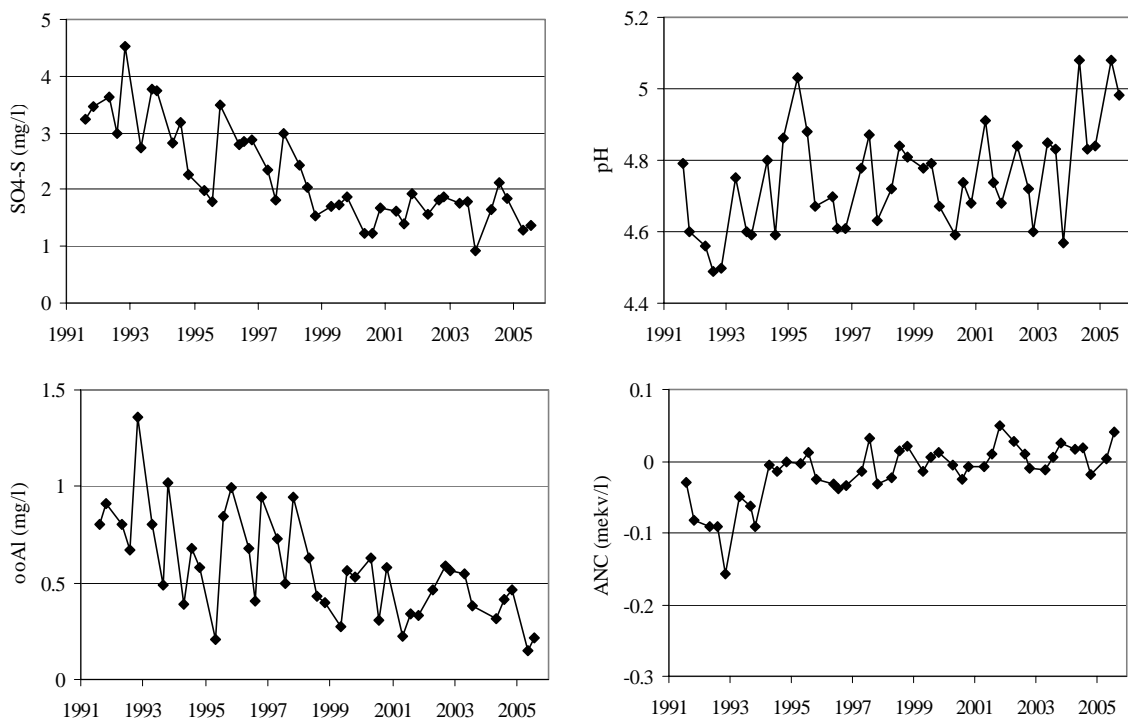
Ruskhöjden i Västernorrlands län är liksom övriga lokaler i Norrlands inland betydligt mindre försurningspåverkat än provtytor i södra och mellersta Sverige samt provtytor längs norrlandskusten (Figur 22). Markvattnets pH har oftast varit mellan 5.6 och 6,0 och halten oorganiskt aluminium har varit lägre än 0.05 mg/l förutom vid två tillfällen då den uppgick till 0.3 och 0.5 mg/l, vilket också är lågt i förhållande till övriga lokaler. ANC har varit positivt förutom vid två mättillfällen, till skillnad från mer försurningspåverkade lokaler där ANC oftast varit negativt. Trots detta visar tidsserien att halten sulfatsvavel minskat något, från omkring 1.5 mg/l i början av 1990-talet till knappt 1 mg/l, vilket indikerar att även Norrlands inland har påverkats i viss utsträckning av försurande nedfall. Påverkan är dock för liten för att det ska synas några effekter i de försurningsrelaterade parametrarna pH, ANC och oorganiskt aluminium.



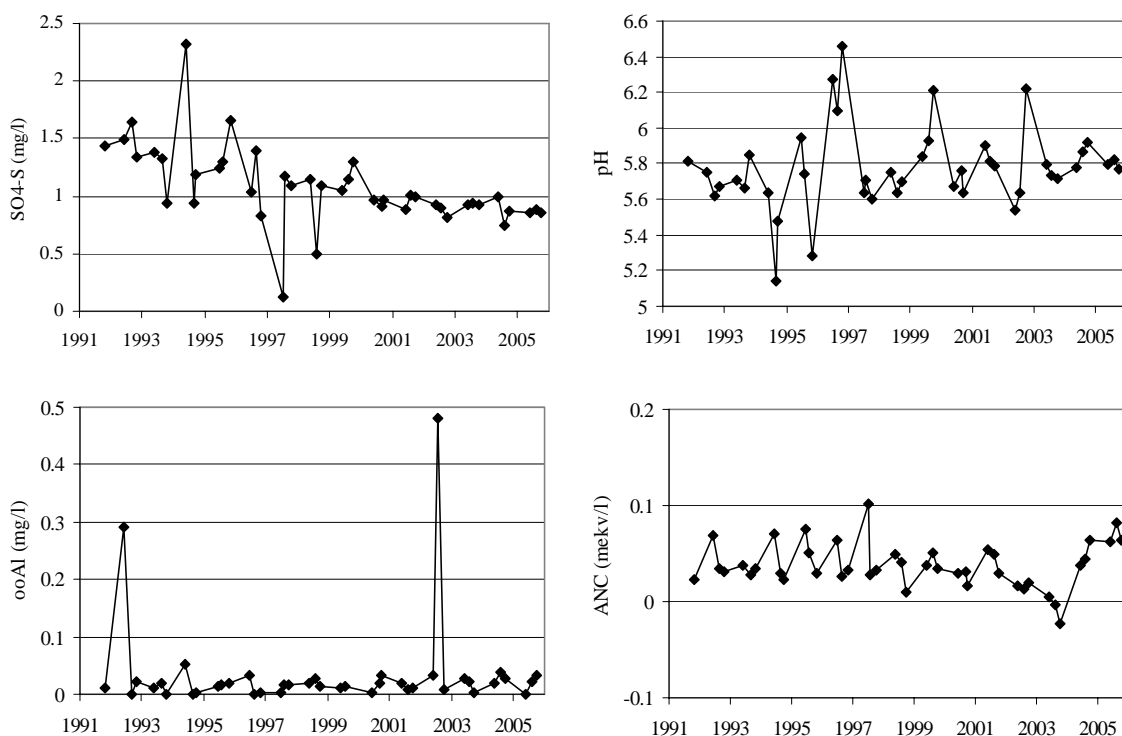
Figur 19. Markvattenkemi (halt av sulfatsvavel, pH, halt av oorganiskt aluminium samt ANC) i Hjärsjömåla i Blekinge.



Figur 20. Markvattenkemi (halt av sulfatsvavel, pH, halt av oorganiskt aluminium samt ANC) i Alandsryd i Jönköpings län.

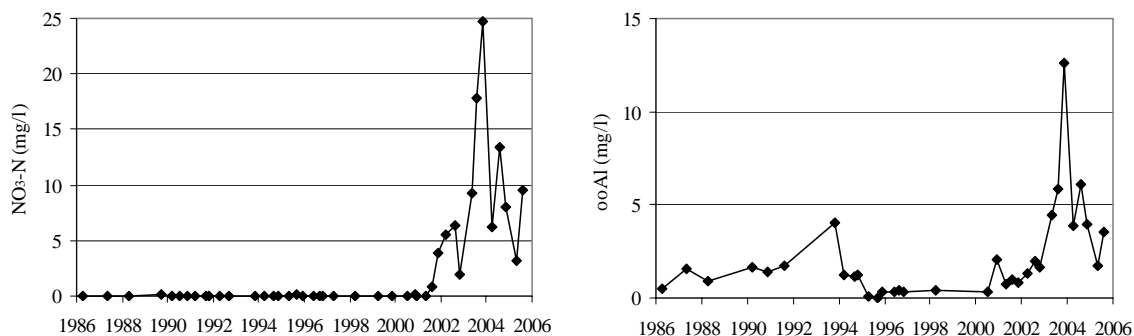


Figur 21. Markvattenkemi (halt av sulfatsvavel, pH, halt av oorganiskt aluminium samt ANC) i Södra Averstad i Värmland.



Figur 22. Markvattenkemi (halt av sulfatsvavel, pH, halt av oorganiskt aluminium samt ANC) i Ruskhöjden i Västernorrlands län.

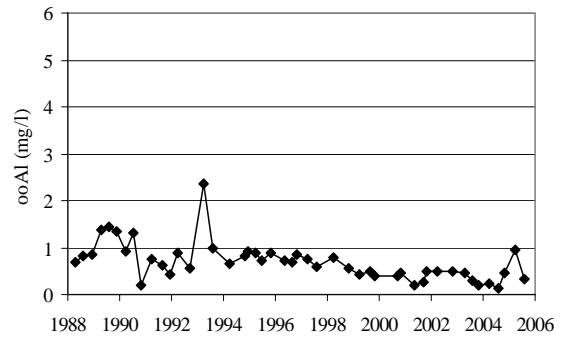
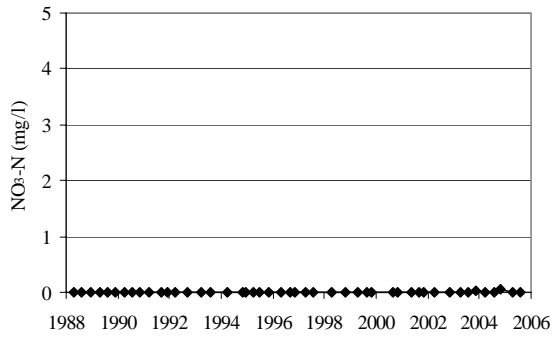
Halten nitratkväve är, som illustrerades i Figur 17, generellt låg på provytorna, vilket tyder på att kvävet tas upp i skogsmarken. Det finns dock ett antal undantag, framför allt i södra Sverige, där relativt höga halter av nitratkväve i markvattnet är vanligt förekommande. Nitrifikationen i dessa provytor innebär en försurning med sänkt pH och förhöjda halter av oorganiskt aluminium. Detta syns tydligt i Kallgårdsmåla i Blekinge, där nitrifikation ökat kraftigt på grund av kalavverkning, vilket också har inneburit ökad försurning och kraftigt förhöjda halter av oorganiskt aluminium (Figur 23). Halten nitratkväve uppgick som mest till 25 mg/l och halten oorganiskt aluminium uppgick till 13 mg/l.



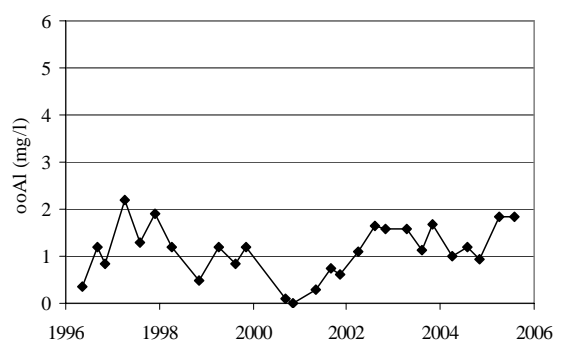
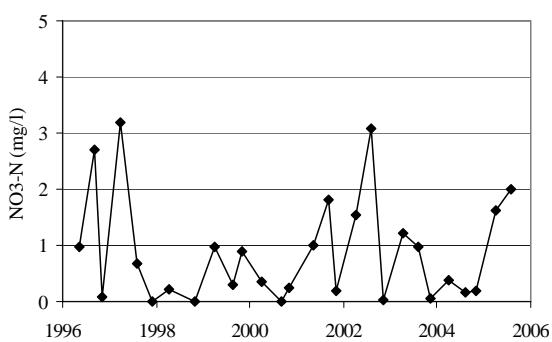
Figur 23. Markvattenkemi (halt av nitratkväve och oorganiskt aluminium) i Kallgårdsmåla i Blekinge, som kalavverkades hösten 2000.

I växande skog finns inga exempel på så höga halter av nitratkväve. I Halland, som tillhör det område i södra Sverige där förhöjda nitratkvävehalter i markvatten är vanligast, är den högsta noteringen på nitratkväve 4.5 mg/l och för oorganiskt aluminium knappt 6 mg/l i Vallåsen i sydligaste delen av Halland (Figur 24). På Hallandslokalerna fanns, precis som i Kallgårdsmåla, ett samband mellan nitratkväve och oorganiskt aluminium, men det är inte lika tydligt. I Söstared och Borgared var nitratkvävehalterna mycket låga under hela mätperioden, som högst 0.15 mg/l. Halten oorganiskt aluminium i Söstared har minskat under tidsserien, från omkring 1 mg/l omkring 1990 till omkring 0.5 mg/l under 2000-talet, bortsett från ett tillfälle under 2005 då halten uppgick till nästan 1 mg/l. I Borgared har halten oorganiskt aluminium varit på en nivå mellan 0.5 och 1 mg/l under hela tidsperioden med undantag av ett fåtal mättillfällen då halten överskridit 1 mg/l. I Djupeåsen har nitratkvävehalterna ofta varit förhöjda, halten har vid två tillfällen överskridit 3 mg/l. Halten oorganiskt aluminium har samvarierat i viss mån med nitratkvävehalterna, med halter omkring 2 mg/l vid de tillfällena då nitratkvävehalterna varit som högst. Vallåsen är den av Hallandslokalerna som haft högst nitratkvävehalter och även högst halter av oorganiskt aluminium. Detta visar på kopplingen mellan förhöjda halter av nitratkväve och försurning. Det är viktigt att följa utvecklingen för att se om frekvensen av förhöjda nitratkvävehalter ökar. Detta skulle indikera att skogsmarken inte förmår ta upp mer kväve, vilket skulle resultera i kväveutlakning och försurning. Mer om trendanalyser för markvattenkemi är sammanställt i Uggle m. fl. (2004).

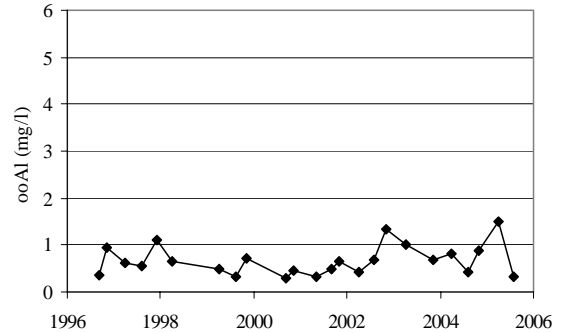
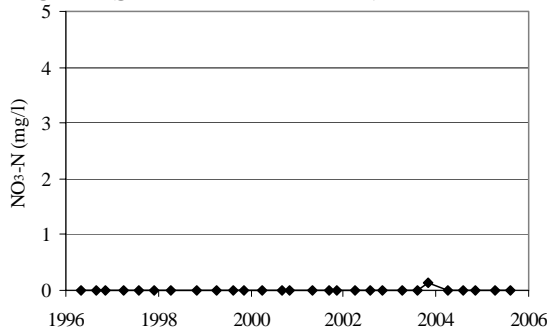
Söstared (tall, norra spetsen av Halland)



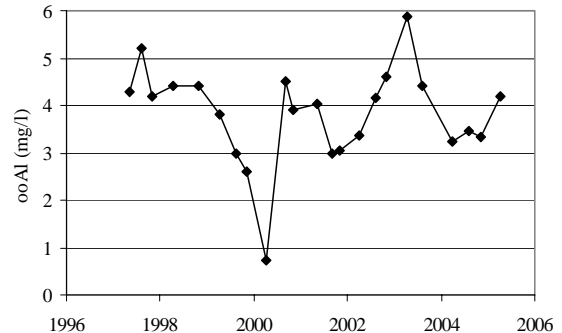
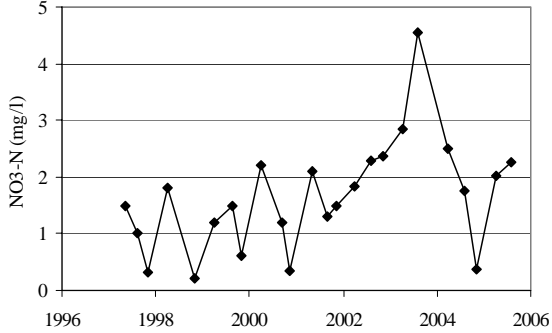
Djupeåsen (bok, norra delen av Halland)



Borgared (gran, centralt i Halland)



Vallåsen (gran, södra spetsen av Halland)



Figur 24. Markvattenkemi (Halt av nitratkväve och oorganiskt aluminium) på fyra lokaler i Hallands län.

2.4 Lufthalter

IVL har mätt halter av föroreningar i luft på 34 lokaler i landet under det hydrologiska året oktober 2004 - september 2005. De föroreningar som ingår i mätprogrammet är svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och marknära ozon. Svaveldioxid mättes på 28 lokaler, kvävedioxid på 33 lokaler samt ammoniak och ozon på 26 lokaler. Under sommarhalvåret (april-september) mättes ozon på ytterligare fem lokaler i Skåne. Samtliga komponenter mättes med diffusionsprovtagare på månadsbasis. Den längsta mätserien med månadshalter av svaveldioxid och kvävedioxid i luft har Södra Averstad i Värmlands län, där mätningarna startade i november 1992 och fortfarande pågår. Långa mätserier av svaveldioxid och kvävedioxid finns även i Stockholms och Västmanlands län där mätningarna på några lokaler pågått sedan oktober 1993 samt i Skåne län med mätningar sedan juli 1994. De längsta mätserierna med månadshalter av ammoniak och ozon finns på två av stationerna i Skåne län, Arkelstorp och Allerum, där mätningarna utförts sedan juli 1994.

Generellt är halter i luft av olika föroreningar högre i södra Sverige än i norra. Detta beror främst på att intransport av förorenade luftmassor från centrala Europa påverkar södra oftare än norra Sverige. Lufthalter av svavel- och kväveföreningar är generellt högre på vintern jämfört med sommaren. Denna säsongvariation beror dels på att emissionerna är högre under de kallare vintermånaderna, dels på meteorologiska skillnader mellan vinter- och sommarhalvåret. Ozonhalter i luft varierar inte på samma sätt som svavel- och kväveföreningar gör. Eftersom bildningen av ozon är beroende av solljus är halterna högre på våren och sommaren än på hösten och vintern och följdaktligen även högre på dagen än på natten.

2.4.1 Svaveldioxid oktober 2004 - september 2005

Beräknade medelvärden av svaveldioxid (SO₂) under det hydrologiska året oktober 2004 - september 2005 har varierat mellan 0,3 och 1,6 µg/m³ på de lokaler inom Krondropps nätet som har lufthaltsmätningar av svaveldioxid (Figur 25). Generellt sett är bakgrundshalterna av svaveldioxid högre i södra än i norra Sverige. De lägsta periodmedelhalterna (0,3 µg/m³) uppmättes i Nikkaluokta (Norrbottnens län), Högbränna (Västerbottens län) och Storulvsjön (Västernorrlands län). Den högsta periodmedelhalten (1,6 µg/m³) uppmättes i Ottenby (Kalmar län). Anmärkningsvärt under det hydrologiska året 2004/05 är periodmedelhalten i Palovare (Norrbottnens län) på 1,4 µg/m³. Medelhalten i Palovare har påverkats av en episod under september 2005 som främst berörde nordöstra delarna av Norrbottens län, se vidare avsnitt 2.4.5.

Inte på någon av lokalerna inom detta mätprogram har miljö kvalitetsnormen gällande ekosystem på 20 µg/m³ som årsmedelvärde och vinterhalvs värde överskridits under det hydrologiska året 2004-2005. Årsmedelhalterna har även varit lägre än de 5 µg/m³ till skydd av kulturvärden och material enligt delmålet för miljö kvalitetsmålet "Frisk luft".

Faktaruta: Lufthalter av svaveldioxid

Svaveldioxid är en vattenlöslig gas, som huvudsakligen härrör från förbränning av svavelhaltiga bränslen för energiproduktion samt industriella processer. Svaveldioxid oxideras i atmosfären till sulfatpartiklar som är mycket fina. I atmosfären har de fina partiklarna lång livslängd och kan transporteras långa sträckor, 100-200 mil. Svaveldioxid i gasfas kan påverka människors hälsa genom att den tas upp av de övre luftvägarna och kan i höga halter skapa irritation där. Långvarig exponering för höga halter har visats orsaka ökad frekvens av luftvägsinfektioner hos barn (Leksell, 1997). Svaveldioxid i utomhusluft utgör idag inget hälsoproblem i Sverige.

När svaveldioxid och surt sulfat deponeras försuras mark, vatten och skog. Försurningen är ett av våra stora miljöproblem i Sverige.

I extremfallet kan även skog skadas direkt av höga lufthalter av svaveldioxid. Den skogsdöd som observerats i bergsområden i östra Centraleuropa var sannolikt en följd av lokalt höga svaveldioxidhalter. Eftersom halterna av svaveldioxid i Sverige är låga, föreligger inte några risker för sådana haltrelaterade skador.

Svaveldioxid och dess sura oxidationsprodukt (svavelsyra) kan orsaka korrosion och söndervittring av material. Påverkan på material har dock minskat i takt med minskande halter.

Miljö kvalitetsnormer för svaveldioxid i utomhusluft till skydd av människors hälsa började gälla den 1 januari 1999. Normerna för svaveldioxid gällande hälsa är 200 µg/m³ som 98-percentil för timmedelvärden och 100 µg/m³ som 98-percentil för dygnsmedelvärden under ett år.

En miljö kvalitetsnorm till skydd av ekosystem har tagits fram och gäller från den 31 december 2005. Nivån som anges är dock inte tillräcklig för att skydda de känsliga lavarna. Enligt normen får inte 20 µg/m³ överskridas, varken som årsmedelvärde eller som vinterhalvårsvärde (oktober-mars).

Svaveldioxid kan orsaka korrosion och söndervittring av material. I miljö kvalitetsmålet "Frisk luft" har Naturvårdsverket föreslagit ett delmål som innebär att år 2005 skall årsmedelhalten av svaveldioxid inte överstiga 5 µg/m³ för skydd av kulturvärden och material.

2.4.2 Kvävedioxid oktober 2004 - september 2005

Beräknade medelvärden av kvävedioxid (NO₂) under det hydrologiska året oktober 2004 - september 2005 har varierat mellan 0,4 och 12,7 µg/m³ på de lokaler inom Krondroppsnetet som har lufthaltsmätningar av kvävedioxid (Figur 26). Generellt sett är bakgrundshalterna av kvävedioxid högre i södra än i norra Sverige. Uppmätta halter på några av lokalerna i Stockholms län påverkas dock av närheten till storstadsregionen. De lägsta periodmedelhalterna (0,4 µg/m³) uppmättes på lokalerna i Norrbottens, Västerbottens och Västernorrlands län. Den högsta periodmedelhalten (12,7 µg/m³) uppmättes i Ulriksdal (Stockholms län).

Inte på någon av stationerna inom Krondroppsnetet har miljö kvalitetsnormen på 40 µg/m³ som årsmedelvärde till skydd av människors hälsa överskridits under mätperioden oktober 2004 till september 2005. Årsmedelhalterna har även varit lägre än de 20 µg/m³ till skydd av hälsa, kulturvärden och material, som gäller som delmål år 2010 för miljö kvalitetsmålet ”Frisk luft”.

Faktaruta: Lufthalter av kvävedioxid

Kväveoxider släpps huvudsakligen ut till luft genom förbränning när förbränningsluftens syre och kväve reagerar. Kvävehalt i bränsle ger också visst tillskott. I Sverige bidrar dock industriella processer, liksom fasta förbränningskällor i mindre utsträckning till kväveoxidutsläppen. Trafiken står för de stora utsläppen, samt arbetsmaskiner och inte minst fartygstrafik.

Kvävedioxid har låg vattenlöslighet och kan därför föras långt ner i lungorna. Höga halter av kvävedioxid kan skada luftvägarna och ge vävnadsskador i lungorna samt nedsatt lungfunktion. Kvävedioxiderna kan även irritera ögon, näsa och hals.

Kväve är, till skillnad från svavel, ett näringsämne som växterna behöver för sin tillväxt och som kan vara begränsande. Nedfall av kväve har därför bland annat en gödslande effekt på grödor och skog. Nedfall i stora mängder kan därför ge övergödning. I den mån deponerat kväve, från kväveoxid- och ammoniakutsläpp, inte tas upp av vegetation och mark bidrar det, tillsammans med svavel-föroreningar, till försurningen av mark, vatten och skog.

Kväveoxider kan orsaka skador på material som plaster, textilier, metaller och sten i t.ex. kulturbyggnader och fornminnen. Dessutom är kväveföreningar, tillsammans med flyktiga organiska ämnen, utgångsämne vid bildandet av marknära ozon.

Miljö kvalitetsnormer för kvävedioxid i utomhusluft till skydd av människors hälsa började gälla den 1 januari 2006. Normerna för kvävedioxid gällande hälsa är 90 µg/m³ som 98-percentil för timmedelvärden och 60 µg/m³ som 98-percentil för dygnsmedelvärden under ett år. Dessutom får inte 40 µg/m³ överskridas som medelvärde under ett kalenderår.

Enligt en miljö kvalitetsnorm till skydd av ekosystem får 30 µg/m³ inte överskridas som årsmedelvärde.

Naturvårdsverkets förslag till delmål gällande miljö kvalitetsmålet ”Frisk luft” innebär bland annat att årsmedelhalten inte ska överskrida 20 µg/m³ till skydd av hälsa, kulturvärden och material år 2010.

2.4.3 Ammoniak oktober 2004 - september 2005

Beräknade medelvärden av ammoniak (NH_3) under det hydrologiska året oktober 2004 - september 2005 har varierat mellan 0,3 och 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på de lokaler inom Krondroppsnätet som har lufthaltsmätningar av ammoniak (Figur 27). De lägsta periodmedelhalterna (0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) uppmättes i Transtrandsberget i Värmlands län och Hensbacka i Västra Götalands län, medan den högsta (1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) uppmättes i Tunby i Skåne län. Generellt sett är halterna av ammoniak relativt låga i Transtrandsberget, medan halterna i Hensbacka ofta har varit på medelnivå jämfört med övriga lokaler i landet. Det är inte ovanligt att halterna i speciellt Tunby, men även i Maryd, i södra Skåne är något högre än på övriga lokaler.

Uppmätta halter av ammoniak är, till skillnad från övriga parametrar, mycket lokalt beroende och halter på näraliggande lokaler kan uppvisa stora skillnader i haltnivåer och månadsvariationer. Halterna av ammoniak uppvisar inte heller samma nordsydliga gradient över landet som svavel-dioxid och kvävedioxid. Det är mycket svårt att utläsa några speciella trender eller samband avseende ammoniakhalter, vare sig under året på en specifik lokal eller mellan olika lokaler i landet.

Faktaruta: Lufthalter av ammoniak

Ammoniakutsläpp kommer till allra största delen från jordbruket, men mindre bidrag erhålles även från industriella källor samt bildas i bilarnas katalysatorer respektive emitteras som så kallade slip i vissa reningsprocesser.

Ammoniak deponeras ofta närmare utsläppskällan än övriga kväveföreningar, eftersom ammoniak lätt tas upp av vegetationen och dessutom lätt tvättas ut med nederbörden. Ammoniak är, liksom kväveoxider, en kväveförening som bidrar till gödning och försurning.

I anslutning till källområden för ammoniak erhålles ofta en grön påväxt av alger på träd och byggnader som visar den näringsrika miljön.

För att direkteffekter på vegetation ska uppstå behövs höga halter av ammoniak. Så höga halter förekommer normalt inte i utomhusluft, utan den huvudsakliga effekten av ammoniak är dess bidrag till gödning och försurning.

Det finns idag inga gränsvärden eller miljö kvalitetsnormer för halter i luft av ammoniak.

2.4.4 Marknära ozon oktober 2004 - september 2005

Marknära ozon (O_3) och andra fotokemiska oxidanter bildas i atmosfären från kväveoxider, kolväten och andra lättflyktiga organiska ämnen under inverkan av solljus. De högsta halterna av ozon uppmäts ofta under mars - maj. Detta beror på samverkan mellan flera olika faktorer bl.a. att det under den här perioden finns god tillgång på ozonbildande ämnen, solinstrålningen ökar kraftigt och på att växtlighet, där ozon kan deponeras, förekommer sparsamt i början av året. Vid vissa tillfällen kan även nedblandning av stratosfäriskt ozon påverka de marknära halterna. Halterna av ozon uppvisar inte samma nordsydliga gradient över landet som svaveldioxid och kvävedioxid.

Beräknade medelvärden av marknära ozon under det hydrologiska året oktober 2004 - september 2005 har varierat mellan 48 och 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på de lokaler inom Krondroppsnetet som har lufthaltsmätningar av ozon (Figur 28). Den lägsta medelhalten återfinns i Västra Torup i Skåne län och den högsta i Nikkaluokta i Norrbottens län.

På 26 av stationerna mäts halter av ozon under samtliga månader på året, resterande stationer mäter endast under sommarhalvåret. Enligt EU:s senaste direktiv ska inte årsmedelhalten överstiga 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till skydd av material. På samtliga 29 stationer med mätningar året runt överstegs dock denna halt under tolv månadersperioden oktober 2004 - september 2005. Enligt regeringens proposition (2004/05:150) till miljö kvalitetsmålet "Frisk luft" bör halten av marknära ozon under sommarhalvåret inte överskrida 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till skydd av hälsa, miljö, kulturvärden och material 2020. Beräknade medelvärden under sommarhalvåret april - september 2005 överstiger 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på alla lokaler utom Risebo i Kalmar län (47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) och Fogdaröd i Skåne län (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Det högsta medelvärdet under sommarhalvåret återfinns i Nikkaluokta i Norrbottens län (67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Faktaruta: Lufthalter av marknära ozon

Marknära ozon är en sekundär luftförorening som bildas ur kemiska reaktioner mellan kväveoxider, (NO_x) och flyktiga organiska kolväteföreningar (VOC) under solljusets inverkan. Väder som gynnar ozonbildning är högtryckssituationer då vädret är varmt och soligt med låga vindhastigheter. Ozonhalterna i Sverige beror till största delen på föroreningar från Europas stora utsläppsområden. Men utsläpp av kolväten och kväveoxider från främst industrier och trafik bidrar även regionalt.

Ozon är en gas med låg vattenlöslighet och kan, precis som kvävedioxid, föras långt ner i lungorna. Höga ozonhalter kan skada människors hälsa genom att irritera slemhinnor och lungor. Andningsbesvär hos personer med känsliga luftvägar har påvisats vid ozonhalter runt 160 µg/m³. Särskilt känsliga personer kan få besvär även vid lägre halter. Ozonhalterna i Europa och tidvis även i Sverige är så höga att känsliga personer kan påverkas.

Ozon kan också skada känslig vegetation. Skador kan påvisas vid relativt låga halter som inte är mycket högre än den naturligt förekommande förindustriella nivån. De genomsnittshalter av ozon som uppmätts idag är tillräckliga för att skada viktiga jordbruksgrödor som vete, potatis och vallväxter, speciellt i södra Sverige. Produktionsbortfallet i Sverige till följd av ozonskador beräknas till cirka en miljard kronor om året. Ozon har förmågan att påskynda nedbrytningen av vissa organiska material, t.ex. gummi och plaster.

Enligt miljö kvalitetsnormen för marknära ozon skall det eftersträvas att halten i utomhusluft inte överskrider 120 µg/m³ som åttatimmars medelvärde år 2010.

Enligt EU:s senaste ozondirektiv (2002/3/EG) ska dessutom allmänheten informeras vid timmedelhalter över 180 µg/m³ och varnas vid timmedelhalter över 240 µg/m³.

Institutet för miljömedicin (IMM) vid Karolinska institutet har angivit en lågrisknivå på 80 µg/m³ som timmedelvärde som ej bör överskridas om hälsoeffekter ska kunna undvikas i möjligaste mån. Denna halt finns även föreslagen som ett "Generationsmål för luftkvalitet" i Statens offentliga utredningar 2000:52.

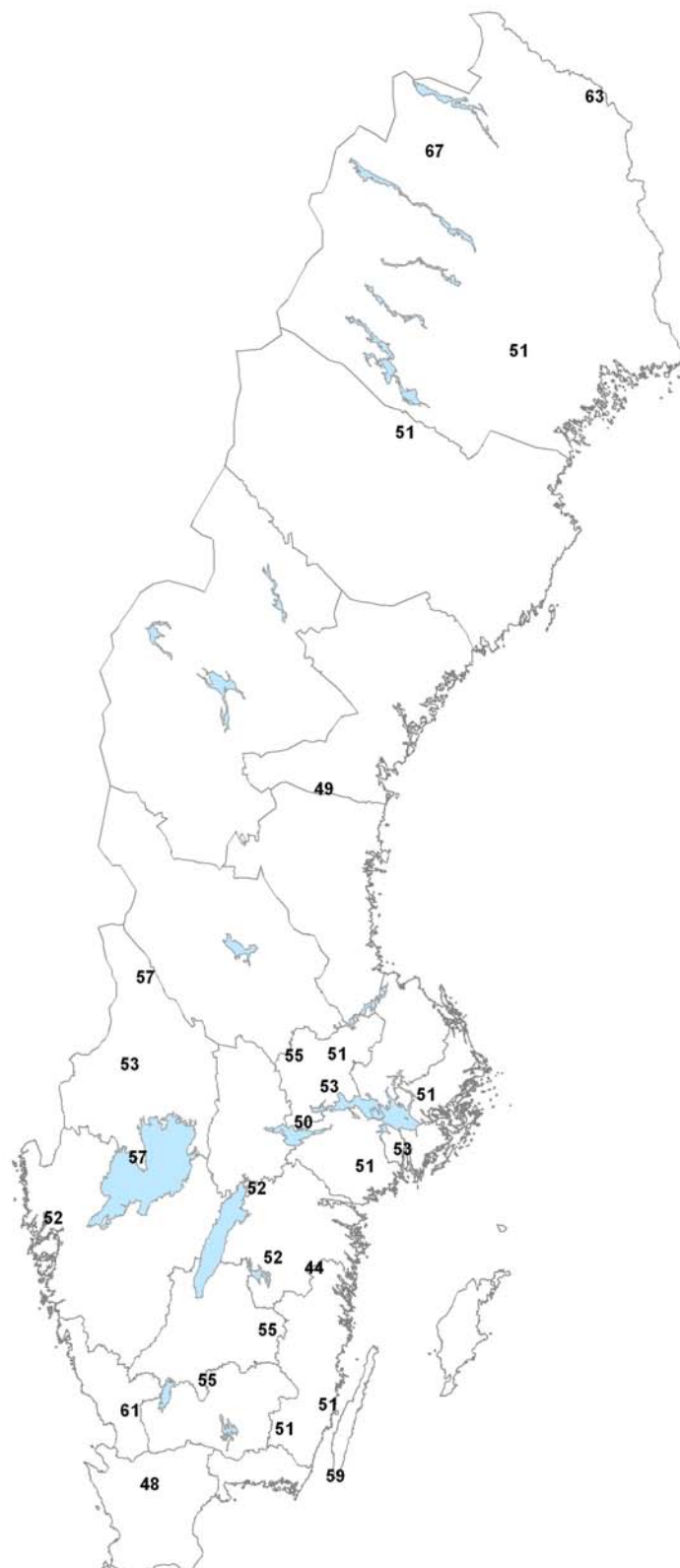
Regeringens proposition (2005/05:150) med förslag till delmål gällande miljö kvalitetsmålet "Frisk luft" innebär bl.a. att medelvärdet under sommarhalvåret inte ska överskrida 50 µg/m³ till skydd av hälsa, kulturvärden och material år 2020.

Vid bedömningen av ozonskador på växter används ett dosrelaterat mått, AOT40, där AOT står för Accumulated exposure Over Threshold. AOT40 innebär ackumulerat överskridande av halten 40 ppb (=80 µg/m³) under en viss tidsperiod.

Till skydd av växtligheten (grödor) ska det enligt miljö kvalitetsnormen eftersträvas att AOT40 i utomhusluft under maj-juli inte ska överskrida 18 000 µg/m³-timmar från 1 januari 2010 till 31 december 2019. Från och med den 1 januari 2020 gäller att AOT40 under maj-juli inte ska överskrida 6 000 µg/m³-timmar år. Den gällande AOT40-nivån till skydd av skog är 20 000 µg/m³-timmar under april-september (2002/3/EG).

AOT40 avspeglar inte direkt växternas upptag av ozon utan räknas fram från uppmätta halter. Utvecklingen mot ett upptagsbaserat exponeringsindex för ozon har påbörjats. Forskning för att översätta månadsresultat från diffusionsprovtagare till både existerande AOT40-begrepp samt till ett upptagsbaserat exponeringsindex pågår för närvarande. En metod för att översätta månadsmedelvärde av ozon till AOT40 har föreslagits.

Enligt EU:s senaste ozondirektiv (2002/3/EG) ska årsmedelhalten av ozon inte överstiga 40 µg/m³ till skydd av material.



Figur 28. Lufthalter av marknära ozon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) som medelvärde under oktober 2004 - september 2005.

2.4.5 Episoder

Kortare episoder med förhöjda halter kan ofta vara svåra att upptäcka vid månadsprovtagning av halter i luft. Mätningar med tidsupplösning på dygns- eller veckonivå är nödvändiga om snabba förändringar av luftföroreningssituationen i ett område är av intresse. Månadsmätningar ger dock oftast en tillräckligt god uppfattning om luftkvaliteten i ett område. En del episoder kan vara tydliga även vid månadsprovtagning.

Ett tydligt exempel är månadsmedelhalten av svaveldioxid i Palovare i Norrbottens län i september 2005 (Figur 29-30). I Norrbottens län har mätningar av svaveldioxid i luft utförts på en lokal (Myrberg) sedan november 2000 och på ytterligare två lokaler (Nikkaluokta och Palovare) sedan januari 2004. Årsmedelhalterna av svaveldioxid har fram t.o.m. det hydrologiska året 2003/04 varit lägre än $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och månadsmedelhalterna lägre än $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på samtliga tre lokaler. Under september 2005 uppmättes dock en månadsmedelhalt på $11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Palovare och $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Myrberg. Halten i Nikkaluokta var $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En förhöjd månadsmedelhalt av svaveldioxid, $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, uppmättes även i Pålkem som ingår i det nationella Luft- och nederbördskemiska nätet som finansieras av Naturvårdsverket.

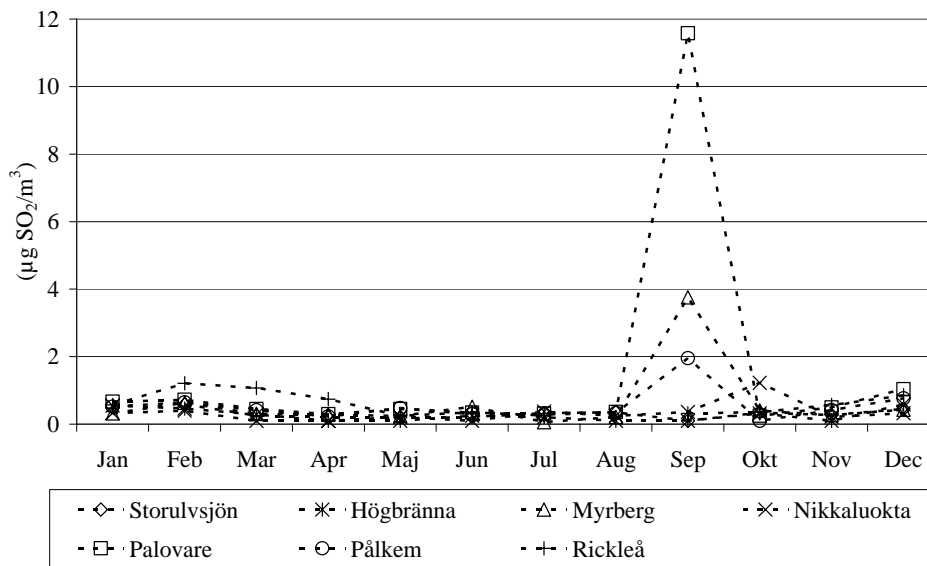
NILU (Norsk Institutt for Luftforskning) mäter lufthalter i Nikel, en stad på Kolahalvön i nordvästra Ryssland. I Nikel ligger ett nickelsmältverk som enligt en artikel i Ny Teknik (2004-09-21) har lika stora årliga utsläpp av svavel som Sverige, Norge och Finland tillsammans. Den 9-10 september uppmättes halter av svaveldioxid på $>3\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Nikel. Under den 9 september rörde sig ett luftpaket från Nikel mot norra Sverige (se t.ex. www.nilu.no/trajectories/). Det är sannolikt att dessa två faktorer kan ha orsakat förhöjda halter av svaveldioxid i norra Sverige runt den 9 september. Tyvärr saknas lufthaltsmätningar på tim- eller dygnsbasis i nordligaste Sverige, vilket gör det svårt att bekräfta om halterna var av den storleksordningen att de kan ha påverkat månadsmedelvärdet för september i speciellt Palovare, men även i Pålkem och Myrberg.

Lokaler med lufthaltsmätningar belägna i nordvästra Norge (Svanvik och Karasjok) uppvisar inte några anmärkningsvärda halter av svaveldioxid i september 2005. Man skall dock inte förvänta sig detta då det krävs olika vindriktningar för att luftföroreningar från Nikel ska nå norra Sverige respektive norra Norge. I Finska Lappland mäts halter av svaveldioxid i luft i Pallas/Sammaltunturi (nordvästra Finland) och Rajajooseppi (nordöstra Finland). Båda lokalerna har mätningar på timbasis, men tyvärr var mätutrustningen i Pallas/Sammaltunturi avstängd p.g.a. kalibrering den 9-13 september 2005. Dygnsmätningarna var i funktion, men visar endast en svagt förhöjd halt under 9-10 september. Timmätningarna i Rajajooseppi visar på förhöjda halter av svaveldioxid (ca $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) under den 9 september.

Uppmätta halter på de norska och finska lokalerna kommer således inte upp i den nivå som mäts upp i Palovare i Norrbottens län i september 2005. Det är dock möjligt att de meteorologiska förutsättningarna varit sådana att området runt Palovare påverkats i avsevärt större utsträckning än vad lokalerna i Norge och Finland gjort.



Figur 29. Uppmätta månadsmedelhalter av SO₂ (µg/m³) i september 2005.



Figur 30. Uppmätta månadsmedelhalter av SO₂ (µg/m³) under 2005.

2.4.6 Användningsområde för uppmätta halter i bakgrundsluft

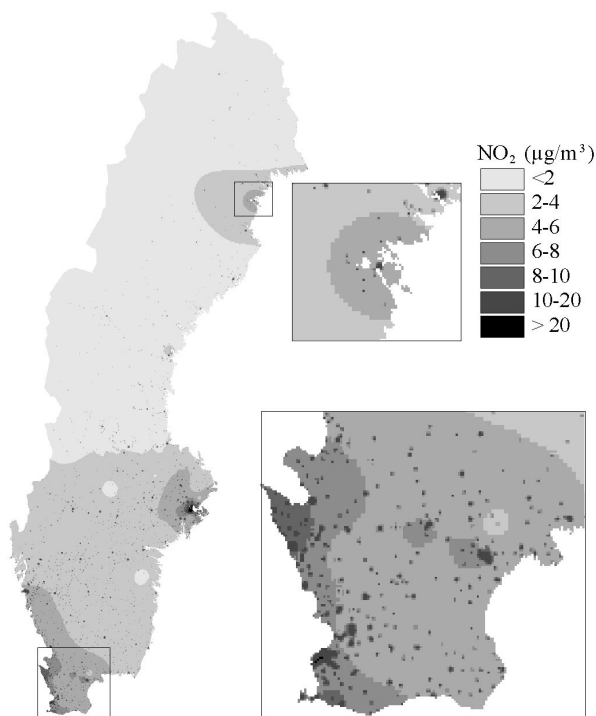
Mätningarna av halter i luft inom Krondroppsnetet gjordes från början för att bedöma risken för direkta skador på skog och andra växter. Med undantag av marknära ozon ligger nu halterna långt under de gränsvärden som gäller för direkta skador på vegetation. Inför framtida program för övervakning av luftföroreningar i bakgrundsluft är det därför motiverat att ta ställning till om mätningar av halter i luft är nödvändigt. Det samlade åtgärdsarbetet har visat att information om luftföroreningar behövs i många sammanhang, inte minst därför att luftföroreningar i tätorter fortfarande är ett hälsoproblem. I tätorterna summeras det långväga bidraget till det lokala. Båda källorna kan vara betydande och det är viktigt för åtgärdsarbetet att kunna beskriva luftkvaliteten i bakgrundsluft på det sätt som sker inom Krondroppsnetet. Resultat från månadsprovtagning av lufthalter i bakgrundsmiljöer har flera olika användningsområden, däribland att:

- geografiskt kartlägga halter i luft av svavel- och kväveföreningar samt marknära ozon lokalt, regionalt eller nationellt,
- ge en bild av hur halterna varierar i tiden över undersökningsområdet,
- fungera som ett instrument för långsiktig övervakning av miljön för att finna storskaliga förändringar, som kan kräva åtgärder eller vidare forskningsinsatser,
- vara ett instrument för övervakning av luftkvaliteten i områden med bakgrundshalter, exempelvis som komplement till mätningar med större tidsupplösning,
- ge kunskap om halter av marknära ozon i luft i bakgrundsmiljöer för att kunna uppskatta risken för negativa effekter av ozon på grödor och skog,
- ge resultat från bakgrundsmiljöer för användning som bedömningsunderlag vid studier i mer föroreningsbelastade miljöer och
- ge underlag till beräkningar av torrdepositionen av svavel och kväve.

Mätningar av svavel- och kväveföreningar samt ozon i luft kan med fördel samordnas med mätningar av halter i nederbörd och/eller krondropp för att få en helhetsbild av föroreningssituationen i ett område, vilket ofta är nödvändigt i t.ex. miljökonsekvensbeskrivningar. Resultat kan även användas i modeller för att ge en bild av luftföroreningssituationen i ett helt län, i en tätort eller att visa storleksordningen på ett haltbidrag från en enskild föroreningskälla. Nedan redovisas kortfattat några olika studier där data från uppmätta lufthalter inom bl.a. Krondroppsnetet använts.

- Spridningsberäkningar avseende luftföroreningar i Örebro län - På uppdrag av Örebro läns luftvårdsförbund har IVL Svenska Miljöinstitutet spridningsberäknat emissioner till luft från länets punkt-, yt- och linjekällor (Haeger-Eugensson m. fl., 2005). För att inkludera intransport av föroreningshalter till länet har mätdata från nationella mätningar (EMEP samt Luft- och nederbördskemiska nätet) i bakgrundsluft använts. Eftersom den förhärskande vindriktningen är sydvästlig har månadsmedelvärden från nationella mätstationer sydväst om Örebro län använts. Vid utvärdering och validering av beräknade resultat har jämförelser gjorts mellan beräknade och uppmätta halter av kvävedioxid och ozon i regional bakgrund på Krondroppslokaler i Kilsmo och Örlingen i Örebro län. Överensstämmelsen mellan uppmätta och beräknade haltnivåer visade sig vara god.
- Med IVL:s så kallade URBAN-modell som grund har en ny empirisk modell tagits fram för att kvantifiera den exponering av olika föroreningar som landets befolkning utsätts för både i nutid

och framtid (Sjöberg et. al, 2004). Utifrån mätningar i nationell, regional och urban bakgrundsluft (bl.a. från Krondroppsnätets lufthaltsmätningar) på lokaler i Sverige har halter i luft interpolerats fram för att erhålla haltkartor över hela landet, se exempel i Figur 31.



Figur 31. Årsmedelhalter av kvävedioxid i Sverige 1999 interpolerade utifrån mätningar i regional och urban bakgrundsluft.

- Data från bakgrundsmätningar har använts i ett stort antal miljökonsekvensbeskrivningar (MKB) för olika industrier. Syftet med MKB är att identifiera de effekter som en verksamhet kan medföra på människors hälsa och miljön. För att kunna bedöma effekten av en verksamhets luftmiljöpåverkan är det viktigt att ha kunskap om närområdets förhållanden avseende luftmiljön. Ju fler mätningar och undersökningar som finns tillgängliga avseende närområdets lufthalter, desto enklare är det att göra en bra bedömning av en verksamhets luftmiljöpåverkan och dess påverkan på människors hälsa och miljön. För en fullständig genomgång av luftmiljösituationen behövs data avseende halter i regional och urban bakgrundsluft samt haltbidrag från den aktuella verksamheten.

3 Förbättringar av mätningar och modellberäkningar av deposition

På senare år har mätningar på öppet fält inom Krondroppsnätet i hög grad ersatts av modellberäkningar med MATCH-Sverige modellen, som simulerar den genomsnittliga föroreningsdepositionen i Sverige (Persson and Kahnert, 2006). Viktiga indata till MATCH-modellen är halter i luft och nederbörd från det nationella nederbörds-kemiska nätet, samt meteorologiska indata, markanvändningsdata och geografisk fördelning av emissioner till luft. De mätningar på öppet fält som finns kvar inom Krondroppsnätet (Bilaga 1) ingår inte som underlag för modellberäkningarna utan kan användas för jämförelser av modellberäkningar.

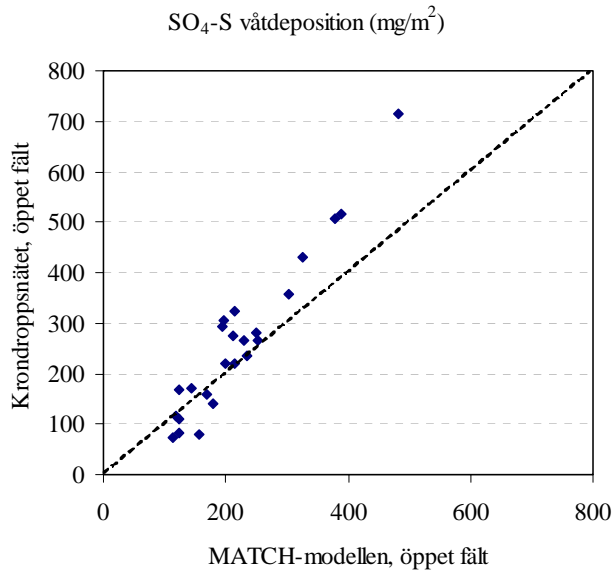
Under förra programperioden utfördes jämförelser mellan uppmätt deposition av svavel och kväve och modellerad deposition med MATCH-Sverige modellen (Uggla m fl, 2003). Resultaten visade att det fanns en skillnad i nederbördsmängd under vintern, med högre nederbörd i mätningarna på öppet fält än enligt modellberäkningarna som använder SMHIs uppmätta nederbördsmängd. Detta ledde till att uppmätt deposition av svavel och kväve på öppet fält var högre än den modellberäknade depositionen. Modellberäkningarna använder inte nederbördsmängder från nederbörds-kemiska mätningar utan enbart uppmätta halter i nederbörd, men även halterna kan vara osäkra om insamlarna ger väsentligt annorlunda nederbördsmängd jämfört med standardiserade insamlare i SMHIs nät. Detta har resulterat i en metodstudie med syftet att utveckla en ny insamlare för nederbörds-kemiska mätningar som liknar SMHIs provtagare.

I fjällkedjan har det tidigare varit ytterst ont om mätningar av luftföroreningar. De få mätstationer som fanns, Tustervatn i Norge och Abisko, har fått stort genomslag på resultaten, och då de inte varit representativa för norra Sverige har resultaten blivit felaktiga. I de nya beräkningar för år 2002-2004 har fyra nya provytor i svenska fjällen kunnat användas. Abisko har strukits helt medan Tustervatn är kvar, men inte alls har samma tyngd som innan. Breckälven i norr, där lockprovtagarens öppningsfunktion vid nederbörd varit bristfällig, har inte använts för 2002 och 2003.

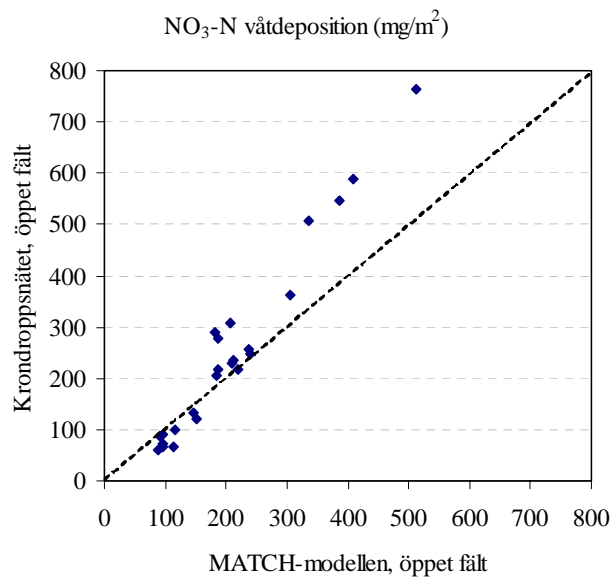
Det har länge varit känt att mätningar med ständigt öppna trattar på öppet fält även samlar en viss mängd torrdeposition. Tidigare har man antagit att andelen torrdeposition i dessa prover har varit mycket liten (någon enstaka procent), men nya studier i de så kallade intensivytorna i Krondroppsnätet har visat att andelen torrdeposition är betydligt större än så (10-30 %) (Persson m. fl., 2004). IVL har utvecklat en systematisk metod för att uppskatta torrdepositionsandelen i nederbörds-kemiska mätdata på öppet fält. Metoden bygger på en studie där provtagare under tak har använts parallellt med de normala bulkprovtagarna för att uppskatta andelen torrdeposition i bulkprovtagarna. Baserat på dessa mätningar beräknades korrigeringsfaktorer för att uppskatta andelen torrdeposition för respektive ämne och månad för de lokaler i det Nederbörds-kemiska nätet där data assimileras i SMHIs MATCH-modell. Tillämpandet av dessa korrigeringsfaktorer på assimilerade mätdata i MATCH-modellen förväntas förbättra beräkningen av våtdepositionen i Sverige.

För att utvärdera modelleringsresultatet efter utnyttjandet av korrigeringsfaktorerna, jämfördes resultatet från MATCH-modellen med ett oberoende dataset (Krondroppsnätet) med avseende på våtdeposition för sulfat, nitrat och ammonium (mätningar i öppet fält), Figur 32-24, och totaldepositionen av sulfat (krondroppsmätningar), Figur 35. Depositionen som jämförs är ett medelvärde under tre år, 2002 till 2004. Modellberäkningarna gav något lägre deposition av sulfatsvavel, nitratkväve och ammoniumkväve, speciellt vid höga depositions-nivåer (Figur 32-34). Detta var förväntat eftersom ingen korrigering gjorts av uppmätta halter på öppet fält inom Krondroppsnätet. Jämförelsen av totaldepositionen (våt och torr) för sulfat indikerar en systematisk överskattning av totaldepositionen i MATCH-modellen. Denna överskattning är troligtvis knuten till en överskatt-

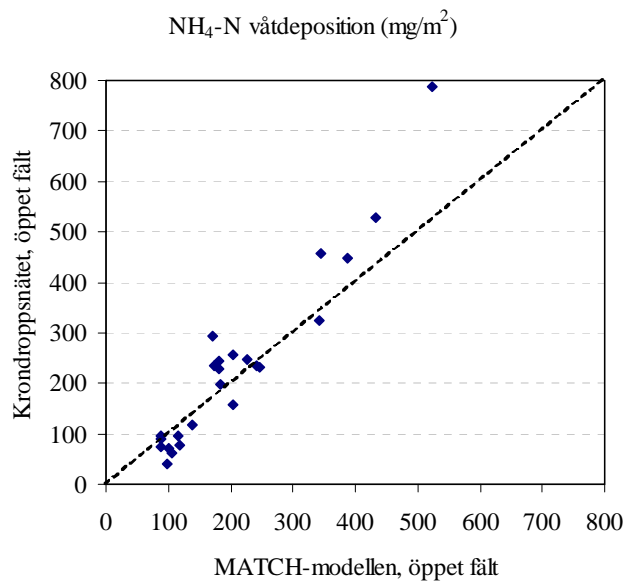
ning av torrdepositionen i modellen. Detta visar att det fortfarande är viktigt att mäta krondropp på representativa lokaler i hela landet.



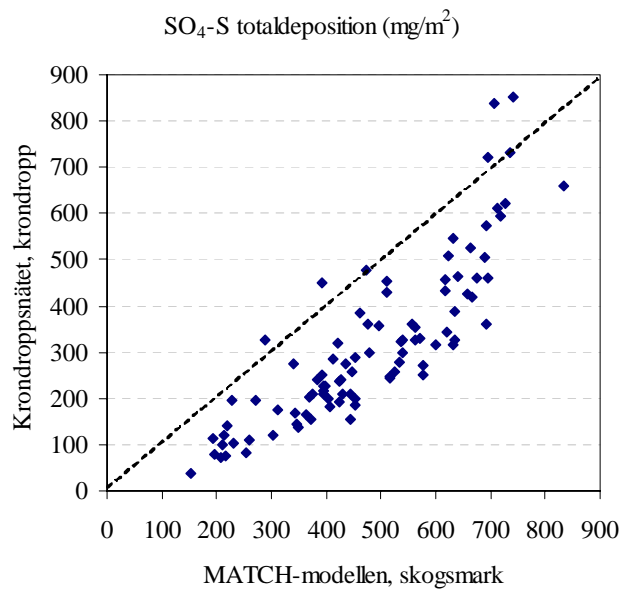
Figur 32. Jämförelse av modelleringsresultat (MATCH) för våtdeposition av sulfatsvavel med mätdata på öppet fält från Krondropps nätet.



Figur 33. Jämförelse av modelleringsresultat (MATCH) för våtdeposition av nitratkväve med mätdata på öppet fält från Krondropps nätet.



Figur 34. Jämförelse av modelleringsresultat (MATCH) för våtdeposition av ammoniumkväve med mätdata på öppet fält från Krondropps nätet.



Figur 35. Jämförelse av totaldepositionen för sulfatsvavel i MATCH-modellen och Krondropps nätet (krondroppsmätning).

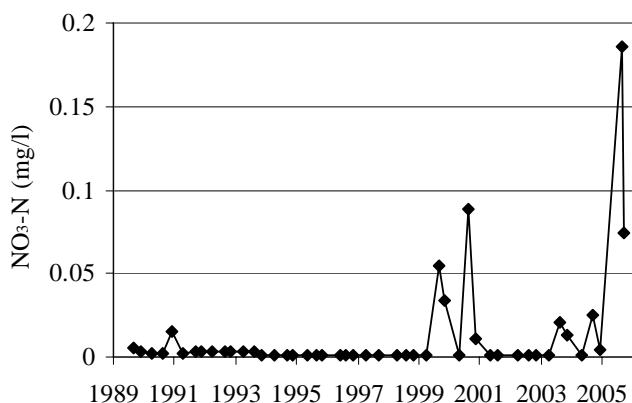
4 Stormeffekter

Stormen Gudrun i januari 2005 var en naturkatastrof med många olika typer av skadeverkningar. Eftersom många provtytor inom Krondroppsnätet ligger i det stormdrabbade området påverkades även mätningarna av luftföroreningar i skog. När den stora omfattningen av stormskadorna i södra Sverige började bli känd befarades att många provtytor var uttraderade eller så skadade att det inte var möjligt att fortsätta mätningarna av nedfall och markvatten. Under flera månader var det svårt att komma fram till ett antal av provplatserna på grund av alla nedblåsta träd över skogsvägarna. Det fattades prov från 16 platser i månadsskiftet januari – februari. Den siffran minskade successivt fram till juni då bara fyra svårt skadade skogsytor återstod där mätningar inte kunde fortsätta. Sammanlagt tre ytor, i Blekinge (Björkefall), Halland (Timrilt) respektive Kronobergs län (Asa), ersattes av nya näraliggande provplatser. En yta i Jönköpings län, Alandsryd, var inte möjlig att ersätta, men provtagningen av markvatten har fortsatt på den avverkade ytan.

De skador som stormen orsakade på skog i form av fällda träd i södra Sverige resulterade i att arealen kalavverkad skog ökade kraftigt på kort tid. Normalt sett är andelen hygge begränsad eftersom den årliga förnygringsavverkningen endast berör ca 1 % av den produktiva skogsmarken som ett genomsnitt för södra Sverige. Förnygringsfasen för skog (då huvuddelen av beståndet kalavverkats), är en kritisk period under en skogsgeneration som ofta medför ökad utlakning av flera miljöpåverkande ämnen. Dessutom kan påverkan från stormskadad skog vara högre än för normala hyggen, på grund av att störningen på marken genom stormfällningen är kraftigare än vad som är normalt efter förnygringsavverkning.

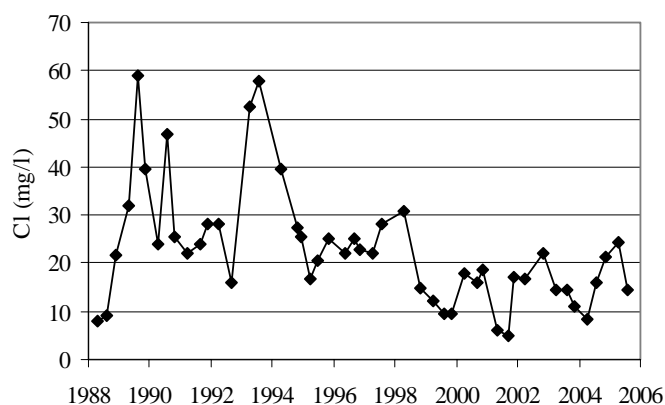
Effekter som kan spåras i mätningarna inom Krondroppsnätet berör både försurning och övergödning. Studier av markvatten inom Krondroppsnätet har visat att skogsmarkens förmåga att lagra kväve för närvarande är hög i växande skog, men under hyggesfasen sker en förhöjning av kväveutlakningen under en tidsperiod på tre till sex år i södra Sverige. Utlakningen är tydligt högre i områden med högt kvävenedfall. Denna förhöjning beror på en kombination av faktorer där trädens uteblivna upptag av näringsämnen ofta är den viktigaste faktorn. Dessutom blir en stor del av markprofilen både varmare och fuktigare på ett hygge jämfört med växande skog, eftersom transpirationen avbryts och solinstrålningen ökar till följd av att träden avlägsnas. En fuktig och varm miljö gynnar nedbrytningen av det organiska materialet varvid nitrat kan bildas. Dessutom kan den förändrade hydrologin förstärka utlakningen av nitrat på grund av den höjda grundvattenytan. Bildning av nitrat och utlakning av kväve är en försurande process i mark och vatten som dessutom kan bidra till övergödning av vattenmiljön.

Ett exempel är granytan vid Alandsryd i sydvästra Jönköpings län där hela beståndet fälldes av stormen och avverkades under våren 2005. Halten av nitratkväve i markvatten har följts sedan 1988 och med undantag för några få tillfällen med svag förhöjning har halterna varit mycket låga i den växande skogen. När ytan stormfälldes och avverkades steg halten av nitratkväve i markvattnet relativt snabbt (Figur 36). Det är troligt att halten kommer att stiga ytterligare under 2006, eftersom det ofta tar flera år innan den kulminerar (se till exempel Figur 23 från en granyta i Blekinge som avverkades hösten 2000). Resultat från bland annat Krondroppsnätet har använts för att beräkna risken för ökad utlakning av kväve från stormskadad skog i södra Sverige under de närmaste fem åren (Hellsten m. fl., 2006) på uppdrag av Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket. Rapporten kan laddas ner från Skogsstyrelsens hemsida, www.svo.se. IVL har även gjort kompletterande mätningar i bland annat stormskadade krondroppsytor med anslag från Formas.

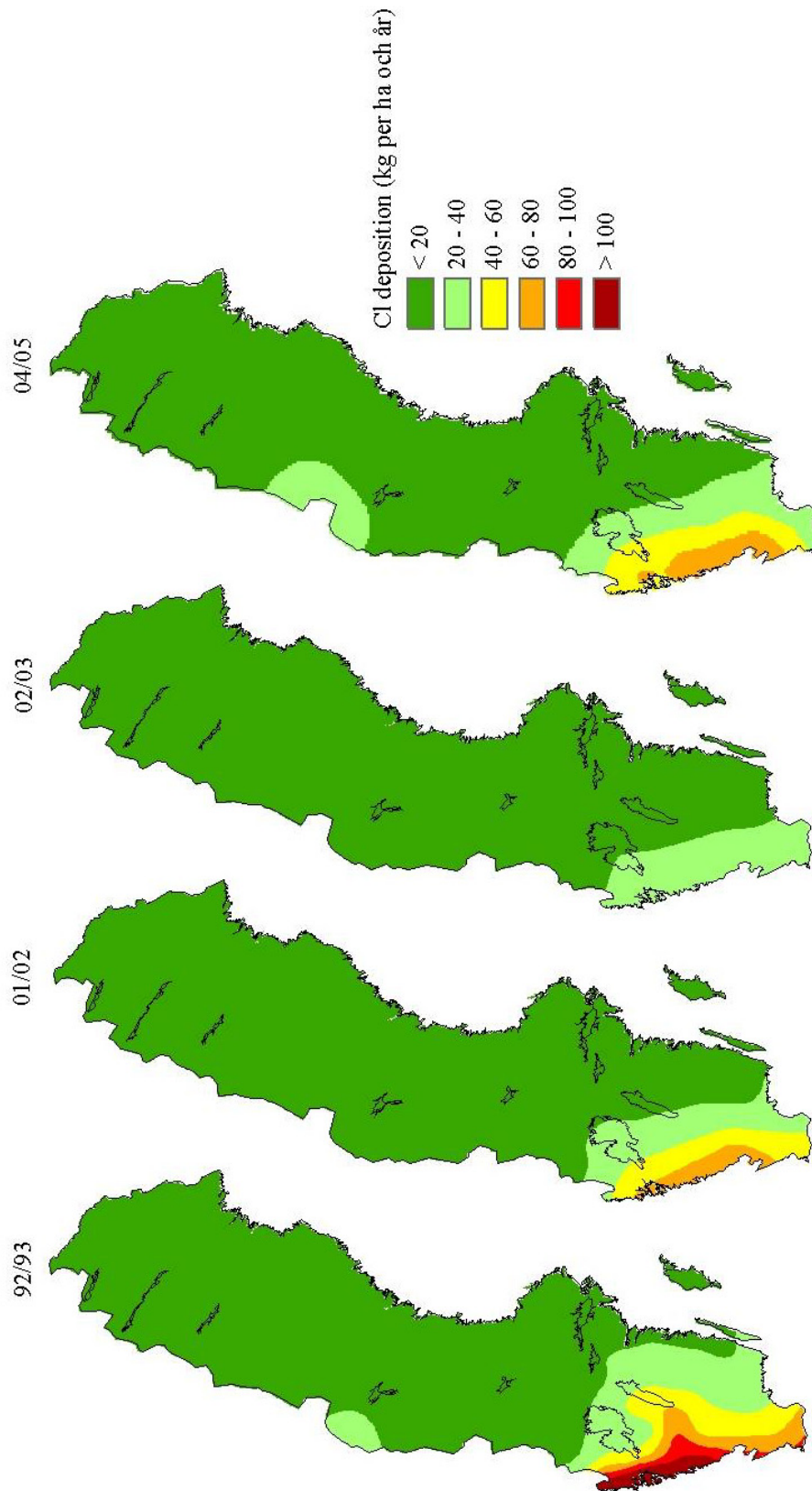


Figur 36. Effekt av stormfällning och avverkning på halter av nitratkväve i markvatten i Alandsryd i Jönköpings län 2005.

Den aspekt på försurning som är mest aktuell med tanke på påverkan från storm, utöver omvandling av kväve i marken, är de stora mängder havssalt som normalt deponeras i skog i samband med kraftiga stormar. Dessa salter kan orsaka tillfälliga surstötter i avrinning genom jonbyte mellan natrium och "sura" katjoner (H^+ och Al^{3+}) på markpartiklarna, där katjonerna transporteras ut i vattendragen tillsammans med klorid. Mätningarna inom Krondroppsnetet av nedfall av klorid, som indikerar havssalt, visar dock att påverkan var måttlig i januari 2005, jämfört med tidigare stormar sedan 1990 (Figur 38). Variationen mellan år är stor och vintern 1992/93 utmärker sig med mycket högt nedfall av havssalter. Nedfallet 2004/05 var också relativt högt, men liknande vintrar har noterats flera gånger tidigare. Det måttliga nedfallet 2004/05 framgår även av mätningarna i markvatten, eftersom klorid är en lätttrörlig jon i markprofilen som utlakas relativt snabbt. En relativt kustnära lokal med lång mätserie i markvatten är Söstared i norra Halland (Figur 37) som visar att halterna av klorid ofta var mycket höga från 1990 till 1995. Ökningen efter stormen i januari 2005 var måttlig, jämfört med tidigare år på 1990-talet. Slutsatsen är att den tillfälliga försurningseffekt som kan uppstå efter nedfall av havssalt sannolikt var liten efter stormen Gudrun.



Figur 37. Halter av klorid i markvatten i Söstared i Halland.



Figur 38. Kloriddeposition (kg per ha och år) via krondropp i granytor under 1992/93, 2001/02, 2002/03 och 2004/05. Det första och sista året var stormpåverkade.

5 Referenser

- Akselsson, C. och Westling, O. (2000) Nedfall av luftföroreningar i fjällområden i Jämtlands län 1995 - 1999. IVL Rapport B1374.
- Haeger-Eugensson M., Liljeberg M. och Blomgren H. (2005) Spridningsberäkning avseende luftföroreningar - För Örebro läns Luftvårdsförbund. IVL Rapport U1093.
- Hallgren Larsson E., Svensson A. och Westling O (2003) Luftföroreningar i skogliga provytor - Resultat till och med september 2002. IVL Rapport B 1521.
- Hellsten S., Westling, O. och Larsson, P-E. 2006. Miljökonsekvenser för vattenkvalitet. Underlagsrapport inom projekt Stormanalys. Skogsstyrelsen Rapport 10/2006.
- Leksell, I. (1997) Luftvård - sjätte upplagan. Avdelningen för tillämpad miljövetenskap vid Göteborgs Universitet. ISBN 91 88376 10 9.
- Persson, C., Ferm, M., och Westling, O. (2004) Förbättrad mätning och beräkning av försurande och övergödande luftföroreningar. Specialprojekt på uppdrag av Naturvårdsverkets miljöövervakningsenhet.
- Persson, C., och Kahnert, M. (2006) Återanalys av föroreningsdepositionen till Sverige 2002-2004, SMHI-Rapport Nr. 2006 - 8.
- Sjöberg K., Haeger-Eugensson M., Liljeberg M., Blomgren H. och Forsberg B. (2004) Quantification of general population exposure to nitrogen dioxide in Sweden. IVL-rapport B 1579.
- Uggla, E., Hallgren Larsson, E., Knulst, J. och Westling, O. (2003) Jämförelse mellan uppmätt och modellberäknad deposition av svavel och kväve i Sverige. IVL Rapport B 1530.
- Uggla, E., Hallgren Larsson, E. och Malm, G. (2004) Krondroppsnetet - Tidsutveckling, trendbrott och nationella miljömål. IVL Rapport B 1599.
- Westling, O. och Ferm, M. (1997) Deposition av luftföroreningar i svenska fjällen. Projektrapport 1997. Länsstyrelsen i Västerbotten, Umeå.

Bilaga 1: Nedfall på öppet fält

Summerad deposition på öppet fält per lokal under hydrologiska året 2004/05. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år och övriga parametrar i kg per ha och år.

Län, lokal	Period	Nedb	H ⁺	SO ₄ -S	SO ₄ -S _{ex}	Cl-	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ²⁺
mm kg per ha och år →													
<i>Dalarnas län</i>													
Fulufjället	04/05	686	0,04	0,9	0,9	1,4	1,0	1,1	0,8	0,2	1,0	0,4	0,10
<i>Gävleborgs län</i>													
Galmsjön	04/05	553	0,05	1,8	1,7	2,7	1,6	1,5	1,8	0,4	2,1	1,5	0,17
<i>Hallands län</i>													
Söstared	04/05	982	0,16	4,9	3,8	23,6	4,6	4,5	1,8	1,8	14,1	1,0	0,25
Timrilt	04/05	1731	0,34	18,2	10,0	177,4	10,1	8,3	14,1	13,7	82,8	74,2	1,02
<i>Jämtlands län</i>													
Hundshögen H	04/05	665	0,08	1,8	1,5	7,0	1,0	1,1	0,7	0,6	4,2	0,3	0,08
Hundshögen L	04/05	497	0,04	0,7	0,6	1,1	0,5	0,9	0,4	0,1	0,7	0,3	0,05
Sånfjället H	04/05	482	0,05	1,9	1,7	3,7	0,8	1,2	0,8	0,7	2,2	1,2	0,05
Sånfjället L	04/05	492	0,03	0,8	0,7	1,9	0,6	0,7	0,5	0,3	1,2	0,7	0,05
<i>Jönköpings län</i>													
Visingsö	04/05	484	0,04	2,8	1,9	20,6	2,5	3,3					
Fagerhult	04/05	689	0,06	2,9	2,4	11,9	2,4	4,8	2,4	1,1	7,0	2,8	0,13
<i>Kalmar län</i>													
Rockneby	04/05	590	0,13	2,6	2,3	5,1	2,5	2,0	1,3	0,5	3,3	0,7	0,08
<i>Kronobergs län</i>													
Tagel	04/05	736	0,12	4,4	2,8	35,1	3,1	2,9	2,0	2,6	19,5	1,4	0,11
<i>Norrbottens län</i>													
Myrberg	04/05	957	0,11	2,3	2,1	2,9	1,3	0,8	1,9	0,6	1,8	4,0	0,38
<i>Skåne län</i>													
Arkelstorp	04/05	553	0,11	3,3	2,7	12,2	3,1	3,2	1,4	1,0	7,5	0,8	0,09
Västra Torup 2	04/05	801	0,16	5,5	3,8	35,9	5,5	4,8	3,1	2,7	20,8	2,3	0,26
<i>Stockholms län</i>													
Bergby	04/05	635	0,07	3,2	2,8	7,8	3,1	4,6	2,4	1,1	4,7	2,9	0,14
Farstanäs	04/05	482	0,03	1,9	1,8	3,4	2,5	3,0	2,4	0,4	2,0	2,2	0,07
Arlanda	04/05	566	0,04	3,1	2,8	6,1	2,8	4,5	3,3	0,9	4,1	2,8	0,12
Ulriksdal	04/05	515	0,04	3,8	3,5	6,0	1,8	6,3	3,4	0,6	4,4	6,8	0,09
Ulriksdal (lock)	04/05	423	0,03	1,5	1,4	1,7	1,0	2,3	1,0	0,3	1,2	0,8	0,06
<i>Södermanlands län</i>													
Edeby	04/05	546	0,07	2,2	2,1	2,8	1,7	2,6	1,2	0,4	2,0	1,9	0,08
<i>Värmlands län</i>													
Blåbärskullen	04/05	847	0,09	3,4	3,0	8,2	3,0	4,2	1,8	0,8	5,7	2,2	0,14
<i>Västerbottens län</i>													
Högbränna	04/05	631	0,08	0,8	0,7	1,7	0,6	0,4	1,2	0,2	0,8	0,6	0,12
Holmsvatten	04/05	631	0,10	1,8	1,8	1,3	1,1	0,6					
<i>Västernorrlands län</i>													
Storulvsjön	04/05	709	0,06	1,3	1,2	2,1	1,1	0,8	1,2	0,2	1,5	0,6	0,11
<i>Västmanlands län</i>													
Kvisterhult	04/05	703	0,06	2,9	2,5	6,8	2,6	5,1	2,0	0,9	4,5	2,3	0,14
<i>Västra Götalands län</i>													
Hensbacka	04/05	1148	0,28	8,6	5,7	61,7	6,5	6,5	3,4	4,9	36,8	2,2	0,35
Svartedalen	04/05	1161	0,25	6,4	4,9	31,9	5,2	4,7	1,9	2,5	19,7	0,9	—
Björkered	04/05	900	0,12	4,3	3,6	15,3	4,1	4,6	3,1	1,3	9,6	1,7	0,16

Bilaga 1 (forts.): Nedfall på öppet fält

Summerad deposition på öppet fält per lokal under hydrologiska året 2004/05. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år och övriga parametrar i kg per ha och år.

Lokal	Period	Nedb mm	oorg N kg per ha och år →	org N	TOC
Galmsjön	04/05	553	3,1	1,3	
Söstared	04/05	982	9,1	1,0	
Timrilt	04/05	1731	18,4	4,9	35
Fagerhult	04/05	689	7,2	2,9	20
Rockneby	04/05	590	4,5	1,1	17
Tagel	04/05	736	6,0	0,6	
Myrberg	04/05	957	2,1	1,1	33
Västra Torup 2	04/05	801	10,3	0,8	15
Bergby	04/05	635	7,7	2,8	
Farstanäs	04/05	482	5,5	1,2	
Edeby	04/05	546	4,3	0,1	16
Blåbärskullen	04/05	847	7,2	2,7	17
Högbränna	04/05	631	1,0	0,7	17
Storulvsjön	04/05	709	1,9	0,7	
Kvisterhult	04/05	703	7,7	4,7	
Hensbacka	04/05	1148	13,0	1,2	19