



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Nedfall av luftföroreningar i fjällområden i Jämtlands län 1995 till 1999



Cecilia Akselsson och Olle Westling
B 1374
Aneboda, juni 2000

<p>Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB</p> <p>Adress/Address IVL Aneboda SE-360 30 LAMMHULT</p> <p>Telefonnr/Telephone 0472-26 20 75</p>	<p>RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary</p> <p>Projekttitel/Project title Depositionsmätningar på hög höjd i Jämtlands län</p> <p>Anslagsgivare för projektet/Project sponsor Länsstyrelsen i Jämtlands län</p>
<p>Rapportförfattare, author Cecilia Akselsson och Olle Westling</p>	
<p>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Nedfall av luftföroreningar i fjällområden i Jämtlands län 1995 till 1999</p>	
<p>Sammanfattning/Summary Under vintern 1994/95 påbörjades depositionsmätningar i sex olika fjällområden Jämtland, med syftet att kvantifiera depositionen (nedfallet) av främst försurande luftföroreningar (svavel och kväve). På varje lokal finns en mätstation för nederbördsinsamling på öppen mark på hög höjd (935-1410 m.ö.h) och en på låg höjd (420-820 m.ö.h.). På tre lokaler finns även krondroppsmätningar i trädgränsen för granskog (620-780 m.ö.h.). Mätningarna har visat att nederbördskemiska undersökningar på kalfjället medför betydande osäkerheter i både uppmätta nederbördsmängder och halter av olika ämnen på grund av hård vind och hög dimfrekvens. Det gör att uppmätt deposition i form av nederbörd på hög höjd måste korrigeras och beräknas med hjälp av mätningarna på lägre höjd, samt uppskattad nederbördsökning med höjden.</p> <p>Den högsta depositionen av luftföroreningar under perioden 1995 till 1999 uppmättes under granar vid trädgränsen. Träden tar emot både våtdeposition, i form av nederbördens föroreningar, och torrdeposition, främst föroreningar i molndimma. Generellt beräknades nederbörden öka med höjden i denna studie, men halten av föroreningar i nederbörden antogs vara konstant. Det gör att den beräknade depositionen på kalfjället var högre än på öppna områden på lägre höjd. Under den korta period (fyra år) som mätningar pågick, var det främst vädermässiga olikheter som gav upphov till skillnader i deposition mellan åren. Nederbörds mängden i fjällnära skog, uppmätt som krondropp, samvarierade mellan fjällen och även med närliggande stationer i mätprogram i skogsytan utanför fjällregionen. Även svavelhalten samvarierade, men halten var högre i den fjällnära skogen än i skog på lägre höjd, vilket troligen beror på en större mängd dimdeposition.</p> <p>Det var över lag 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. I de flesta fall var halterna av luftföroreningar högst i krondropp i fjällnära skog, jämfört med nederbörd på öppna ytor. Den uppmätta och beräknade årliga depositionen av svavel och kväve i fjällnära skog och på kalfjället i Jämtland var 50 till 100 % högre än i områden utanför fjällkedjan. Mätningarna kunde inte visa någon gradient på de olika fjällen från söder till norr i länet. Nivån på depositionen var måttlig 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 måttlig deposition kan leda till att kritiska belastningsgränser överskrids.</p> <p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område, näringsgren eller vattendrag/Keywords Deposition, svavel, kväve, dimdeposition, hög höjd, fjällnära skog, fjällen, Jämtland</p> <p>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport B 1374</p> <p>Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Biblioteket, Box 21060, SE-100 31 Stockholm, Sweden</p>	

Innehåll

Sammanfattning	3
Summary	4
Bakgrund	5
Undersökningarnas syfte	5
Termer och begrepp	6
Metodik	6
Mätlokaler	6
Provtagningsmetod	8
Kemiska analyser	8
Osäkerheter i mätningarna	8
Beräkning av deposition i fjällnära skog	9
Beräkning av totaldeposition	9
Resultat av undersökningarna	10
Depositionens höjdberoende	10
Deposition på olika fjäll	14
Uppmätt deposition på låg höjd och i krondropp	14
Beräknad deposition på hög höjd samt i skog	15
Depositionens variation över tiden	17
Mellanårsvariation	17
Variation under året	20
Slutsatser	21
Referenser	22
Appendix. Utvärdering av osäkerheter i mätningarna	23
Inledning	23
Tidsutveckling på lokalerna	24
Svavelhalt	24
Nederbörd	26
Jämförelser mellan olika fjäll	29
Svavelhalt	30
Nederbörd	31
Jämförelser mellan sommar och vinter	33
Svavelhalt	33
Nederbörd	34
Bedömning av osäkerheter	35

Sammanfattning

Det finns flera faktorer som talar för att belastningen av luftföroreningar ökar med höjden i fjällområden. Av det skälet påbörjade Länsstyrelsen i Jämtlands län depositions­mätningar vintern 1994/95 i olika fjällområden med IVL Svenska Miljöinstitutet som utförare. Mätningarna var inriktade på att kvantifiera depositionen (nedfallet) av främst försurande luftföroreningar (svavel och kväve) till fjällområden i länet. Undersökningen omfattar sex lokaler i Jämtland. På varje lokal finns en mätstation för nederbördsinsamling på öppen mark på hög höjd (935-1410 m.ö.h) och en på låg höjd (420-820 m.ö.h.). På tre lokaler finns även kron­droppsmätningar i trädgränsen för granskog (620-780 m.ö.h.). I det fallet fungerar träden som provtagare av torra föroreningar inklusive föroreningar i dimma. Mätningarna har visat att nederbörds­kemiska undersökningar på kalfjället medför betydande osäkerheter i både uppmätta nederbörds­mängder och halter av olika ämnen på grund av hård vind och hög dimfrekvens. Det gör att uppmätt deposition i form av nederbörd på hög höjd måste korrigeras och beräknas med hjälp av mätningarna på lägre höjd, samt uppskattad nederbörds­ökning med höjden.

Den högsta depositionen av luftföroreningar under perioden 1995 till 1999 uppmättes under granar vid trädgränsen. Träden tar emot både våtdeposition, i form av nederbördens föroreningar, och torrdeposition, främst föroreningar i molndimma. Generellt beräknades nederbörden öka med höjden i denna studie, men halten av föroreningar i nederbörden antogs vara konstant. Det gör att den beräknade depositionen på kalfjället var högre än på öppna områden på lägre höjd. Under den korta period (fyra år) som mätningar pågick, var det främst vädermässiga olikheter som gav upphov till skillnader i deposition mellan åren. Variationer i nederbörd samt skilda vindförhållanden ledde till en viss variation. Nederbörds­mängden i fjällnära skog, uppmätt som kron­dropp, samvarierade mellan fjällen och även med närliggande stationer i mätprogram i skogs­tytor utanför fjällregionen. Även svavelhalten samvarierade, men halten var högre i den fjällnära skogen än i skog på lägre höjd, vilket troligen beror på en större mängd dimdeposition.

Det var över lag 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. I de flesta fall var halterna av luftföroreningar högst i kron­dropp i fjällnära skog, jämfört med nederbörd på öppna ytor. Den uppmätta och beräknade årliga depositionen av svavel och kväve i fjällnära skog och på kalfjället i Jämtland var 50 till 100 % högre än i områden utanför fjällkedjan. Mätningarna kunde inte visa någon gradient på de olika fjällen från söder till norr i länet. Nivån på depositionen var måttlig 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 måttlig deposition kan leda till att kritiska belastningsgränser överskrids.

Summary

Several factors indicate that the deposition of air pollutants increases with elevation in mountain areas. Of that reason the County Board of Jämtland in North Sweden initiated monitoring of atmospheric deposition in different mountain areas in the region. IVL Swedish Environmental Research Institute conducted the monitoring and the study was focused on deposition of acidifying air pollutants (sulphur and nitrogen). The study comprises monitoring of precipitation chemistry (bulk wet) on six mountains at high (935-1410 m a.s.l.) and low elevation (420-820 m a.s.l.). The study also included throughfall monitoring in Norway spruce at the timberline on three mountains (620-780 m a.s.l.). The study showed that monitoring of precipitation (wet deposition) at high elevation above the timberline has large uncertainties concerning both precipitation amount and concentrations of pollutants due to strong winds and high frequency of clouds in contact with the ground surface (contribution of dry deposition). The conclusion is that the monitored wet deposition at high elevation must be corrected and calculated based on the monitoring results from lower elevation. The calculated increase of precipitation amount by elevation was based on other studies in northern Sweden.

The highest deposition of air pollutants during the period 1995 to 1999 was found under Norway spruce at the timberline. The trees receive both wet deposition with precipitation and dry deposition, mainly cloud droplets. The calculated wet deposition in open areas in this study assumes no difference in concentrations of pollutants in precipitation at high and low elevation. The calculated deposition was higher at high elevation only due to the increased precipitation amount, compared to lower elevation. Variation in deposition between years was mainly caused by different weather conditions, e.g. wind speed and precipitation amount. The throughfall amount at the timberline co-varied with other monitoring sites in forests outside the mountain region. The concentration of sulphate also co-varied, but the concentrations were often higher in throughfall at the timberline, compared to forests at lower elevation. The probable explanation to the increased concentrations is high cloud frequency near the ground surface.

The concentrations of air pollutants in precipitation and throughfall were higher during the winter period compared to summer at all elevations. However, high precipitation amount during summer often resulted in higher deposition, despite the lower concentrations, compared to the winter period. The highest concentrations of pollutants were normally found in throughfall at the timberline.

The monitored and calculated yearly depositions of sulphur and nitrogen in forest at the timberline, and in open areas above, were on average 50 to 100% higher than at monitoring sites at low elevation in the region. The monitoring could not show any deposition gradient on mountains from south to north. The monitored deposition was low or moderate compared to many areas in southern Sweden, but the mountain areas in northern Sweden are often very sensitive to loads of acidifying air pollutants. Even low or moderate deposition can lead to significant exceedance of critical loads in sensitive areas.

Bakgrund

Det finns indikationer från undersökningar i andra länder att belastningen av luftföroreningar är högre i bergsområden än på lägre höjder. 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.

Samtliga 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. Under senare år har studier utförts med syfte att utveckla praktiskt användbara metoder för att rutinmässigt övervaka luftföroreningar i fjällområden och för att kunna bedöma om de observerade försurningsskadorna orsakas av en större atmosfärisk tillförsel av försurande ämnen än vad nuvarande kunskap visar. 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, nederbörd samt snöprofiler¹. Detta kan utgöra underlag för inriktningen av eventuella motåtgärder som till exempel kalkning av ytvatten.

Länsstyrelsen i Jämtlands län påbörjade vintern 1994/95 depositions-mätningar i olika fjällområden med IVL Svenska Miljöinstitutet som utförare. Mätningarna var inriktade mot att kvantifiera depositionen av främst försurande luftföroreningar (svavel och kväve). Denna rapport redovisar resultaten av undersökningarna under perioden 1995 till 1999. Mätningarna pågår även under år 2000. Länsstyrelsen utför provtagningarna med egen personal och lokala provtagare.

Undersökningarnas syfte

Syftet med undersökningarna av deposition (nedfall) av försurande luftföroreningar på hög höjd (kalfjäll), låg höjd och i fjällnära skog i Jämtland var att klarlägga om det finns stora skillnader i belastningens storlek beroende på olika höjdlägen. Ett delmål har varit att beskriva eventuella osäkerheter i mätningarna som beror på de speciella förhållanden som råder på hög höjd, med sträng kyla, hårda vindar och dimma samt dimfrost.

Termer och begrepp

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 trätt 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. Rimefrost 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 rimefrost.

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

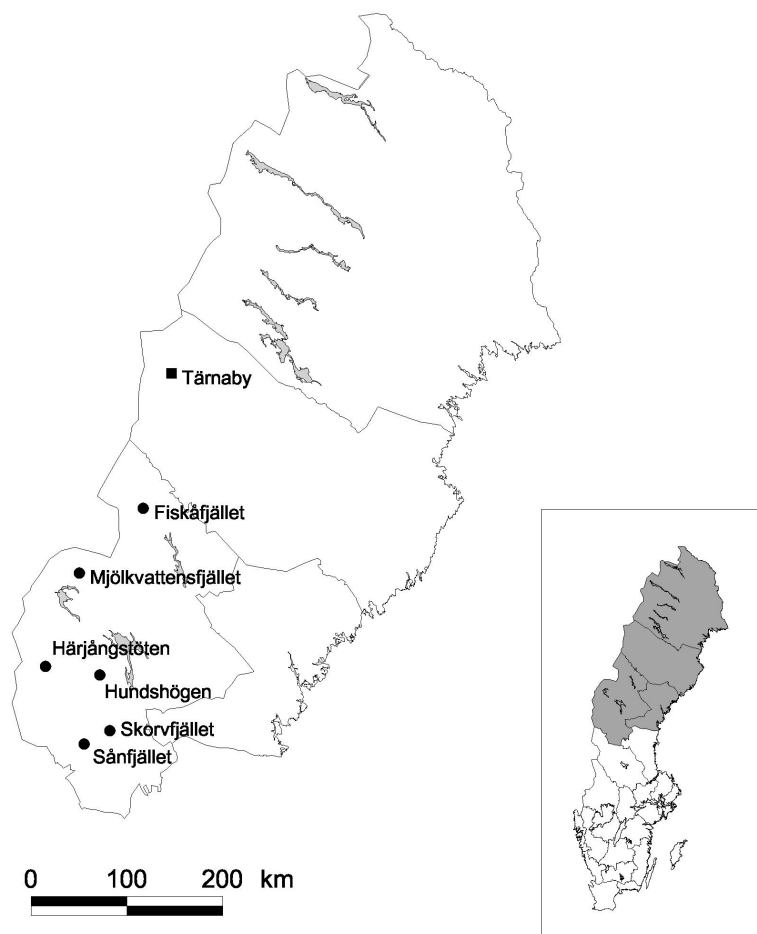
Totaldeposition är summan av våtdeposition och torrdeposition, inklusive dim- och molndeposition.

Enheter som används i denna studie är främst kg per hektar och period (helår eller årstid) för deposition och milligram per liter (mg/l) för halter i nederbörd och krondropp. Vinterperiod är beräknad från november till maj, sommarperiod juni till oktober och helår följaktligen november till oktober.

Metodik

Mätlokaler

Undersökning omfattar sex lokaler i Jämtland och de undersökta fjällens lokalisering framgår av kartan i figur 1. På varje lokal finns en mätstation på hög höjd och en på låg höjd. Med låg höjd menas provstationer på fjället som ligger väsentligt lägre än fjällets toppar där mätningarna på hög höjd utförs. Låg höjd ligger dock relativt högt (420–820 m.ö.h.) i förhållande till andra nederbördskemiska mätningar i regional och nationell miljöövervakning. På tre lokaler finns även krondroppsmätningar i fjällnära skog. De olika stationerna har olika långa tidsserier, vilket framgår av tabell 1. Mätstationerna på låg höjd och i fjällnära skog ligger i syd-sydostlig riktning från fjälltoppen.



Figur 1. De sex undersökta fjällens lokalisering. Sambandet mellan höjd och nederbörd som använts för beräkningar har tagits fram i Tärnaby.

Tabell 1. Information om de olika mätstationerna. Höjden anges i meter över havet.

Fjäll	Lokalkod	“Låg höjd”	Hög höjd	Fjällnära skog*	Mätperiod
Sånfjället	Z910	635	1170	780	9411-
Skorvfjället	Z920	675	935	-	9411-9509
Hundshögen	Z930	670	1250	780	9411-
Herjängstöten	Z940	820	1410	-	9512-9811
Mjölkvattensfjället	Z950	610	1220	-	9512-9805
Fiskåfjället	Z960	420	1193	620	9512-

*Krondroppsmätningar i fjällnära skog startade i oktober 1997.

Provtagningsmetod

Nederbörd på öppna ytor på låg höjd (en öppning i skogen) och hög höjd (på kalfjället) samlades in i en lång och smal plasticsäck (diameter 195 mm). Säcken var monterad i ett ca 1800 mm högt plaströr (diameter 200 mm) förankrat med stag. Under sommarperioden var plasticsäcken åtsnörd en bit ner för att minska avdunstningen. Insamlaren tömdes en gång per månad.

På tre fjäll insamlades även krondropp under granar vid trädgränsen (fem insamlare per station) med hjälp av kortare plasticsäckar i rör, med början i oktober 1997. Vid utplaceringen av insamlarna eftersträvades att mäta under lika stora träd på de olika fjällen.

Kemiska analyser

Efter månatlig insamling och eventuell upptining av insamlad nederbörd och krondropp skickades proverna till IVL. Proverna analyserades med avseende på pH och konduktivitet samt halterna av kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), mangan (Mn), sulfatsvavel (SO₄-S), klorid (Cl), nitratkväve (NO₃-N) och ammoniumkväve (NH₄-N). Alla analyser utfördes med standardmetoder för nederbörd på IVLs ackrediterade laboratorier.

Osäkerheter i mätningarna

Utvärderingen av mätresultaten på hög och låg höjd samt i skog visade att det kan finnas osäkerheter eller provtagningsartefakter både när det gäller halter av föroreningar i nederbörd och nederbördsmängder på hög höjd (se appendix). Halterna i den nederbörd som provtogs i insamlarna på kalfjället var vissa tider orealistiskt höga. Insamlaren fick troligen ta emot föroreningar i form av dimdroppar som fastnade på det uppstickande röret på ett sätt som inte händer på marken. Dessutom var de nederbördsmängder som insamlades osäkra eftersom framför allt snö ofta blåste förbi provtagaren. Mätvärdena från hög höjd bedömdes därför inte vara lämpliga att använda för att beräkna deposition på kalfjället.

De värden som redovisas för hög höjd i denna rapport är i stället beräknade värden som bygger på halten och nederbörden på låg höjd. Uppmätta värden redovisas i appendix. Halten har antagits vara samma på de båda höjderna, medan nederbörden räknades upp eftersom nederbörden generellt sett ökar med höjden. Sambandet mellan höjd och nederbörd varierar mellan olika fjäll, beroende på en rad olika faktorer. För att ta fram sambandet för varje fjäll krävs modellberäkningar där dessa faktorer beaktas. Utveckling av denna typ av modellering pågår på SMHI². För uppräkningsen av nederbörden i denna studie användes ett förhållande mellan höjd och nederbörd som tagits fram empiriskt i Tärnabytrakten (figur 2). I det området ökade årsnederbörden med ungefär 50 mm per 100 m stigning³.

Beräkning av deposition i fjällnära skog

Krontäckningen i fjällnära skog är mindre än i skog på lägre höjder. Detta gör att mätningar från insamlare som placerats under träd i fjällnära skog inte är representativa för skogen som helhet på samma sätt som på lägre höjder. Depositionen ligger någonstans mellan uppmätt krontäckt och uppmätta värden på öppet fält. För att kompensera för detta gjordes en omräkning av krontäcksdata. Krontäckningen bedömdes vara 40 %. Depositionen i skogen som helhet uppskattades genom att anta att 40 % av skogen erhåller deposition enligt krontäcksdata medan resterande 60 % erhåller deposition enligt mätningarna på öppet fält, enligt formeln nedan.

$$\text{dep}_{\text{fjällnära skog}} = (\text{krontäckning} * \text{dep}_{\text{krontäckt}}) + ((1 - \text{krontäckning}) * \text{dep}_{\text{öppet fält}})$$

där dep = deposition och krontäckning = 0,4

Eftersom deposition på öppet fält inte uppmätts på samma höjd som den fjällnära skogen användes värden från mätningar på öppet fält på "låg höjd", med uppräknad nederbörds mängd enligt höjdsambandet i figur 2.

Beräkning av totaldeposition

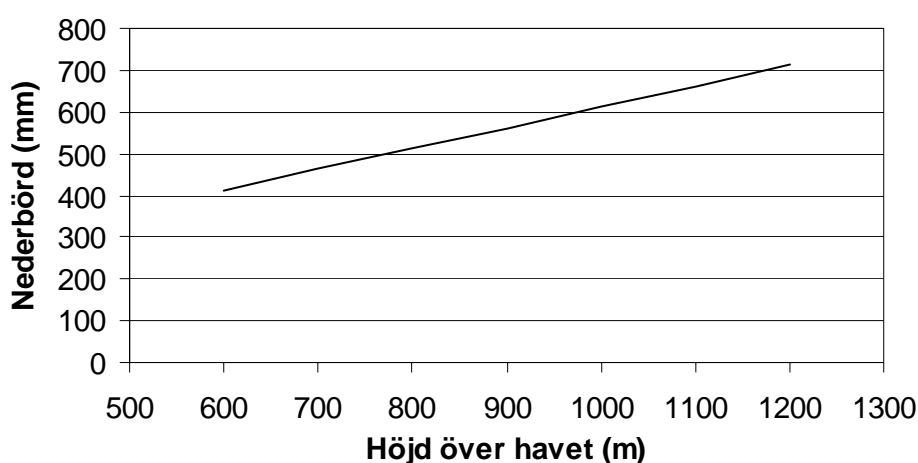
Deposition till skogsmarken, som mäts genom krontäcksdata, är för vissa ämnen påverkad av trädens upptag eller interncirkulation. För natrium och sulfat, som inte interncirkuleras eller tas upp i trädkronorna i någon större omfattning, ger krontäcksdata en god bild av det totala nedfallet till skogsmarken. För övriga ämnen, speciellt kalium och kväve, är nedfallet till marken i form av krontäckt mer eller mindre påverkat av interncirkulation.

IVL har utvecklat en metod för att beräkna den totala depositionen av de ämnen som påverkas av processer i trädkronan⁴ som i denna studie har använts för att uppskatta totaldepositionen i fjällnära skog. Beräkningen sker med hjälp av depositionsdata på öppet fält och krontäckt i skog. Metoden grundar sig på antagandet att sulfat- och natriumjoner passerar trädkronorna utan att tas upp eller interncirkuleras, vilket innebär att totaldepositionen av dessa ämnen antas vara lika med uppmätt deposition via krontäckt. Något förenklat kan man säga att totaldepositionen av kväve och vätejoner beräknas genom att uppskatta torrdepositionens omfattning i området och addera denna till uppmätt våtdeposition. För övriga ämnen (kalcium, magnesium, kalium och mangan) beräknas totaldepositionen med hjälp av fördelningen i våtdepositionen (öppet fält) samt jonstyrkan i krontäcket.

Resultat av undersökningarna

Depositionens höjdberoende

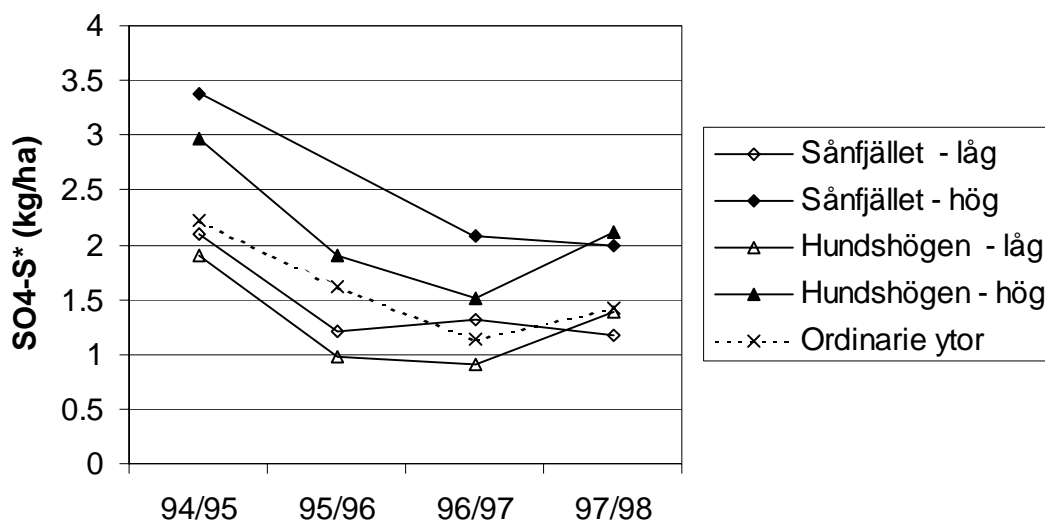
De skillnader i deposition som beräknats mellan olika höjder på kalfjällen (eller i öppna områden i skogen) beror på skillnader i nederbördsmängd, eftersom depositionen uppskattats med hjälp av halter från lägre höjd (se metodikavsnittet). Generellt sett ökar nederbörden med höjden. I denna studie användes ett samband som tagits fram mellan höjd och nederbörd i Tärnaby. I figur 2 har detta samband tillämpats på Sånfjället. För halten i nederbörden antas att det inte finns något direkt samband med höjden.



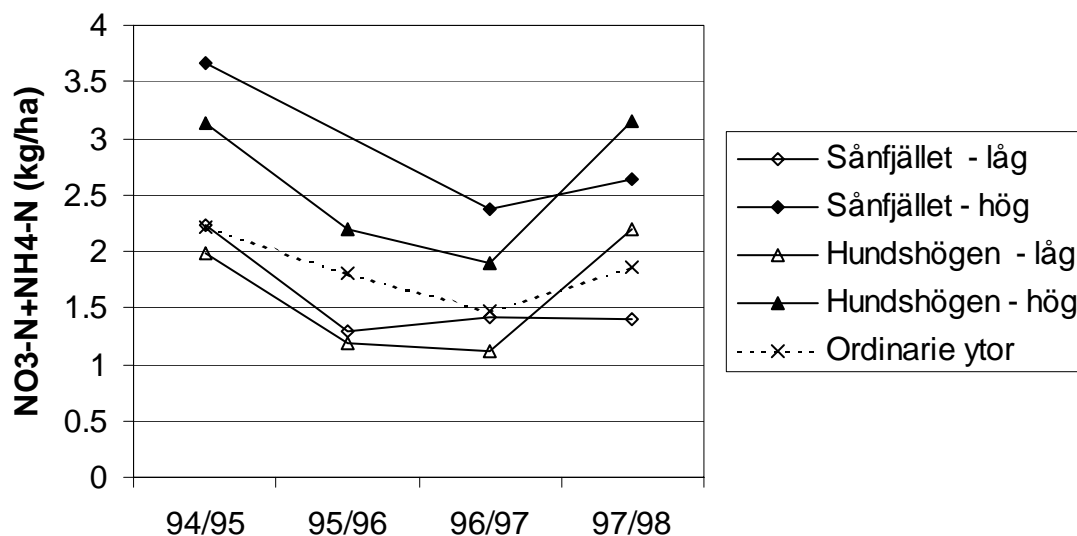
Figur 2. Nederbördens beräknade höjdberoende på Sånfjället. Sambandet är empiriskt framtaget i trakten av Tärnaby.

I figur 3 och 4 presenteras årsvärden av svavel- och kvävedeposition under fyra år från Sånfjället och Hundshögen, i öppna områden på hög och låg höjd. Värdena på hög höjd är beräknade med höjdfunktionen. Svaveldepositionen anges utan den naturliga andel som huvudsakligen kommer från deposition av havssalter.

Som jämförelse finns även medelvärden från tre lokaler (nederbörd på öppet fält) på låg höjd i det inre av Jämtlands- och Västernorrlands län. De ingår i det regionala miljöövervakningsnätet (i denna studie kallade ordinarie ytor), det så kallade Krondroppsnätet⁵.



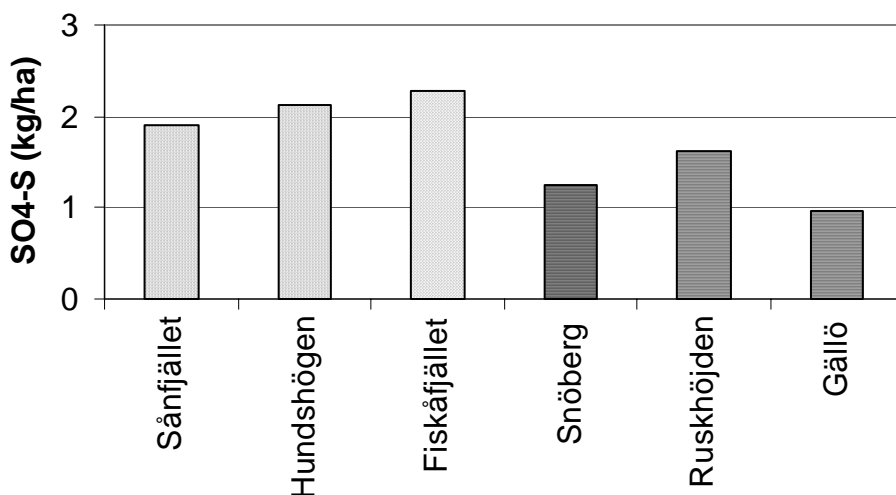
Figur 3. Årssummor (november till oktober) av svaveldeposition (*exklusive havs-saltets bidrag) med nederbörd på Sånfället och Hundshögen på låg och hög höjd (hög höjd är beräknade värden), samt medelvärden från tre ytor i det ordinarie regionala miljöövervakningsnätet Krondroppsnätet.



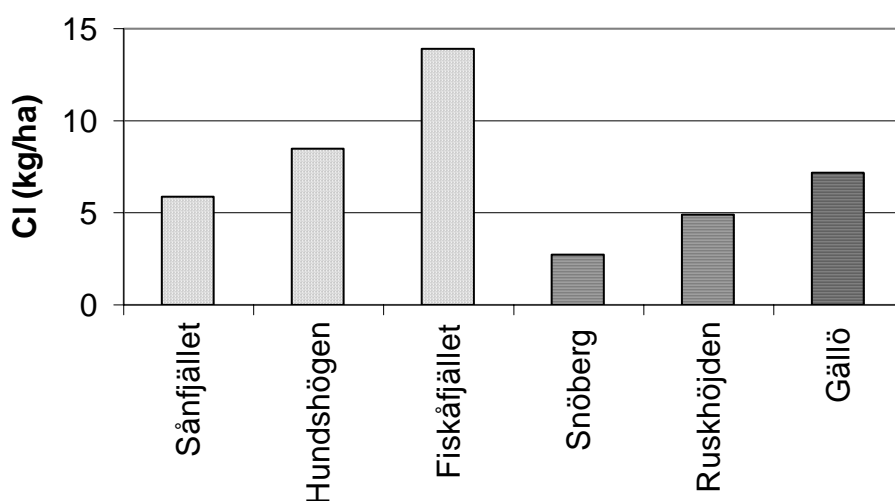
Figur 4. Årssummor (november till oktober) av kvävedeposition på Sånfället och Hundshögen med nederbörd på låg och hög höjd (hög höjd är beräknade värden), samt medelvärden från tre ytor i det ordinarie regionala miljöövervakningsnätet Krondroppsnätet.

Figureorna 3 och 4 visar att årsdepositionen på låg höjd var i samma storleksordning som depositionen i det regionala miljöövervakningsnätet, medan depositionen på hög

höjd var ungefär 0,5-1 kg/ha högre för både svavel och kväve. I figur 5 och 6 jämförs deposition av svavel och klorid i fjällnära skog (beräknad) med deposition i skog på lägre höjder från skogsytor i det ordinarie regionala miljöövervakningsnätet (Krondroppsnätet).

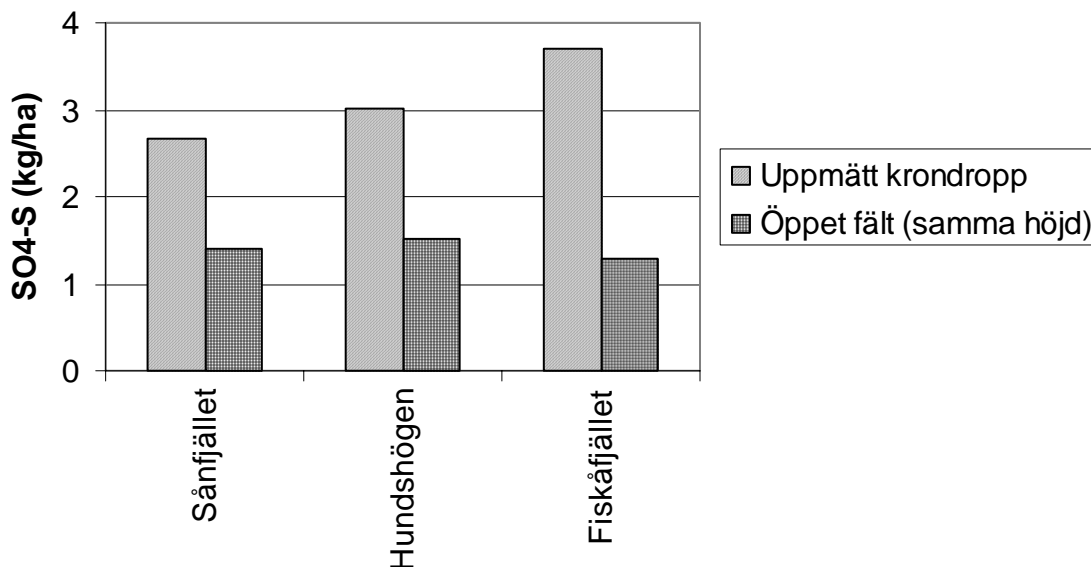


Figur 5. Svaveldeposition (beräknad; exklusive havssaltets bidrag) i fjällnära skog (prickiga staplar) samt i skog på lägre höjd i det ordinarie regionala miljöövervakningsnätet Krondroppsnätet (randiga staplar) under ett år (1997/98).



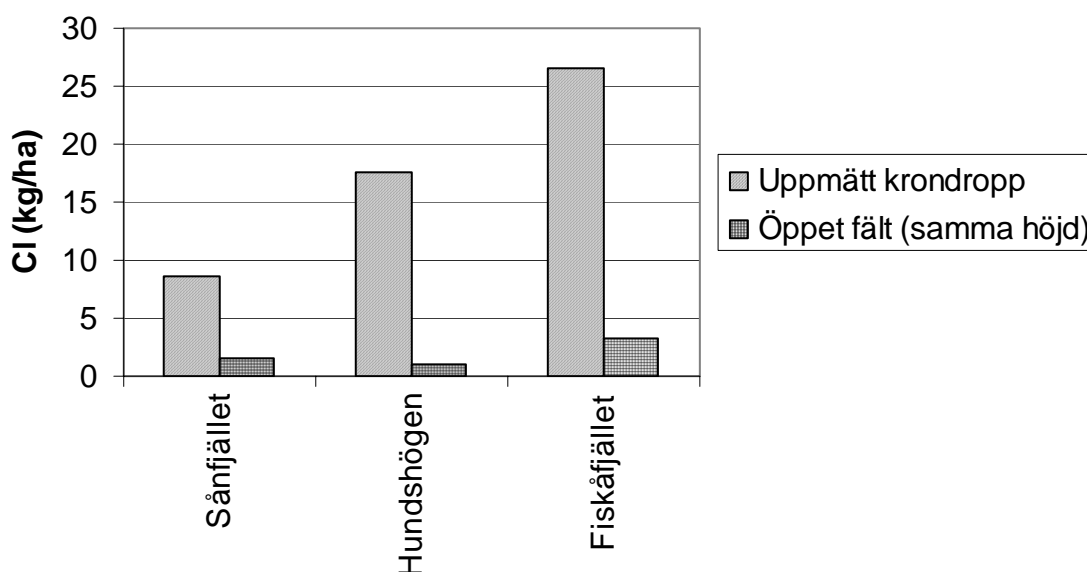
Figur 6. Kloriddeposition (beräknad) i fjällnära skog (prickiga staplar) samt i skog på lägre höjd i det ordinarie regionala miljöövervakningsnätet Krondroppsnätet (randiga staplar) under ett år (1997/98).

Depositionen av klorid var i storleksordningen dubbelt så stor i den fjällnära skogen, vilket delvis kan förklaras med att fjällokalerna ligger närmare Västerhavet än övriga mätstationer. Även svaveldepositionen var avsevärt högre. Detta beror främst på den ökade torr- och dimdepositionen i fjällnära skog samt den högre nederbörden.



Figur 7. Uppmätt svaveldeposition under gran i fjällnära skog jämfört med beräknad deposition på öppet fält på samma höjd under ett år (1997/98).

I figur 7 och 8 ges en uppfattning om torrdepositionens storlek under träden i fjällnära skog. Uppmätt krondropp jämförs med deposition på öppet fält på samma höjd som är uppräknad med hjälp av mätningar på låg höjd och sambandet mellan höjd och nederbörd. Torr- och dimdepositionen var lika stor eller större än våtdepositionen för svavel, och många gånger högre för klorid.



Figur 8. Uppmätt kloriddeposition under gran i fjällnära skog jämfört med beräknad deposition på öppet fält på samma höjd under ett år (1997/98).

Deposition på olika fjäll

Uppmätt deposition på låg höjd och i krondropp

I tabell 2 och 3 nedan presenteras uppmätt vinter-, sommar- och årsdeposition av olika ämnen i nederbörd på de studerade fjällerna på låg höjd samt i krondropp i fjällnära skog.

Trots att halterna av föroreningar ofta var högre i nederbörd och krondropp under vintern var det inte ovanligt att depositionen var störst under sommarperioden i denna undersökning. Det beror på att nederbörden var betydligt högre under sommaren jämfört med vinterperioden under den studerade perioden.

Tabell 2. Uppmätt nederbörd (mm) och medeldeposition (kg/ha) av olika ämnen på "låg höjd" under vintern, sommaren samt under ett helt år. Beräkningarna av medelvärden baseras på olika antal år.

Fjäll	Period*	År	Ned.	H ⁺	SO ₄ -S**	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	Mg	Na	K	Mn
Sånfjället	Helår	4	430	0.05	1.44	0.89	0.73	0.86	0.59	0.14	0.70	0.58	0.04
Skorvfjället	Helår	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hundshögen	Helår	4	484	0.07	1.29	1.02	0.72	0.89	0.63	0.14	0.57	0.43	0.04
Härjångstöten	Helår	2	586	0.06	0.90	2.60	0.62	0.41	0.46	0.23	1.62	0.36	0.32
Mjölkvattensfjället	Helår	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fiskåfjället	Helår	1	724	0.08	1.08	2.97	0.73	0.64	0.54	0.28	2.15	0.47	0.09
Sånfjället	Sommar	4	321	0.03	1.00	0.51	0.42	0.54	0.39	0.10	0.35	0.44	0.03
Skorvfjället	Sommar	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hundshögen	Sommar	4	313	0.03	0.76	0.38	0.37	0.63	0.35	0.09	0.23	0.28	0.02
Härjångstöten	Sommar	2	370	0.03	0.48	0.78	0.28	0.24	0.27	0.09	0.63	0.19	0.29
Mjölkvattensfjället	Sommar	1	392	0.09	0.70	2.74	0.40	0.52	0.61	0.26	1.59	0.31	0.03
Fiskåfjället	Sommar	2	325	0.03	0.60	0.88	0.34	0.42	0.26	0.12	0.75	0.31	0.03
Sånfjället	Vinter	5	111	0.03	0.44	0.40	0.32	0.30	0.20	0.05	0.33	0.14	0.01
Skorvfjället	Vinter	1	175	0.05	0.79	0.40	0.40	0.39	0.47	0.03	0.24	0.06	0.00
Hundshögen	Vinter	5	178	0.04	0.49	0.63	0.35	0.24	0.28	0.06	0.34	0.15	0.01
Härjångstöten	Vinter	2	216	0.03	0.41	1.82	0.34	0.17	0.19	0.15	0.99	0.17	0.02
Mjölkvattensfjället	Vinter	1	283	0.04	0.71	2.50	0.42	0.36	0.25	0.24	1.64	0.12	0.05
Fiskåfjället	Vinter	2	232	0.03	0.41	1.42	0.28	0.22	0.21	0.12	0.76	0.16	0.03

* Till vinter räknas november till maj och sommar juni till oktober.

** Sulfatsvavel exklusive havssaltets bidrag.

Tabell 3 Uppmätt nederbörd (mm) och deposition av olika ämnen (kg/ha) som **krondropp** under vintern, sommaren samt under ett helt år. Vintervärdena är medelvärden från de två vintrarna 1997/98 och 1998/99. Sommarvärdena är från sommaren 1998.

Fjäll	Period*	År	Ned.	H ⁺	SO ₄ -S**	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	Mg	Na	K	Mn
Sånfjället	Helår	1	481	0.10	2.66	8.54	0.20	0.36	3.76	1.33	6.90	16.87	1.30
Hundshögen	Helår	1	383	0.09	3.00	17.63	0.26	0.46	2.99	1.58	10.89	14.04	1.54
Fiskåfjället	Helår	1	673	0.17	3.71	26.49	1.57	0.27	4.08	2.56	16.63	16.20	1.08
Sånfjället	Sommar	1	310	0.05	1.50	5.74	0.01	0.31	2.87	1.01	4.96	14.50	0.84
Hundshögen	Sommar	1	255	0.04	1.31	5.81	0.11	0.40	1.62	0.69	5.99	10.80	0.66
Fiskåfjället	Sommar	1	336	0.05	1.40	4.90	1.28	0.21	1.55	0.89	4.63	10.57	0.45
Sånfjället	Vinter	2	133	0.04	0.90	1.85	0.20	0.06	0.63	0.23	1.18	2.08	0.30
Hundshögen	Vinter	2	139	0.04	1.29	8.07	0.18	0.10	1.02	0.66	3.33	3.16	0.64
Fiskåfjället	Vinter	2	271	0.10	2.03	15.68	0.25	0.06	2.06	1.34	8.20	5.39	0.51

* Till vinter räknas november till maj och sommar juni till oktober

** Sulfatsvavel exklusive havssaltets bidrag.

Beräknad deposition på hög höjd samt i skog

I tabell 4 redovisas de värden från hög höjd som beräknats enligt tidigare beskriven metodik där halter i nederbörd från lägre höjd används tillsammans med uppräknade nederbördsmängder.

Nedfallet av svavel och kväve var högst på Sånfjället och lägst på Härjångstöten. Den relativt låga depositionen på Härjångstöten berodde inte på låg nederbörd utan på lägre halter jämfört med de andra fjällen.

I tabell 5 presenteras beräknade värden på totaldeposition i fjällnära skog, där hänsyn tagits till att den fjällnära skogen är glesare än skog på lägre höjder. Utförandet av beräkningarna beskrivs i metodikavsnittet.

Depositionen av svavel och kväve i skog var relativt likartad på de tre fjällen. Låg nederbörd på Sånfjället under vintern gav en något lägre deposition än på de andra två fjällen.

Tabell 4. Beräknad nederbörd (mm) och medeldeposition (kg/ha) av olika ämnen på "hög höjd" under vintern, sommaren samt under ett helt år. Observera att medelvärdena baseras på olika antal år.

Fjäll	Period*	År	Ned.	H ⁺	SO ₄ -S**	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	Mg	Na	K	Mn
Sånfjället	Helår	3***	720	0.10	2.48	2.15	1.39	1.51	1.07	0.25	1.71	0.94	0.06
Skorvfjället	Helår	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hundshögen	Helår	4	775	0.11	2.12	2.14	1.23	1.37	1.05	0.25	1.19	0.69	0.05
Härjångstöten	Helår	2	881	0.09	1.38	4.33	1.00	0.62	0.68	0.37	2.56	0.59	0.47
Mjölkvattensfjället	Helår	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fiskåfjället	Helår	1	1111	0.13	1.93	4.47	1.27	1.14	0.88	0.43	3.26	0.80	0.13
Sånfjället	Sommar	3***	448	0.04	1.45	0.79	0.60	0.82	0.51	0.13	0.52	0.58	0.04
Skorvfjället	Sommar	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hundshögen	Sommar	4	434	0.04	1.09	0.55	0.54	0.88	0.49	0.12	0.32	0.38	0.03
Härjångstöten	Sommar	2	493	0.03	0.66	1.10	0.39	0.32	0.36	0.12	0.80	0.29	0.43
Mjölkvattensfjället	Sommar	1	519	0.10	1.12	3.45	0.62	0.90	0.96	0.33	2.02	0.45	0.04
Fiskåfjället	Sommar	2	486	0.05	1.05	1.34	0.55	0.75	0.43	0.18	1.14	0.49	0.04
Sånfjället	Vinter	4***	273	0.07	1.01	1.32	0.82	0.65	0.54	0.12	1.08	0.36	0.02
Skorvfjället	Vinter	1	251	0.07	1.15	0.64	0.60	0.56	0.67	0.05	0.39	0.09	0.00
Hundshögen	Vinter	5	348	0.07	0.94	1.52	0.67	0.44	0.55	0.14	0.82	0.29	0.03
Härjångstöten	Vinter	2	388	0.06	0.72	3.23	0.61	0.29	0.33	0.25	1.75	0.29	0.04
Mjölkvattensfjället	Vinter	1	461	0.07	1.18	4.07	0.71	0.60	0.43	0.37	2.63	0.22	0.08
Fiskåfjället	Vinter	2	458	0.06	0.88	2.54	0.61	0.48	0.44	0.22	1.41	0.35	0.06

* Till vinter räknas november till maj och sommar juni till oktober.

** Sulfatsvavel exklusive havssaltets bidrag.

*** Det hydrologiska året 1995/96 är inte medräknat eftersom mätningarna under två månader uppvisade orimligt låg nederbörd och höga halter.

Tabell 5. Beräknad nederbörd (mm) och deposition av olika ämnen (kg/ha) i fjällnära skog under vintern, sommaren samt under hela perioden november till oktober. Vintervärdena är medelvärden från de två vintrarna 1997/98 och 1998/99. Sommarvärdena är från sommaren 1998.

Fjäll	Period*	År	Ned.	H ⁺	SO ₄ -S**	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	Mg	Na	K	Mn
Sånfjället	Helår	1	584	0.07	1.91	5.88	1.07	1.01	1.24	0.49	3.81	1.89	0.12
Hundshögen	Helår	1	591	0.11	2.12	8.48	1.17	1.68	0.83	0.70	4.78	1.00	0.08
Fiskåfjället	Helår	1	764	0.15	2.27	13.97	1.15	0.92	1.12	1.02	8.11	1.01	0.15
Sånfjället	Sommar	1	443	0.03	1.11	4.03	0.54	0.62	0.78	0.40	2.42	1.29	0.08
Hundshögen	Sommar	1	393	0.04	0.96	4.57	0.50	1.22	0.52	0.40	2.60	0.49	0.05
Fiskåfjället	Sommar	1	401	0.07	0.90	3.77	0.75	0.43	0.71	0.30	2.50	0.56	0.09
Sånfjället	Vinter	1	141	0.04	0.80	1.85	0.54	0.40	0.44	0.12	1.39	0.50	0.03
Hundshögen	Vinter	1	198	0.08	1.16	3.90	0.66	0.46	0.33	0.30	2.18	0.54	0.03
Fiskåfjället	Vinter	1	363	0.08	1.37	10.19	0.57	0.49	0.49	0.71	5.61	0.48	0.07

* Till vinter räknas november till maj och sommar juni till oktober.

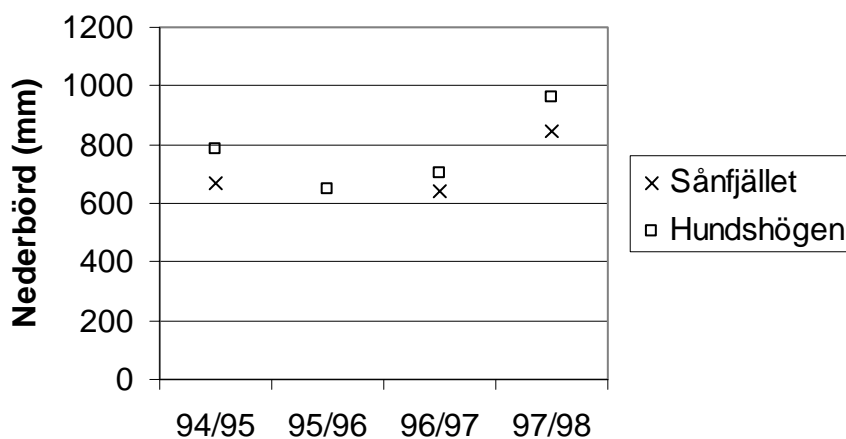
** Sulfatsvavel exklusive havssaltets bidrag.

Depositionens variation över tiden

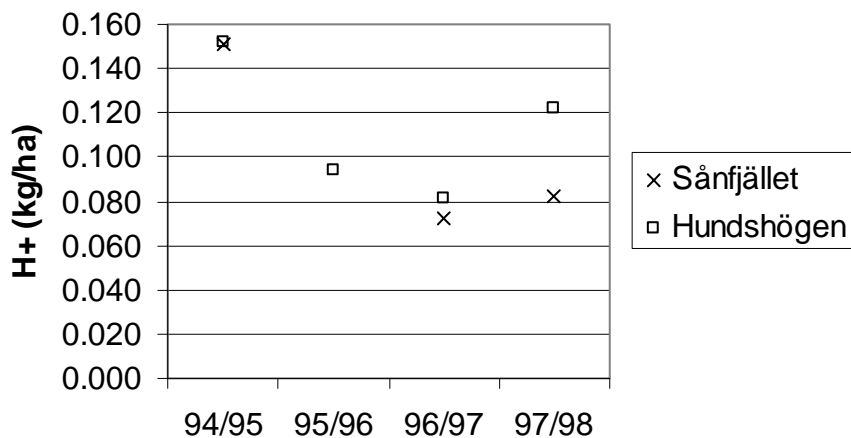
Mellanårsvariation

I figur 9 till 16 visas beräknad nederbörd samt årsdeposition av olika ämnen under olika år på Sånfjället och Hundshögen, som är de fjäll med längst mätperiod. Perioden november till oktober har använts för årssummeringarna. Under den korta perioden (fyra år) som mätningar pågått, var det främst vädermässiga skillnader som gav upphov till skillnader i deposition. Variationer i nederbörd samt skilda vindförhållanden ledde till en viss variation. Eventuella förändringar i halter till följd av minskade utsläpp under perioden går dock inte att påvisa.

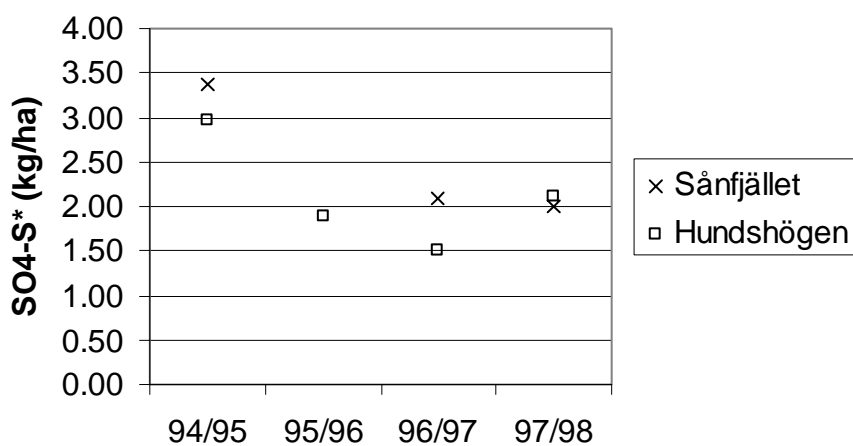
Alla diagram utom de för klorid och magnesium uppvisade ett mönster som liknar det för nederbörd, med högre värden det första året (1994/95) och det sista (1997/98). Detta visar på nederbördsmängdens betydelse för depositionens storlek. Skillnaden mellan åren är dock olika för olika ämnen. Att depositionen av klorid och magnesium inte följde nederbördsmängden beror på att halten har större betydelse än nederbörden för variationer mellan åren. Väderepisoder då havssalt blåser in över land kan leda till kraftigt förhöjda halter av dessa ämnen i nederbörden.



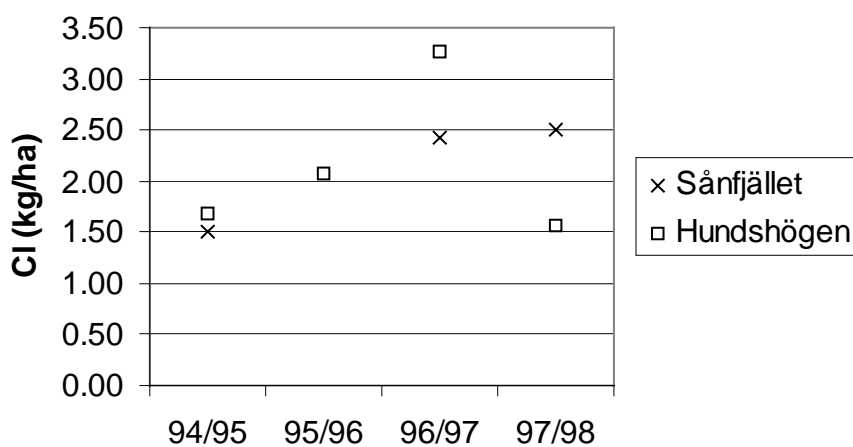
Figur 9 Beräknad årsnederbörd (november till oktober) på toppen av Sånfjället och Hundshögen.



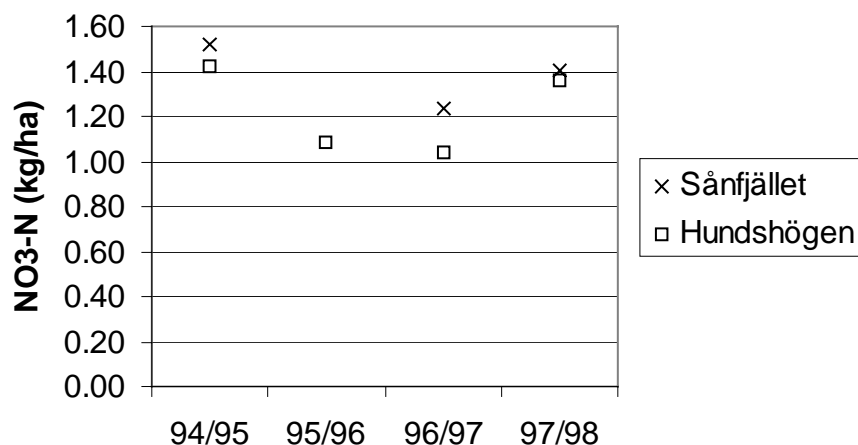
Figur 10. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av vätejoner på toppen av Sånfjället och Hundshögen.



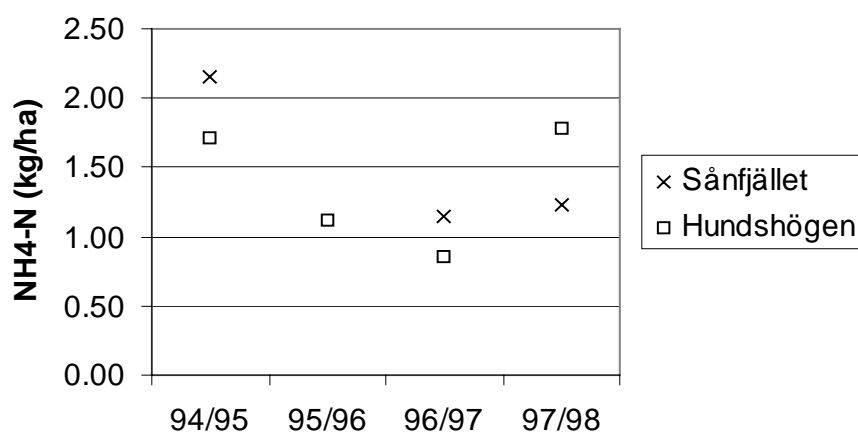
Figur 11. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av sulfatsvavel (*exklusive havssaltets bidrag) med nederbörd på toppen av Sånfjället och Hundshögen.



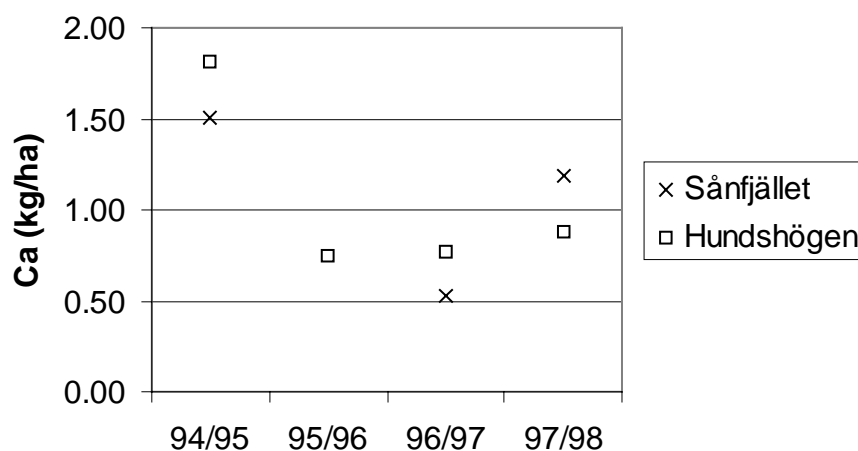
Figur 12. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av klorid med nederbörd på toppen av Sånfjället och Hundshögen.



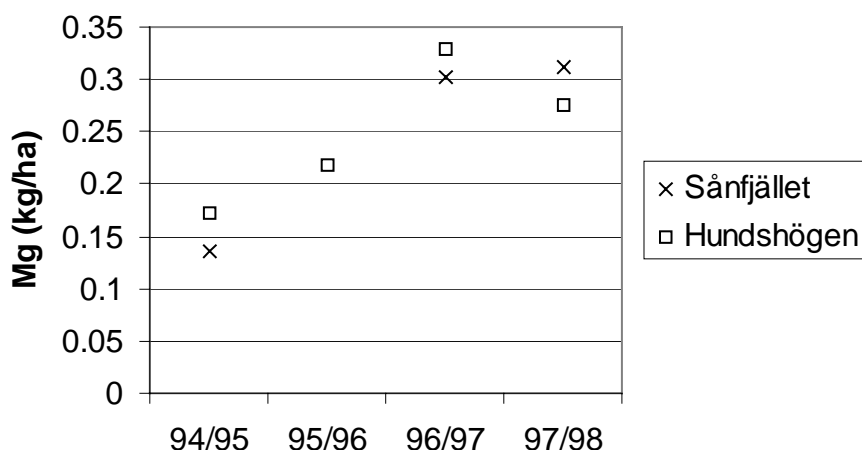
Figur 13. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av nitratkväve med nederbörd på toppen av Sånfjället och Hundshögen.



Figur 14. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av ammoniumkväve med nederbörd på toppen av Sånfjället och Hundshögen.



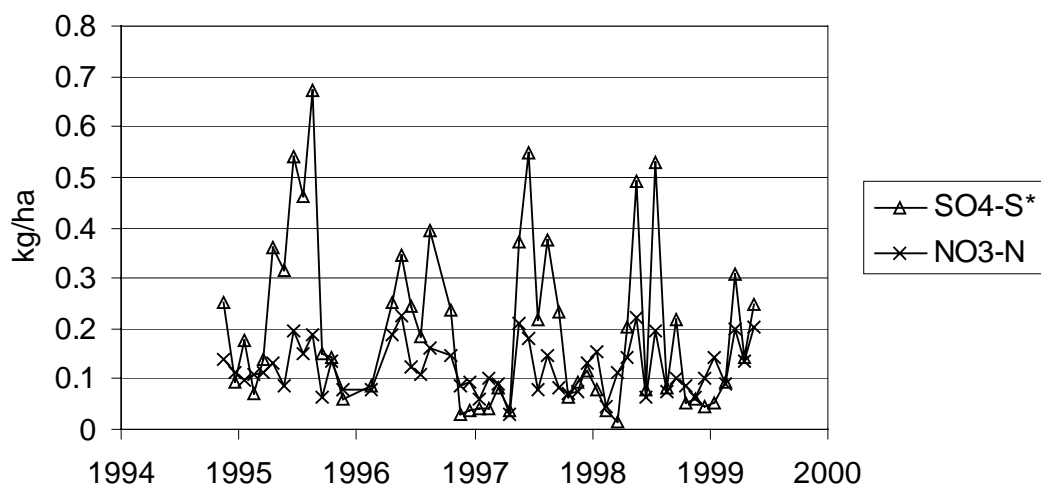
Figur 15. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av kalcium på med nederbörd toppen av Sånfjället och Hundshögen.



Figur 16. Beräknad årsdeposition (november till oktober) av magnesium med nederbörd på toppen av Sånfjället och Hundshögen.

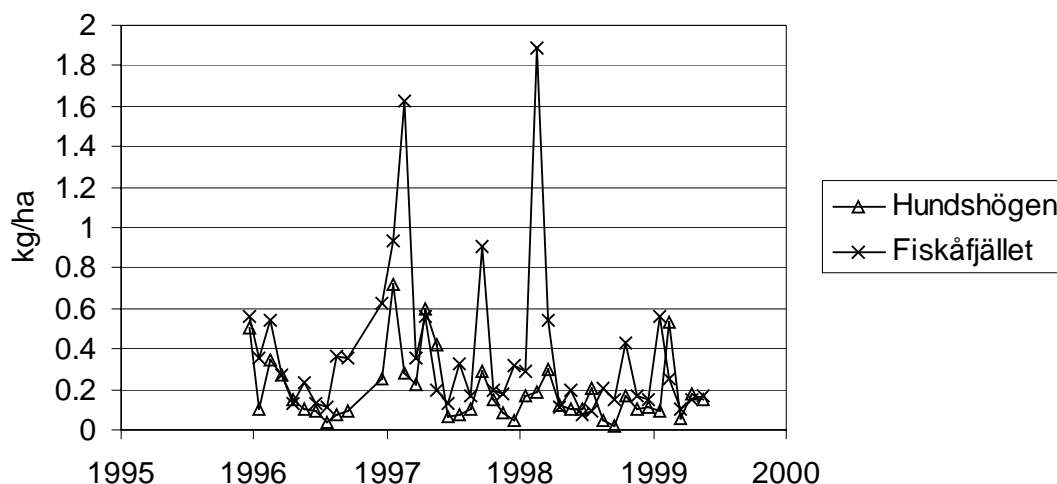
Variation under året

Den beräknade depositionen på hög höjd på kalfjället varierade mycket under året. För en del ämnen, till exempel svavel och kväve, följde årstidsvariationen ett tydligt mönster, med högre deposition på sommaren än på vintern. I figur 17 visas depositionen på toppen av Sånfjället som ett exempel. Mönstret på de andra fjällen var i stora drag det samma. Det är främst årstidsvariationen av nederbörd som gav upphov till skillnaderna (se även appendix, figur 7).



Figur 17. Beräknad deposition per månad av sulfatsvavel (*exklusive havssaltets bidrag) och nitratkväve med nederbörd på toppen av Sånfjället.

För andra ämnen, till exempel klorid och vätejoner, fanns inget tydligt mönster. Figur 18 visar kloriddepositionen på toppen av Hundshögen och Fiskåfjället. Här kan inget motsvarande årstidsmönster skönjas. Dessutom var skillnaden mellan de båda fjällen stor, vilket sannolikt har att göra med avståndet till havet. Avståndet är mindre på Fiskåfjället, vilket gör att kloriddepositionen var hög vissa månader.



Figur 18. Beräknad deposition per månad av klorid med nederbörd på toppen av Hundshögen och Fiskåfjället.

Slutsatser

Mätningarna har visat att nederbördskemiska undersökningar på kalfjället medför betydande osäkerheter på grund av hård vind och andra väderförhållanden som hög dimfrekvens. Det gör att depositions­mätningarna både kan under- och överskatta belastningen av luftföroreningar på hög höjd. Mätningarna med snösäck på kalfjället kan dock indikera månader där risken för avsättningar i form av förorenad dimma har varit speciellt stor. Mätosäkerheten beskrivs närmare i appendix. Beskrivningen av de­positionen måste baseras på en kombination av uppmätta och beräknade värden för att kompensera för uppenbara mätfel, vilket beskrivs i metodikavsnittet.

Kvantifieringen av de­positionen på låg höjd (som är relativt hög jämfört med andra nederbördskemiska mätningar) samt deposition i form av kron­dropp baseras enbart på uppmätta värden i denna studie. De­positionen på hög höjd baseras på beräknade värden och de­positionen i fjällnära skog på en kombination av uppmätta och beräknade värden. Underlaget för beräkningar och slutsatserna finns i både huvudrapporten och appendix.

Den högsta depositionen av luftföroreningar under perioden 1995 till 1999 uppmättes under granar vid trädgränsen. Träden tar emot både våtdeposition, i form av nederbördens föroreningar, samt torrdeposition, främst föroreningar i molndimma.

Generellt sett ökar nederbörden med höjden. Det gör att den beräknade depositionen på kalfjället var högre än på öppna områden på lägre höjd även om halterna av föroreningar i snö och regn inte var högre.

Under den korta period (fyra år) som mätningar pågätt, var det främst vädermässiga skillnader som gav upphov till skillnader i deposition mellan åren. Variationer i nederbörd samt skilda vindförhållanden leder till en viss variation. Nederbördsmängden i fjällnära skog, uppmätt som krondropp, samvarierade i ganska hög grad mellan fjällen och även med närliggande stationer i mätprogram i skogsytter utanför fjällregionen. Även svavelhalten samvarierade, men halten var högre i den fjällnära skogen än i skog på lägre höjd, vilket troligen beror på en större mängd dimdeposition.

Det var över lag högre halter av luftföroreningar i nederbörd och krondropp på vinterhalvåret än på sommarhalvåret, 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. I de flesta fall var halterna av luftföroreningar högst i krondropp i fjällnära skog, jämfört med nederbörd på öppna ytor.

De uppmätta och beräknade årliga depositionerna av svavel och kväve i fjällnära skog och på kalfjället i Jämtland var 50 till 100 % högre än i områden utanför fjällkedjan under den studerade perioden. Mätningarna kunde inte visa någon gradient på de olika fjällen från söder till norr i länet. Nivån på depositionen är måttlig jämfört med områden i södra Sverige, men fjällområdena är i många fall mycket känsliga för tillförsel av försurande luftföroreningar. Det kan göra att även måttliga förhöjningar kan leda till att kritiska belastningsgränser överskrids.

Referenser

¹ Westling O. & Ferm M. 1997. Deposition av luftföroreningar på hög höjd i svenska fjällen. Projekttrapport 1997. Länsstyrelsen i Västerbotten. Umeå

² Christer Persson SMHI, muntligt meddelande

³ Sveriges Nationalatlas. 1995. Klimat, sjöar och vattendrag. SNA förlag.

⁴ Westling, O., Hultberg, H. & Malm, G., 1995. Total deposition and tree canopy internal circulation of nutrients in a strong acid gradient in Sweden, as reflected by throughfall fluxes. L.O. Nilsson, R.F. Huttel & U.T. Johansson (red.), Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 639-647.

⁵ Akselsson C. 2000. Övervakning av luftföroreningar i norra Sverige. IVL B 1378. Aneboda.

Appendix. Utvärdering av osäkerheter i mätningarna

Inledning

Depositionsförhållandena på hög höjd skiljer sig från de på låg höjd på olika sätt. Utgångspunkten för denna utvärdering var att skillnader i uppmätt deposition mellan låg och hög höjd kan bero dels på verkliga skillnader i deposition, dels på provtagningsartefakter. Det är dock osäkert hur stor andel som är provtagningsartefakter, om de är försumbara eller om felet är så stora att mätningarna på hög höjd inte är användbara. Denna utvärdering diskuterar osäkerheterna på de olika mätstationerna. Lokalerna på så kallad "låg höjd" ligger även de på relativt höga höjder, vilket gör att även de i viss mån är utsatta för bland annat en större vindpåverkan än andra mätstationer runt om i Sverige. Mätningarna i fjällnära skog kom till efter erfarenheterna från undersökningar på Fulufjället i nordvästra Dalarna som visade att depositionen var betydligt högre i trädgränsen än på kalfjället¹. Krondroppsmätningar utnyttjar träden som provtagare av både våt och torr deposition och fungerar därför på ett annat sätt än nederbördskemiska mätningar på ett öppet fält.

Två faktiska skillnader i depositionsförhållanden mellan låg och hög höjd är att:

- Molnbasen oftare når ner till marken på hög höjd, vilket leder till högre dimdeposition.
- Nederbörden generellt sett ökar med höjden, vilket innebär en högre deposition på hög höjd.

Två svårigheter på kalfjället, som har med själva mätningarna att göra, och som kan bidra till provtagningsartefakter är:

- Det blåser mer på hög höjd, vilket innebär svårigheter vid mätning av nederbörds mängd och nederbörden, särskilt snö, tenderar att blåsa förbi mätaren.
- Markytan är ofta relativt jämn och kal, i synnerhet på vintern när marken är snötäckt, vilket innebär att ett uppstickande föremål, som en nederbördsprovtagare, inte är representativ för omgivningen, då de samlar på sig mer dim- och torrdeposition än omgivande mark.

Bedömningen av osäkerheterna i mätningarna avgör vilka data som kan användas med eller utan olika korrigeringar. Variationer i tid och rum samt skillnader mellan olika höjder från flera års månatliga mätningar från de sex fjällen, på toppen (hög höjd), på lägre höjd, samt på tre fjäll även i fjällnära skog, utgör underlag för utvärderingen.

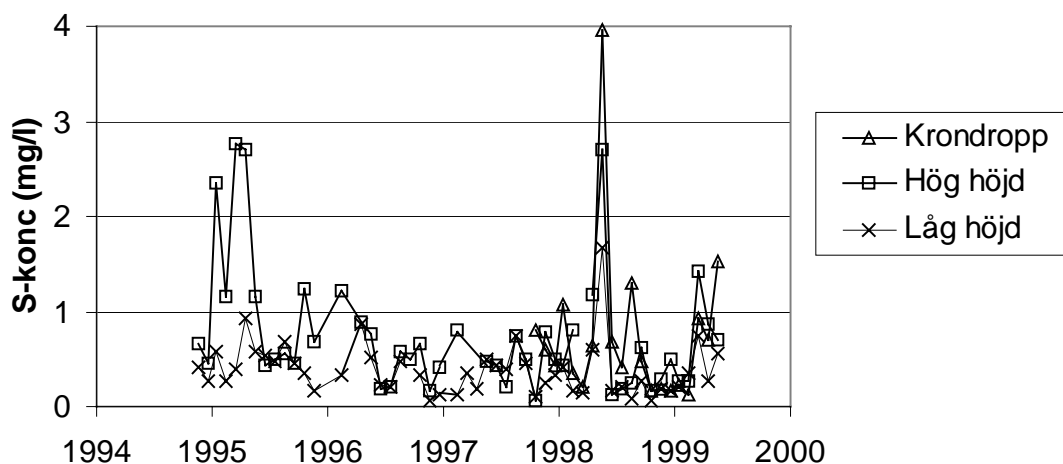
I avsnittet som följer kommer nederbörden och svavelhalten att utvärderas med avseende på tidsutveckling, årstidsvariationer, samvariation mellan olika fjäll samt mellan fjällen och andra mätningar i närheten. Svavelhalten har valts för att det är en viktig förorening som dessutom är förhållandevis robust att mäta jämfört med till exempel

kväve, som interncirkuleras i träden, och klorid som under vissa väderleksepisoder kan öka extremt mycket. De mätvärden som redovisas i appendix är uteslutande de uppmätta, till skillnad mot de delvis beräknade värdena i den tidigare resultatredovisningen.

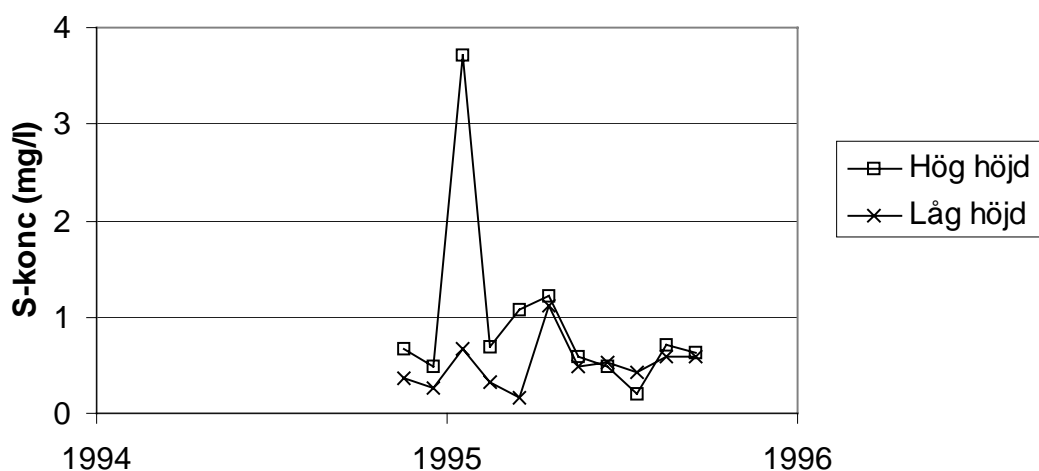
Tidsutveckling på lokalerna

Svavelhalt

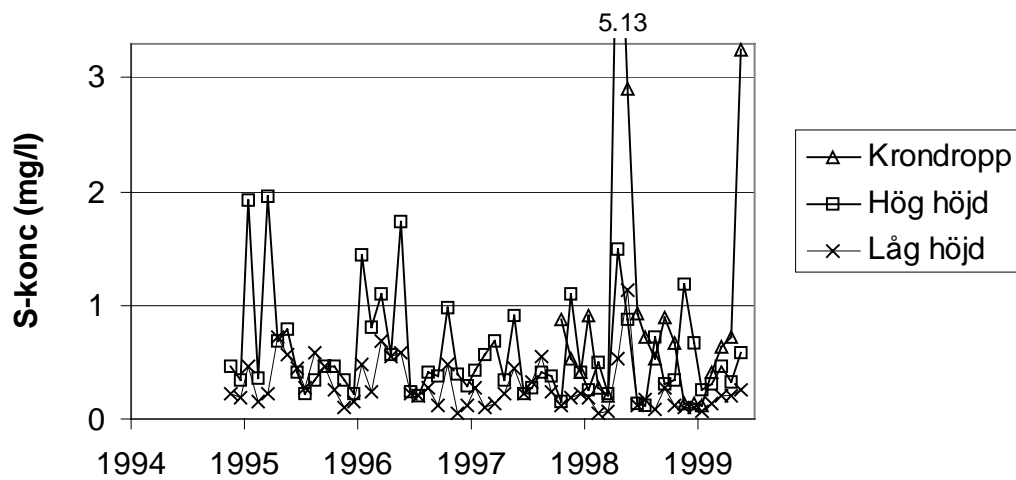
I figur 1 till 6 redovisas tidsutvecklingen av svavelhalten på de sex olika fjällen. Halten på låg och hög höjd samvarierade i viss mån, men halterna var över lag högre på hög höjd. De största avvikelserna fanns under vintermånaderna, då halten ofta var avsevärt högre på hög än på låg höjd. Även för halten i krondropp fanns en viss samvariation med halten i nederbörd på hög och låg höjd. Krondroppshalten var dock den mest avvikande. Halten var generellt sett högre, framför allt de maximala halterna.



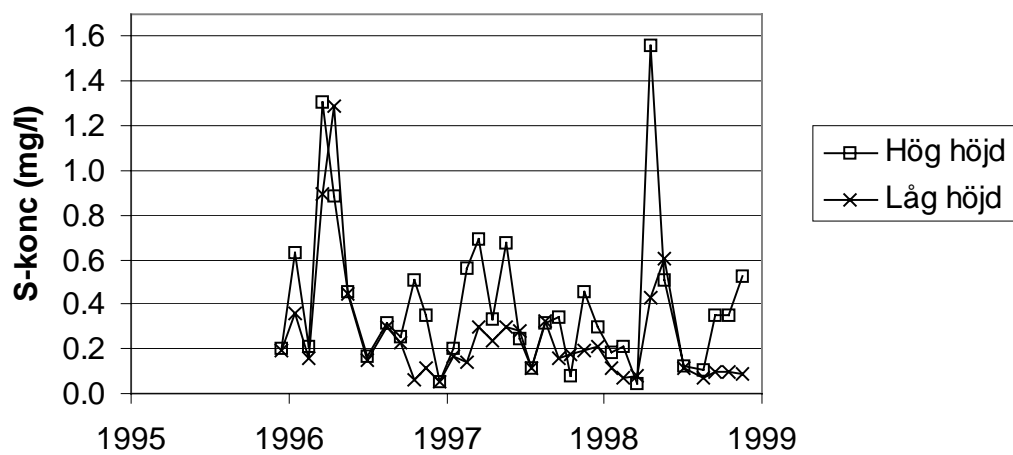
Figur 1. Uppmått svavelhalt på Sånfjället (Z910), månadsvärden.



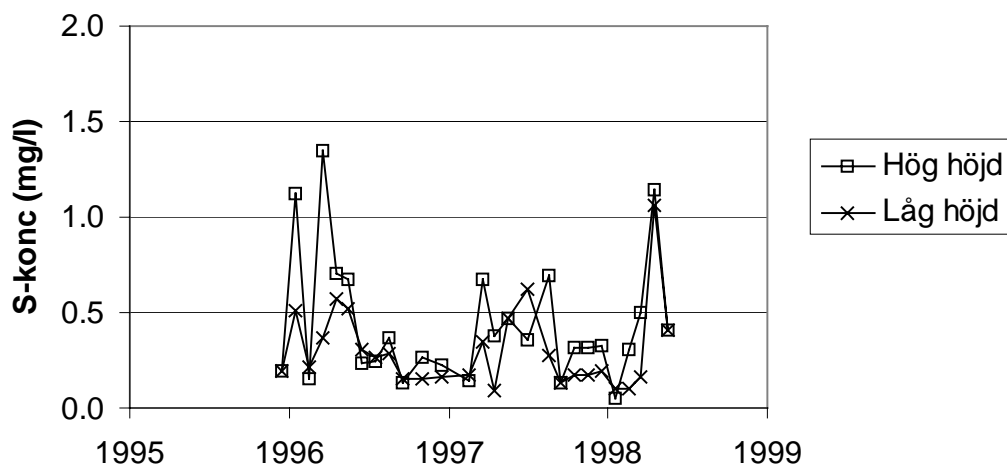
Figur 2. Uppmått svavelhalt i nederbörd på Skorvfjället (Z920).



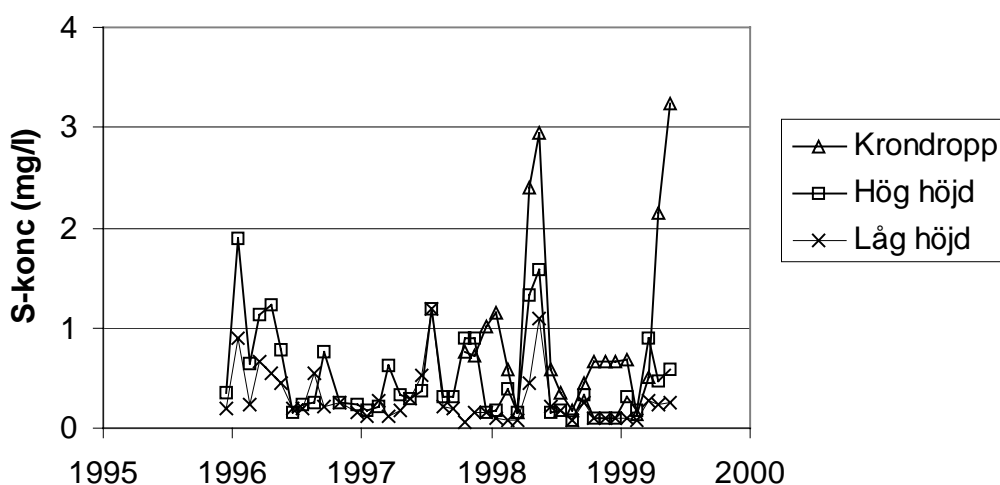
Figur 3. Uppmätt svavelhalt på Hundshögen (Z930), månadsvärden.



Figur 4. Uppmätt svavelhalt på Härjängstöten (Z940), månadsvärden.



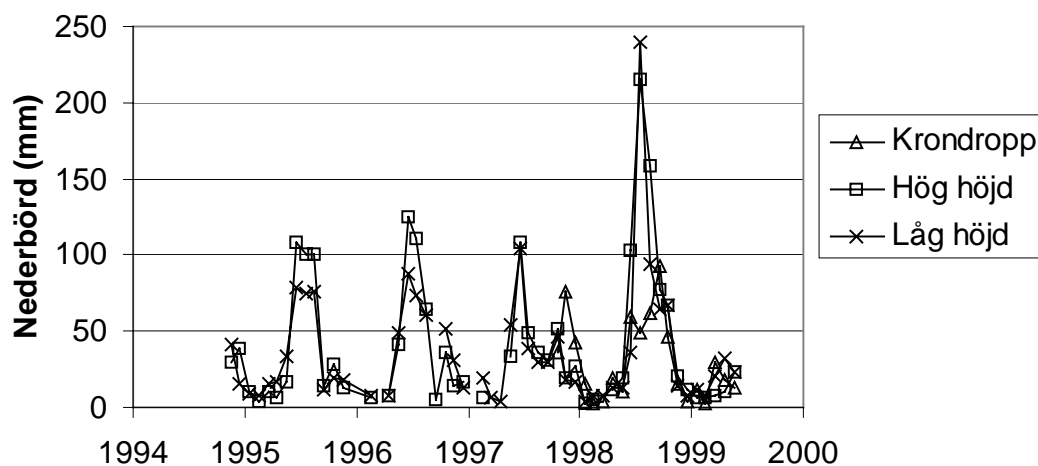
Figur 5. Uppmätt svavelhalt på Mjølkvattensfjället (Z950), månadsvärden.



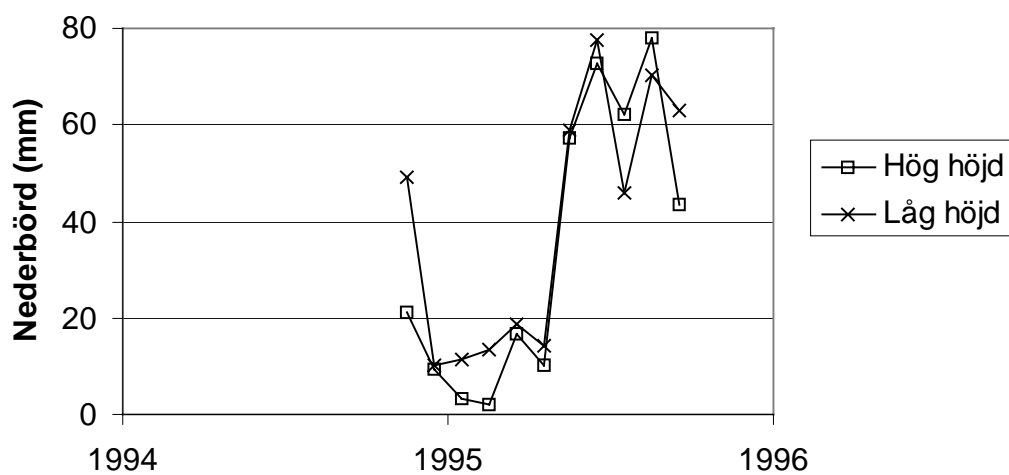
Figur 6. Uppmätt svavelhalt på Fiskåfjället (Z960), månadsvärden.

Nederbörd

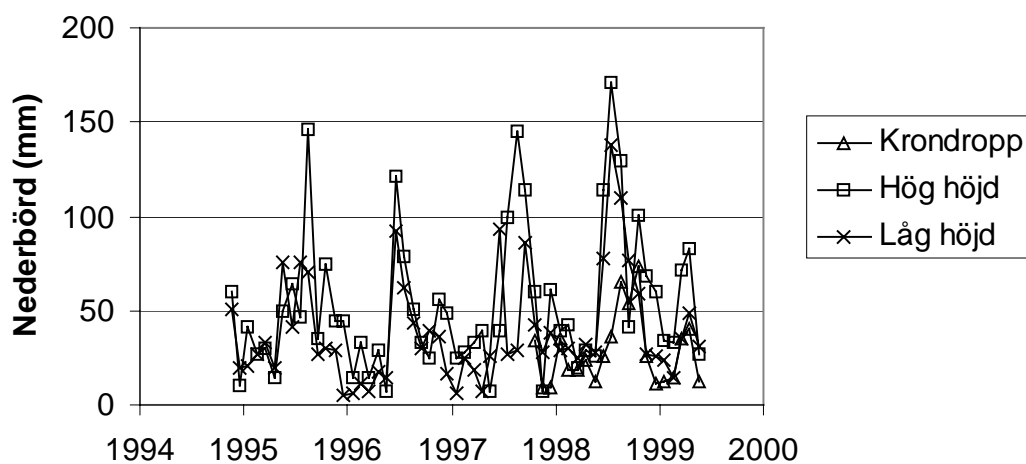
I figur 7 till 12 visas nederbörden under mätperioden på samtliga sex fjäll. Nederbörden på låg och hög höjd samvarierade i hög grad på de olika fjällen. En skillnad är att nederbörden under sommarmånaderna ofta var högre på hög höjd. Det fanns även en viss samvariation med kron dropp men kron droppet var generellt sett lägre, framför allt på sommaren, på grund av avdunstning i trädkronan.



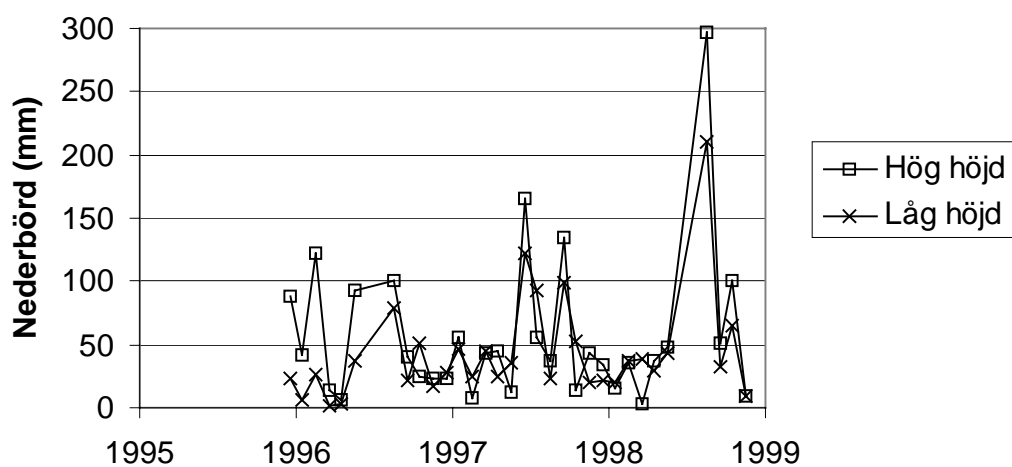
Figur 7 Uppmätt nederbördsmängd på Sånfjället (Z910), månadsvärden.



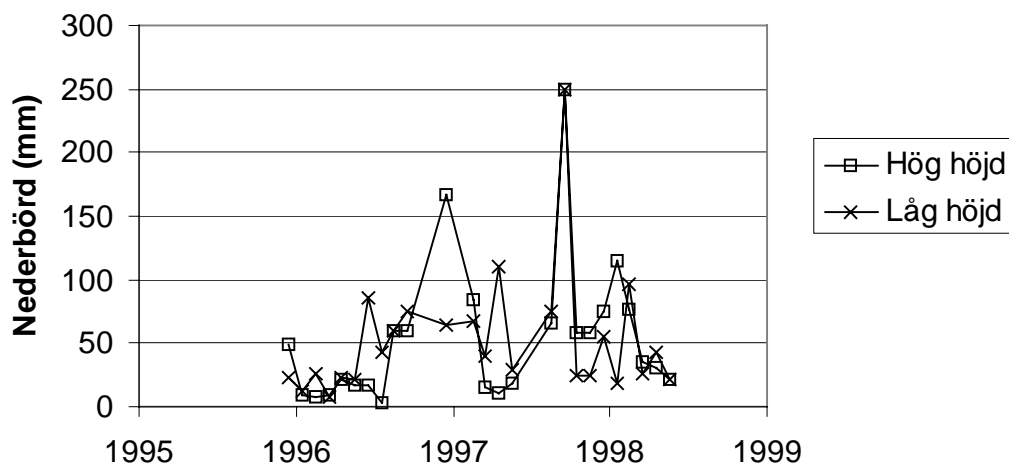
Figur 8 Uppmätt nederbördsmängd på Skorvfjället (Z920), månadsvärden.



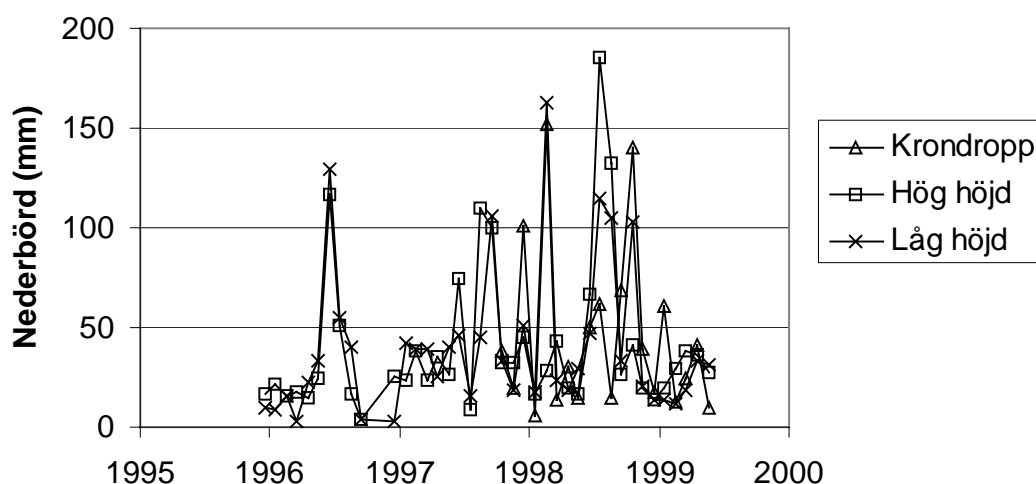
Figur 9. Uppmätt nederbördsmängd på Hundshögen (Z930), månadsvärden.



Figur 10. Uppmätt nederbördsmängd på Härjängstöten (Z940), månadsvärden.



Figur 11. Uppmätt nederbördsmängd på Mjølkvattensfjället (Z950), månadsvärden.

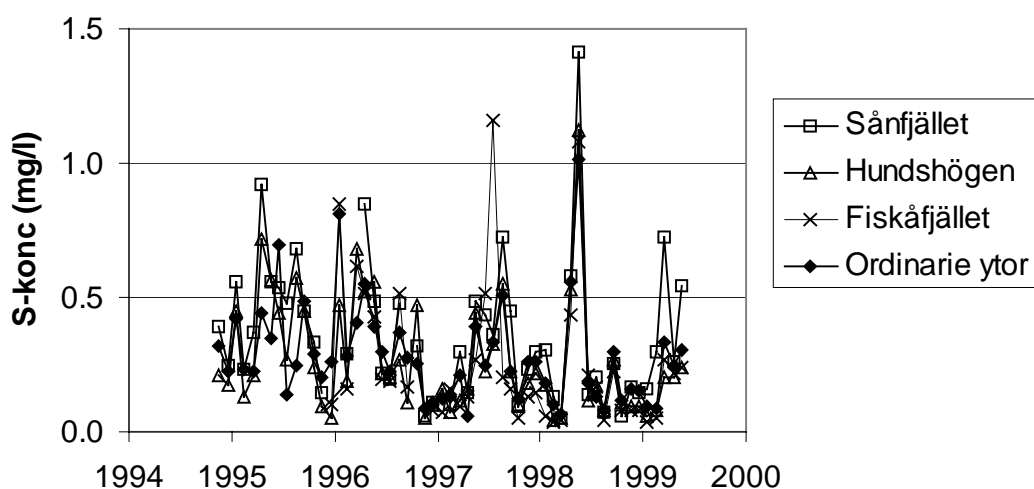


Figur 12. Uppmätt nederbördsmängd på Fiskåfjället (Z960), månadsvärden.

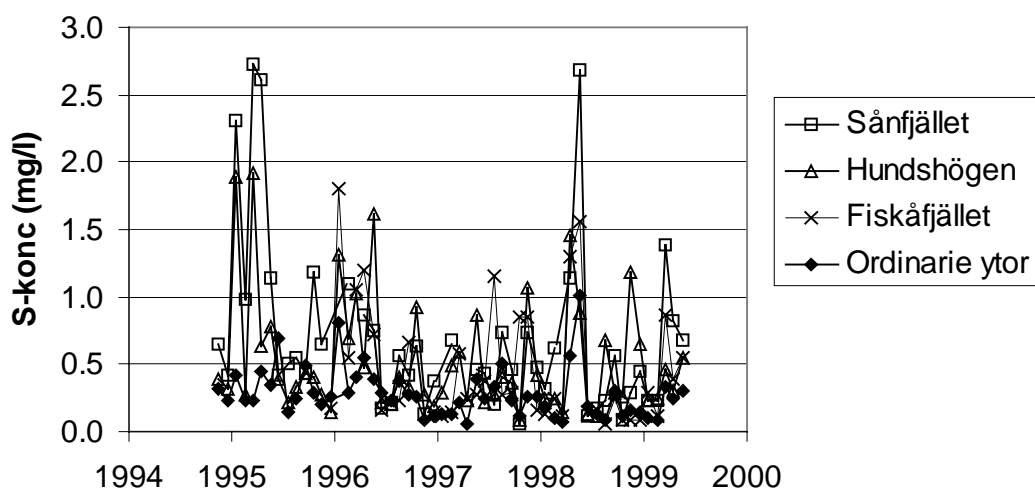
Jämförelser mellan olika fjäll

I figurerna 13-18 jämförs olika fjäll med avseende på svavelhalt och nederbörd på låg och hög höjd samt i fjällnära skog. Dessutom jämförs fjällerna med närliggande stationer från andra miljöövervakningsprogram (de ordinarie stationerna Snöberg, Ruskhöjden och Gällö). Dessa stationer ligger på lägre höjder än låghöjdsmätningarna på fjällerna i denna studie. Resultaten kan ge en uppfattning av hur representativa mätningarna är för större områden.

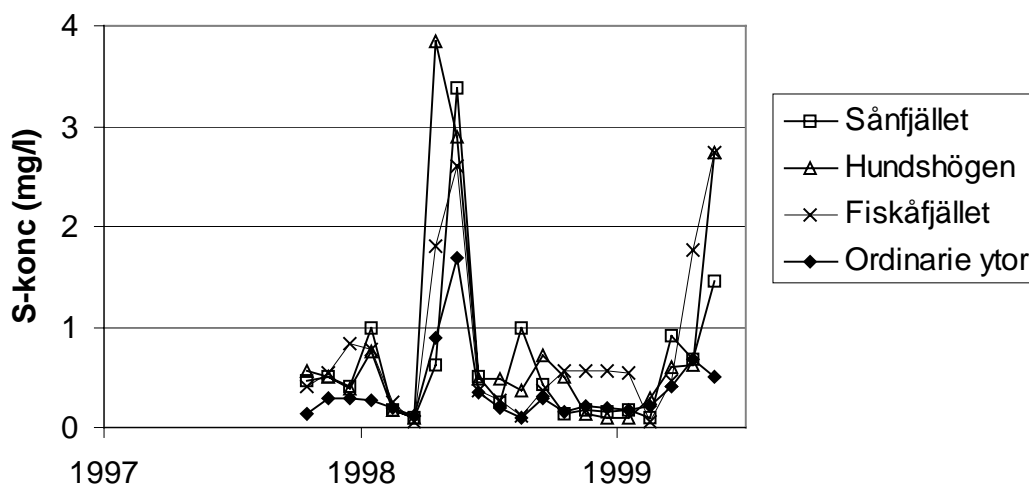
Svavelhalt



Figur 13. Uppmätt svavelhalt i nederbörd på låg höjd på Sånfjället, Hundshögen och Fiskåfjället, samt medelvärde från åtta ytor i de ordinarie nationella och regionala miljöövervakningsnätet, månadsvärden.



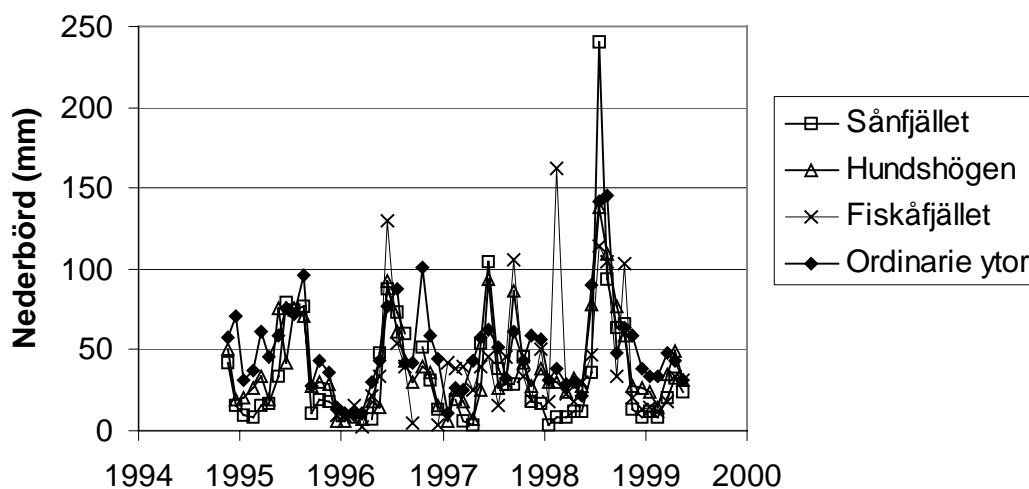
Figur 14. Uppmätt svavelhalt i nederbörd på hög höjd på Sånfjället, Hundshögen och Fiskåfjället, samt medelvärde från åtta ytor i de ordinarie nationella och regionala miljöövervakningsnäten, månadsvärden.



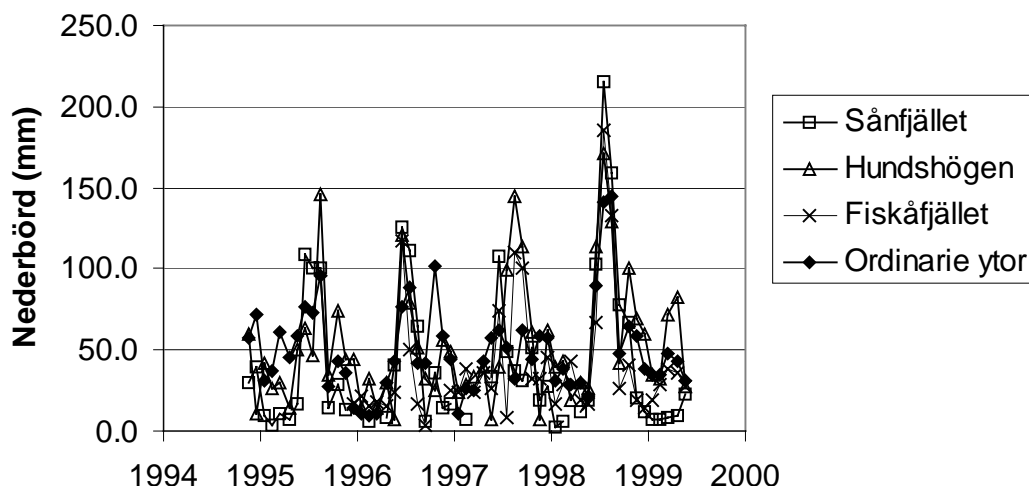
Figur 15. Uppmätt svavelhalt i kronddropp i fjällnära skog på Sånfjället, Hundshögen och Fiskåfjället, samt i skog på lägre nivåer i det ordinarie miljöövervakningsnätet i skog, månadsvärden.

Svavelhalten samvarierade i hög utsträckning mellan olika fjäll på låg höjd. Tidsutvecklingen var ungefär den samma som i de ordinarie skogsytorna. På hög höjd var det däremot stora skillnader mellan de olika fjällen, och tidsutvecklingen avvek mycket från mätningarna i de ordinarie miljöövervakningsytorna. Tidsserien för kronddropp är ganska kort, men visar att de olika halten samvarierar mellan de olika fjällen och även med ytor i det ordinarie miljöövervakningsnätet för kronddropp. En skillnad är att halterna i kronddropp i fjällnära skog var högre, speciellt under månader med höga halter.

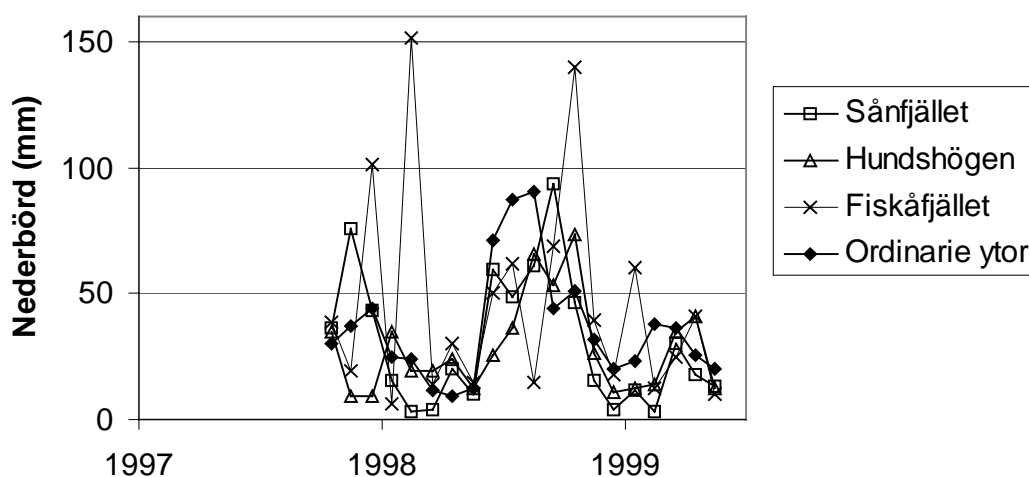
Nederbörd



Figur 16. Nederbördsmängd på låg höjd på Sånfjället, Hundshögen och Fiskåfjället, samt medelvärde från åtta ytor i de ordinarie nationella och regionala miljöövervakningsnätet, månadsvärden.



Figur 17. Nederbörds­mängd på hög höjd på Sånfjället, Hundshögen och Fiskåfjället, samt medelvärde från åtta ytor i de ordinarie nationella och regionala miljö­övervaknings­nätet, månads­värden.



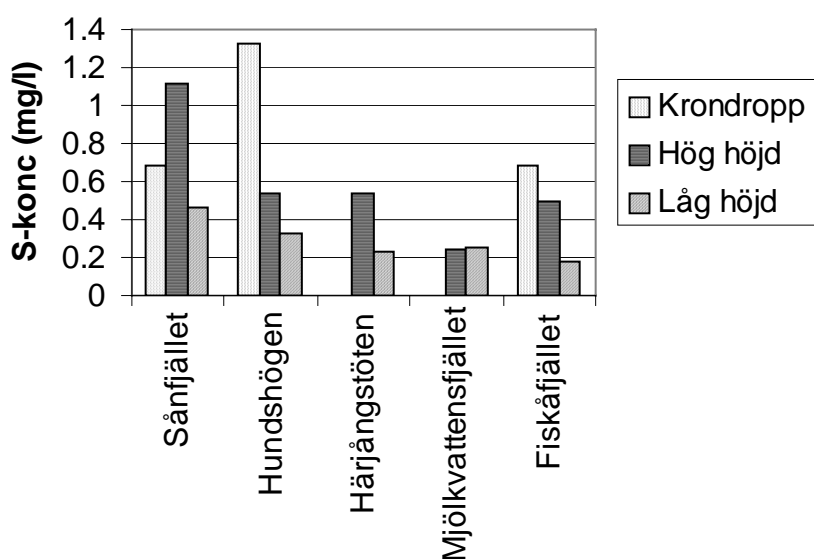
Figur 18. Krondropps­mängd i fjäll­nära skog på Sånfjället, Hundshögen och Fiskåfjället, samt i skog på lägre nivåer på Snöberg, Ruskhöjden och Gällö som ingår i ett miljö­övervaknings­nät på regional nivå, månads­värden.

Nederbörden på de olika fjällen samt på närliggande ytor i de ordinarie miljö­övervaknings­nätet samvarierade på låg höjd. Även på hög höjd fanns en viss samvariation, men avvikelserna var mycket större. Nederbörden i fjäll­nära skog samvarierade på Sånfjället, Hundshögen och närliggande ytor i det ordinarie övervaknings­nätet i skog, men Fiskåfjället skilde sig från dessa, med större svängningar mellan månaderna.

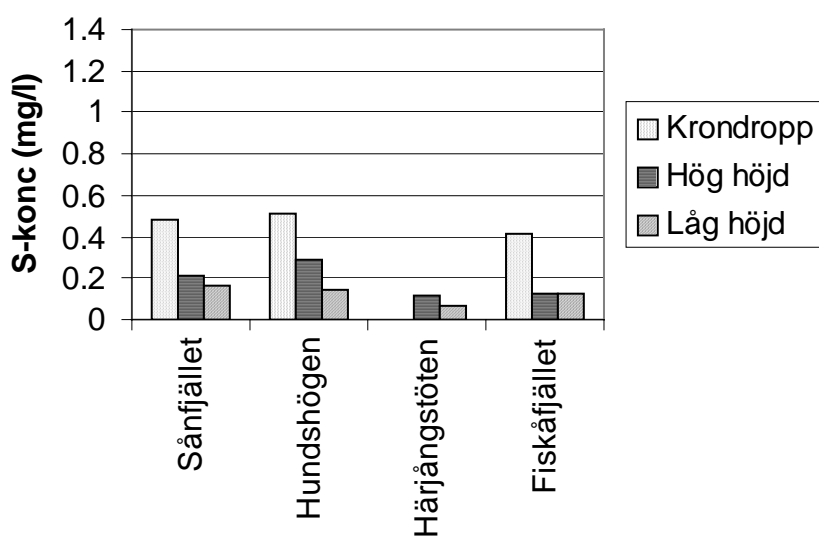
Jämförelser mellan sommar och vinter

Förutsättningarna för provtagningar skiljer sig åt på flera sätt mellan sommar och vinter. Det har stor betydelse för insamlarnas effektivitet om nederbörden är i form av regn eller snö. Snö har lättare att "blåsa förbi" insamlarna än regn. Dessutom förekommer i regel högre vindhastigheter under vintern. På vintern förekommer dessutom dimma mer frekvent än på sommaren. Generellt är provtagningarna under vintern mer komplicerade än under sommaren. I detta avsnitt görs en jämförelse mellan vinterns och sommarens halter och nederbördsmängder. Figur 19 och 20 visar uppmätta halter under vinter respektive sommarperiod.

Svavelhalt



Figur 19. Svavelhalt under vinterperioden (november till maj 1997/98)

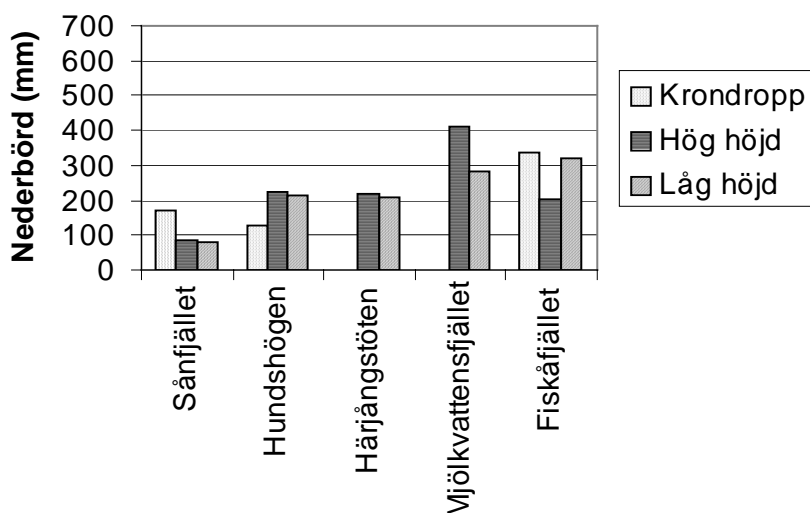


Figur 20. Svavelhalt under sommarperioden (juni till oktober 1998)

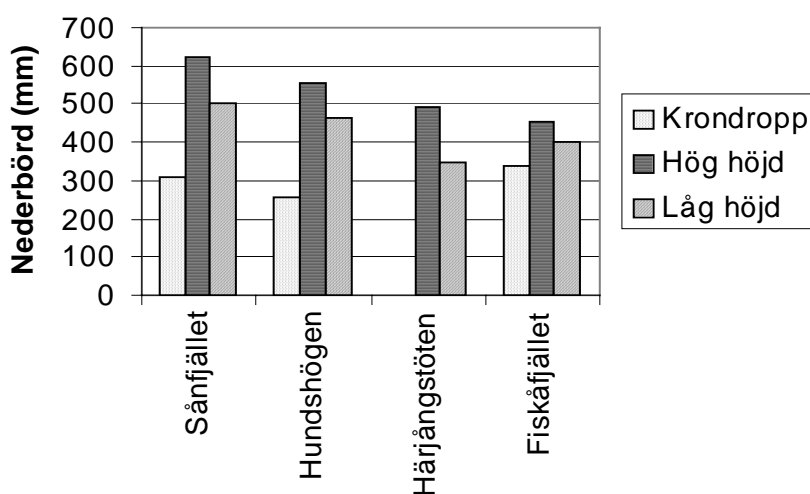
Mätningarna visade i regel högre halter på vinterhalvåret än på sommarhalvåret, såväl på hög och låg höjd som i den fjällnära skogen. På de flesta fjällen är halterna högst i krondropp och därefter kommer hög höjd och sedan låg höjd. Ett undantag är Sånfjället, där högre halt uppmättes på hög höjd än i den fjällnära skogen under vintern. På Fiskåfjället var skillnaden mellan halter på hög höjd och i krondropp avsevärt mindre på vintern än på sommaren. Skillnaderna mellan låg och hög höjd är generellt sett större på vintern än på sommaren.

Nederbörd

Nederbörden var avsevärt större på sommaren än på vintern (figur 21 och 22). På sommaren var förhållandet mellan hög höjd, låg höjd och krondropp ganska likartat på de olika stationerna. Nederbörden var högst på hög höjd, därefter kom låg höjd och sist krondropp. På vintern fanns inte samma mönster. Skillnaden mellan låg och hög höjd var mindre, och på Fiskåfjället var till och med nederbörden högre på låg höjd än på hög.



Figur 21. Nederbördsmängd under vinterperioden (november till maj 1997/98)



Figur 22 Nederbördsmängd under sommarperioden (juni till oktober 1998).

På Sånfjället var den uppmätta nederbörden extremt låg både på hög och låg höjd, hälften så hög som krondroppet, vilket troligen är en kraftig underskattning på grund av mätfel.

Höga halter i nederbörd på hög höjd vintertid samt liten skillnad i nederbördsmängd, jämfört med låg höjd, indikerar vissa provtagningsartefakter. Det finns inget uppenbart skäl till att den verkliga halten i nederbörd (våtdepositionen) på hög höjd är högre än låg höjd. Däremot bör nederbördsmängden på hög höjd vara betydligt större än på låg nivå. Förhållandena under sommarperioden var mer rimliga och sannolikt utan större provtagningsartefakter med avseende på både halter och nederbördsmängder. Halterna var klart högst i krondropp och skillnaden på öppet fält mellan hög och låg höjd var relativt liten under sommarperioden. Nederbördsskillnaderna var logiska med tanke på höjdskillnaderna och avdunstningen i krondroppet.

Generellt bör halterna av sulfatsvavel i nederbörd och krondropp vara högre under vinterperioden. Det finns dock inget uppenbart skäl till att skillnaderna mellan krondropp och nederbörd på hög samt låg höjd skall vara helt annorlunda än på sommaren. Det betyder att de högsta halterna kan uppmätas i krondropp även på vintern, samtidigt som halterna i nederbörd bör vara likartad på låg höjd och hög höjd.

Bedömning av osäkerheter

Resultaten från denna studie visar att:

- Den uppmätta nederbördsmängden på sommaren var större på hög höjd än på låg höjd, medan den på vintern var ungefär lika stor. Andra studier har visat på att nederbörden generellt sett ökar även på vintern med höjden på ett berg. Att detta inte stämmer med vinternätningarna kan beror på att en del av nederbörden i form av snö "blåser förbi" insamlaren.
- Halten av sulfatsvavel i nederbörd på vintern var högre på hög höjd än på låg höjd i denna studie. Teoretiskt bör ingen skillnad finnas i nederbördens halt, vilket tyder på att insamlaren samlar in torrdeposition, främst i form av molndroppar. Ett uppstickande föremål som en snösäck samlar mer torr- och dimdeposition än omgivande mark, vilket gör att mätningarna inte blir representativa för kalfjället. Torr- och dimdeposition på en jämn snöyta är sannolikt liten. Dimfrekvensen är högre på vintern än på sommaren vilket kan förklara skillnaden mellan årstiderna.
- Jämförelser mellan tidsserier på de olika fjällstationerna samt stationer i närheten som ingår i nationella och regionala miljöövervakningsprogram visade på stor samvariation på låg höjd, både med avseende på nederbörd och svavelhalt. Detta styrker att resultaten från låg höjd på fjällen inte visar helt andra depositionsförhållanden jämfört med mätstationer på låg höjd utanför fjällområdet. Även på hög höjd fanns en viss samvariation, men inte alls i lika stor utsträckning som på låg höjd.

- Nederbörds mängden i fjällnära skog, uppmätt som kron dropp, samvarierade i relativt hög grad mellan fjällen och även med närliggande stationer i det ordinarie nätet med skogsytor (Kron droppsnätet). Även svavelhalten samvarierade, men halten var högre i den fjällnära skogen, vilket troligen beror på en större mängd dimdeposition. Den fjällnära skogen är dock mycket glesare än skog på lägre höjder, vilket medför att kron droppet inte är representativt för skogen som helhet.

Resultaten från undersökningarna på fjällen i Jämtland ledde till att värdena i nederbörd från hög höjd inte användes för att beräkna en sannolik deposition. I stället beräknades depositionen på hög höjd, med hjälp av halten på låg höjd och nederbörden på låg höjd uppräknad för att kompensera för höjdskillnaden.

Uppmätta värden i kron dropp bedöms som tillförlitliga. Den genomsnittliga depositionen till skogen som helhet beräknades genom att kombinera kron droppsmätningarna med korrigerade data från öppet fält. Vid kron droppsundersökningar i fjällnära skog kan snön ligga kvar på träden under vissa månader, vilket gör att flera månaders nederbörd kan falla ned i insamlaren. Jämförelser mellan månadsvärden under vintern måste därför användas med viss försiktighet.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

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

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

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

Forsknings- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie).

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

IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt.

IVLs hemsida: www.ivl.se

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

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

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

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

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

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