



Beräkning av moln- och dim- depositionen i Sverigemodellen - Resultat för 1997 och 1998

Valentin L. Foltescu och Christer Persson

**Beräkning av moln- och dim-
depositionen i Sverigemodellen -
Resultat för 1997 och 1998**

Valentin L. Foltescu och Christer Persson

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare		Report number/Publikation			
Swedish Meteorological and Hydrological Institute S-601 76 NORRKÖPING Sweden		SMHI-Meteorologi Nr. 98			
		Report date/Utgivningsdatum			
		September 2001			
Author (s)/Författare					
Valentin L. Foltescu Christer Persson					
Title (and Subtitle)					
Beräkning av moln- och dimdepositionen i Sverigemodellen – Resultat för 1997 och 1998					
Estimation of cloud and fog deposition by use of "Sverigemodellen" – Results for 1997 and 1998					
Abstract/Sammandrag					
The capture of cloud and fog droplets by vegetation as a possibly important deposition mechanism has been recognised lately after reports of increased forest decline with altitude. We are concerned with interception, impaction and stickiness of polluted cloud water and fog droplets to terrestrial surfaces, including forest canopies. This deposition is mediated by low-level clouds, in which parts of the terrain can be immersed, or by the presence of orographic and radiation fog. In this study the transport of cloud and fog droplets towards terrestrial surfaces is parameterised and the "occult" deposition (mediated by both clouds and fog) is calculated by a new approach, implemented in "Sverigemodellen" (MATCH-Sverige), a 3D Eulerian transport and dispersion model employed for making environmental assessments in Sweden. The model scheme is taking into account the mesoscale analysis (MESAN) of low-cloud coverage and cloud-base height, the visibility analysis, detailed topography information, land use, modelled atmospheric concentrations and the instantaneous deposition parameters for the investigated species (acidifying air pollutants: sulphate and oxidised/reduced nitrogen). The model scheme is validated by comparing with throughfall monitoring of sulphate deposition to coniferous forests at elevated sites in the Swedish mountains. It shows a rather good fit to the measurements, generally within 25%, which is deemed as encouraging. Discrepancies exist though and are subject of discussion. The percentage of occult deposition can be up to 115% of the sum of dry and wet deposition. Therefore we cannot ignore this contribution in the assessments of deposition of acidifying pollutants. The highest fluxes of cloud deposition are assigned to mountainous regions in Northern Sweden, while the highest fog deposition is calculated at a location in Jönköpings County, on the Sydsvenska höglandet.					
Key words/sök-, nyckelord					
cloud deposition, fog deposition, occult deposition, Sweden, acidifying pollutants, sulphate, nitrate, ammonium, MATCH, MESAN					
Supplementary notes/Tillägg		Number of pages/Antal sidor	Language/Språk		
		37	Swedish		
ISSN and title/ISSN och titel					
0283-7730 SMHI Reports in Meteorology					
Report available from/Rapporten kan köpas från:					
SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden					

Innehållsförteckning

1. BAKGRUND	2
2. SYFTE MED PROJEKTET	2
3. MODELLBESKRIVNING.....	2
4. RESULTAT OCH DISKUSSION.....	5
4.1. AREELL UTBREDNING AV DEPOSITIONEN.....	5
4.2. JÄMFÖRELSE MED DEPOSITION TILL BARRSKOG PÅ OLIKA FJÄLL	5
4.3. ÅRS- OCH MELLANÅRSVARIATIONER	7
4.4. FÖRHÅLLANDE TILL ÖVRIGA FORMER AV NEDFALL.....	8
4.5. HÖGSTA MOLN- OCH DIMDEPOSITIONEN I SVERIGE	9
4.6. OSÄKERHETER I BERÄKNINGARNA	9
5. SAMMANFATTANDE SLUTSATSER.....	10
6. REFERENSER.....	11
APPENDIX.....	12

1. Bakgrund

Föroreningsdepositionens höjdberoende i och nära svenska fjällen har undersökts i flera projekt de senaste åren. Depositionen av försurande luftföroreningar har visat sig öka med höjden över havet i bergsområden och främst under vintern (t. ex. Westling & Ferm, 1998). Detta orsakas av orografiskt förstärkt nederbörd på höjderna och högre vindhastigheter som förstärker avsättningen av torra föroreningar. Högre terräng har dessutom oftare direktkontakt med moln och dimma, vars droppar lätt fastnar på mark och vegetation. Detta förväntas spå på totaldepositionen ytterligare. Lovett & Kuisman (1990) samt Fowler et al. (1993) har betonat betydelsen av moln- och dimdeposition av försurande luftföroreningar. Speciellt designade dimsamlare har använts för att isolera bidraget från moln- och dimdeposition som består av droppar, dimfrost och rimfrost. Sulfatdepositionen i dimsamlarna har visat sig vara högre ju högre upp man mäter på fjället (Westling & Ferm, 1998).

Depositionen till skog har tidigare undersökts med konventionella krondroppsmätningar. Den högsta belastningen av försurande luftföroreningar har funnits i granskog nära trädgränsen. Träd kan fungera som effektiva filter för många föroreningar förekommande i moln och dimma. Jämförelserna har gjorts med deposition till öppna ytor (Akselsson & Westling, 2000). Man har dessutom upptäckt högre deposition i fjällnära skog jämfört med skog på lägre höjd. Depositionsmekanismer som medför avsättning av föroreningar från moln och dimma bedöms därför vara viktiga att förstå, beskriva och kvantifiera. På så sätt kan man få en komplett bild av föroreningspotentialen och belastningen. För att få en yttäckande bild av depositionen krävs dessutom modellberäkningar som komplement till mätprogram, vars data i sin tur kan användas för modellvalidering och modellförfining.

2. Syfte med projektet

Projektet syftar till att påbörja utvecklingen av en praktiskt användbar metod för objektiv modelluppskattning av moln- och dimdepositionen i Sverige. Intresset har hittills fokuserats kring sulfat- nitrat- och ammoniumdeposition. Den framtagna modellansatsen har testats genom jämförelser med tillgängliga oberoende atmosfärskemiska observationer.

3. Modellbeskrivning

Den submodell för beräkning av moln/dimdeposition, som i denna studie tagits fram har implementerats i MATCH-Sverige modellen (beskriven av Persson m.fl. 1995 och 1996 samt Robertson m.fl. 1999). Försök att beräkna molndeposition har tidigare gjorts av bl. a. Eriksson (1993). MATCH-Sverige modellen har även i tidigare versioner haft tillgång till geografiskt och tidsmässigt högupplösta atmosfärskemiska och meteorologiska data som bedöms som relevanta och värdefulla vid beräkningar av molndeposition. Det är naturligt att sträva efter en vederhäftig modellansats för molndeposition och att även inkludera dimdeposition i denna.

Droppar i moln och dimma deponeras huvudsakligen genom impaktion, dvs. dropparna fastnar genom sin tröghet på markens skrovligheter, på vegetation och andra hinder när luften

med dimdroppar strömmar förbi. Impaktionen är ofta störst till barrskog, speciellt i skogsfronter och på vindutsatta ställen. Större, och därmed tyngre, moln- och dimdroppar kan även deponeras genom sedimentation. Denna process bedöms dock vara av betydligt mindre betydelse än impaktion, utom möjligtvis för droppar från strålningsdimma (Fuzzi et al., 1988) och täta marknära moln. Svårigheten att på ett objektivet sätt särskilja strålningsdimma från övriga dimobservationer innebär en viss osäkerhet vid antagandet av försumbar sedimentationshastighet. Sedimenterande moln- och dimdroppar inkluderas å andra sidan i de nederbördsmängder som i MATCH-Sverige modellen utnyttjas för att beräkna våtdepositionen, varför denna osäkerhet torde ha liten betydelse för uppskattningar av den totala föroreningsdepositionen.

För modellberäkningar av torrdeposition, och i detta fall moln- och dimdeposition, utnyttjas begreppen depositionshastighet (v_d) och resistans (motstånd till transporten i analogi till Ohms lag i elläran). I resistansmodellen för att beskriva massflödet mellan atmosfär och underliggande yta utnyttjas följande variabler och samband:

r_a = aerodynamisk resistans i atmosfärens ytskikt (med konstanta flöden)

r_b = resistans för diffusion genom det quasi-laminära ytskiktet

r_s = ytresistans till aktuell depositionsyta

och

$$v_d = (r_a + r_b + r_s)^{-1}.$$

Den aerodynamiska resistansen, r_a , beräknas enligt

$$r_a = \frac{1}{ku_{*,l}} \left[\ln\left(\frac{z-d}{z_{0,l}}\right) - \Psi_h\left(\frac{z-d}{L_l}\right) + \Psi_h\left(\frac{z_0}{L_l}\right) \right]$$

där

Ψ_h = stabilitetsfunktion (värmeflöde)

k = von Karman's konstant

u_* = friktionshastighet

z = höjd över mark

d = nollplansförskjutning

z_0 = skrovlighetsparameter

L = Monin Obukhov's längd

l = index för olika markanvändningsklasser.

Sedimentationshastigheten för moln- och dimdroppar antas vara försumbar. Ytresistansen för moln- och dimdroppar kan bortses ifrån, eftersom de i regel fastnar på den yta de träffar. De båda resistanserna r_a och r_b är seriekopplade och summan av de två utgör den atmosfäriska resistansen. En rad studier av den turbulenta depositionen av molndroppar på mark och vegetation visar att den atmosfäriska resistansen mot transport av moln- och dimdroppar – genomsnittsberäknad för hela droppstorleksfördelningen – approximeras väl av den aerodynamiska resistansen för värmeflöde. I synnerhet för skrovliga ytor som skog, har man visat att depositionshastigheten för droppinnehållet har samma storlek som det inverterade värdet av den aerodynamiska resistansen (Beswick et al., 1991; Gallagher et al., 1992).

Nedan ges en kort beskrivning av den metodik som i denna studie utnyttjas för moln- och dimdepositionsberäkningar i Sverigemodellen:

- Analys görs av sikt, för kartläggning av dimutbredning, samt 3-dimensionell (3-D) molnanalys över Sverige med hjälp av SMHIs operationella mesoskaliga analyser (MESAN). Dessa analyser baseras på väderstationsdata och satellitinformation och görs för var 3:e timma baserat på mätdata med 1 timmas upplösning. För varje tillfälle som markytan, enligt dessa analyser, befinner sig i dimma eller moln görs beräkningar av dimdeposition enligt nedan.
- Beräkningarna utförs i ett gitter som omfattar hela Sveriges territorium med en upplösning på 11 km. Moln- och dimdepositionen beräknas i de gridrutor där dimma och moln exponerad terräng diagnostiserats. Definitionen av dimma bygger på att sikten understiger 1000 m. För att bestämma vilka berg som ligger i moln görs en skärning mellan 3-D molnanalyser och en detaljerad topografi över Sverige. Detta görs för data för var 3:e timma. För att molndeposition skall erhållas utesluts först dimma och sedan sätts följande kriterier:
 - a) den interpolerade fraktionen av låga moln över himlen överstiger 0.125.
 - b) molnbasen är högst signifikant (med ett interpolerat värde som överstiger 0.8).
 - c) höjden till molnbasen över havet ligger inom gränserna för medelterränghöjden i rutan ± 2 standardavvikelser av terränghöjden. (Medelterränghöjden och standardavvikelsen är aggregerade och beräknade till $11 \times 11 \text{ km}^2$ -stora rutor från detaljerade höjddata, $500 \times 500 \text{ m}^2$ för hela Sverige). Procentandelen av topografi som blir omsvept i moln bestäms av sannolikhetsfördelningen vid utfall av molnbashöjder som inryms inom 6 klasser (nivåer) med avseende på terränghöjdens medelnivå och standardavvikelse. Dessa klasser motsvarar 0%, 9.2%, 41.3%, 64.8%, 90.6% och 100% täckning av terrängen i vertikal led.
- Depositionshastigheten beräknas med hög tidsupplösning (3 timmar) till 10 olika underlag (markanvändningstyper) med olika skrovlighet, bl. a. till vattenytor, jordbruksmark, lövskog och barrskog (upplösning i $11 \times 11 \text{ km}^2$ rutor).
- Kartläggning över Sverige (upplösning i $11 \times 11 \text{ km}^2$ rutor) av dygnshalter i luft av sulfat, nitrat ($\text{NO}_3 + \text{HNO}_3$) och ammonium ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$), som görs inom MATCH-Sverige modellens analyser för miljöövervakningen, utnyttjas för att beräkna mängden föroreningsämnen i dim- och molndroppar.
- Moln/dimdropparnas deposition bestäms enbart av den aerodynamiska resistansen, r_a . Man får då ett uttryck för moln/dimdepositionsflödet, F , där $F = C / r_a$ och C är koncentrationen av ämne i molndroppar per m^3 luft. Beräkning av dygnsvärden av F har hittills gjorts för åren 1997 och 1998. Det antas tills vidare att nämnda ämnen helt tas upp i moln/dimdroppar, det vill säga det s.k. α -värdet antas vara 1.0. Detta är rimligt för låga föroreningshalter i luften. I en mycket förorenad luft, som dock inte är typisk för fjällområdet, kan α anta betydligt lägre värden, 0.5 eller ännu lägre.

Det bör påpekas att beräkningsmodellen är mekanistisk och ickeempirisk, dvs. icke anpassad till mätdata av de eftersökta variablerna.

4. Resultat och diskussion

4.1. Areell utbredning av depositionen

Ovanstående beräkningsmetodik har använts för att kartlägga den dygns- och månadsvisa moln- och dimdepositionen för åren 1997 och 1998. Årssummorna för den totala moln- och dimdepositionen av sulfatsvavel (SO_4^{2-}), nitratkväve (summa $\text{NO}_3 + \text{HNO}_3$) och ammoniumkväve (summa $\text{NH}_3 + \text{NH}_4$) till barrskog visas i kartform, se Figur 1 och 2. Från sulfatsvavlet har havssaltets bidrag exkluderats. I appendix återfinns även månadskartor, som kan vara av intresse då variationer under året ska studeras.

4.2. Jämförelse med deposition till barrskog på olika fjäll

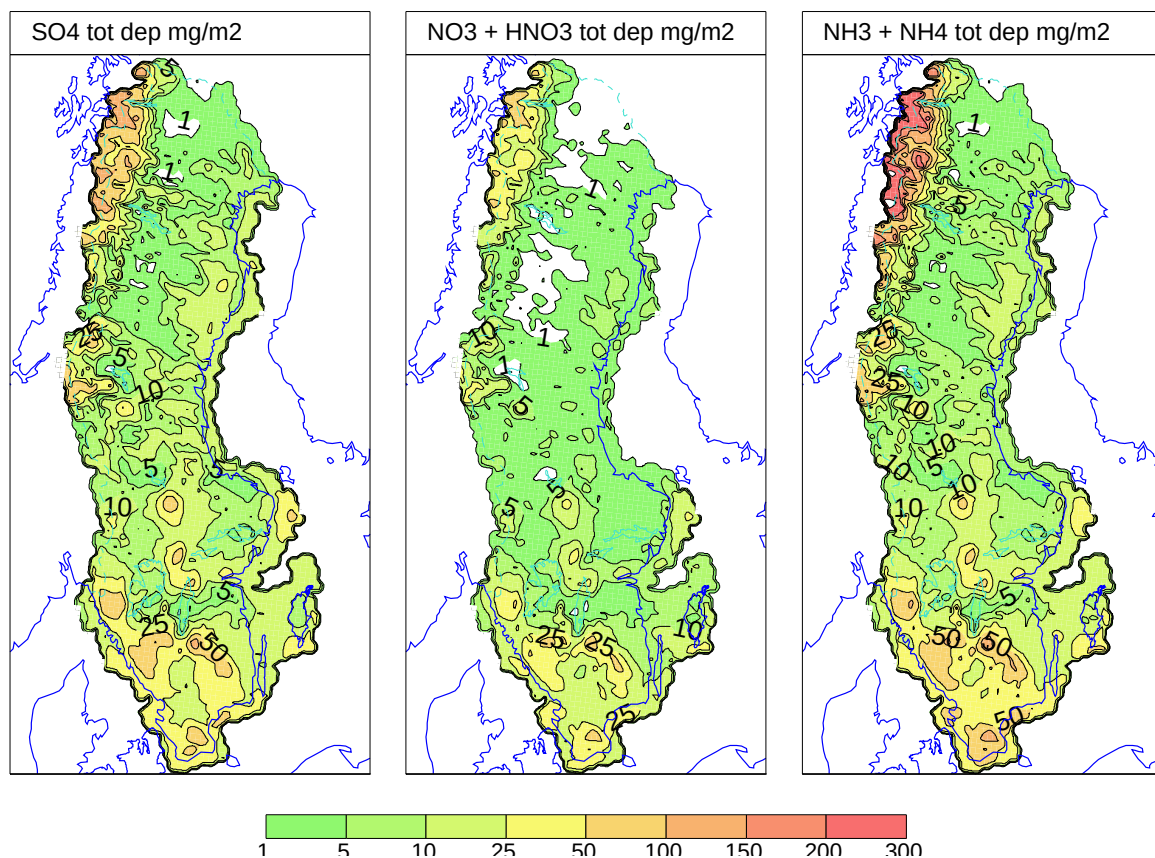
Beräknade flöden har extraherats från modellfälten och använts för jämförelse med observerade ämnesflöden från krondroppsmätningar (Westling, personal communication, 2000), för att på så sätt testa modellansatsen. Jämförelsen kan endast göras för de joner som inte tas upp eller avges från träden. Jämförelsen fungerar därför bäst för sulfat. Depositionen till skog av nitrat och ammonium har inte kunnat valideras på grund av det omfattande upptaget eller omvandlingen av dessa ämnen i trädkronan.

Observerad torr-, moln- och dimdeposition har uppskattats som krondropsdeposition minus våtdeposition, dvs. nettokrondropp i barrskog. Data finns att tillgå för fyra platser där man utför krondroppsmätningar och mätningar av våtdeposition i öppet fält i trädgränsen för granskog (620-780 m) sedan oktober 1997. Därmed har man kunnat uppskatta det observerade depositionsflödet för kalenderåret 1998. Platserna är: Fulufjället (61.55 N, 12.72 E) i Dalarnas län och Sånfjället (62.28 N, 13.53 E), Hundshögen (62.97 N, 13.75 E) och Fiskåfjället (64.50 N, 14.62 E) i Jämtlands län.

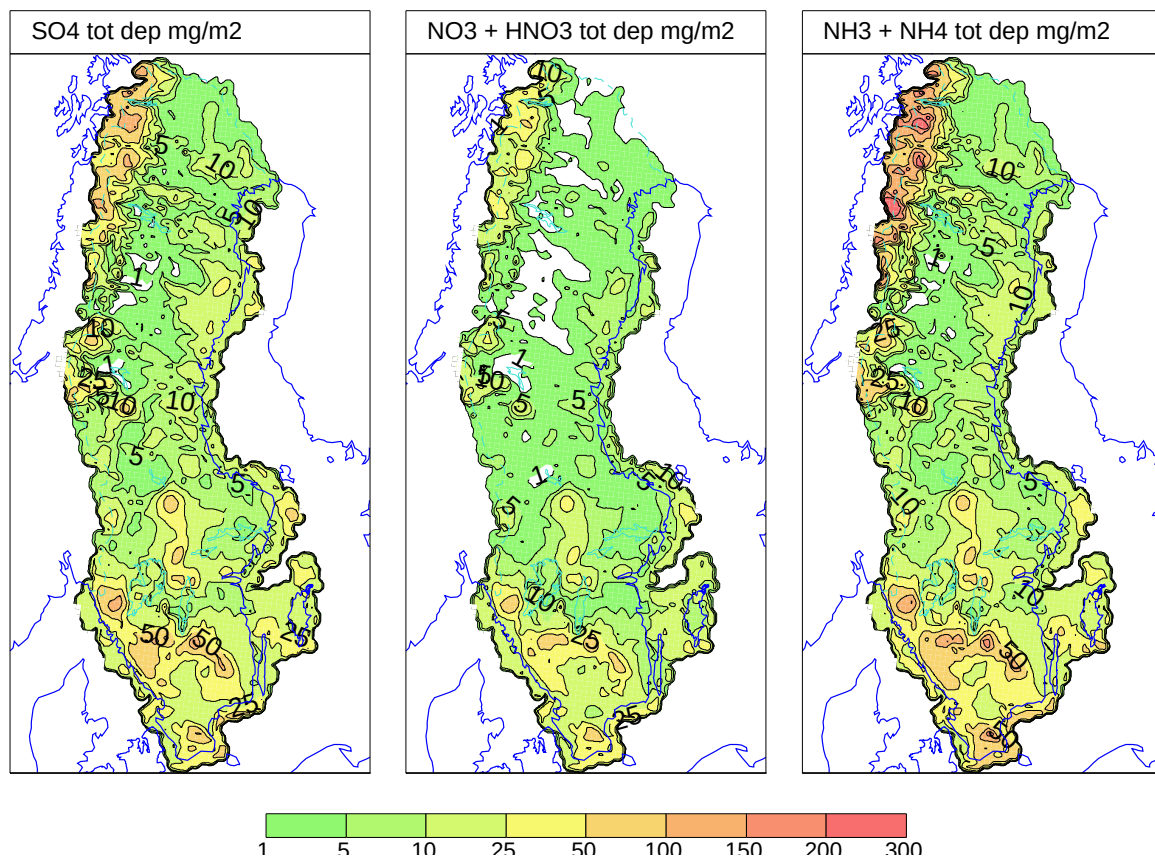
Den observerade depositionen enligt ovan har jämförts med den modellberäknade torrdepositionen, rutinmässigt framtagen med MATCH-Sverige modellen, plus summan av moln- och dimdeposition enligt den nya modellansatsen. Jämförelserna framgår av Tabell 1. Det bör observeras att jämförelsen underlättas av att medelhöjden i modellens grirutor ligger på ungefär samma nivå som observationsplatsernas höjd.

Resultaten måste tolkas över längre tidsperioder, särskilt på vintern, då snön kan ligga kvar på träden och komma ner vid ett senare tillfälle. Jämförelsen har därför gjorts för år 1998 i sin helhet.

Modellen ser ut att ge god passning till mätdata på årsbasis (Tabell 1). Stora skillnader föreligger inte, förutom i trakten kring Fiskåfjället där troligen framför allt molnbidraget till depositionen underskattas. Fiskåfjället ligger i ett område i Jämtland där tätheten av molnbasrapporterande meteorologiska stationer är minimal, med ett typiskt avstånd på 150 km mellan stationerna. Det innebär att den griddade meteorologiska informationen (MESAN) blir utjämnad för stora landarealer trots den finmaskiga griddupplösningen på 11 km.



Figur 1. Beräknad total moln + dimdeposition för 1997 (i mg m^{-2}) av sulfatsvavel (exkl. havets bidrag), nitratkväve och ammoniumkväve till barrskog.



Figur 2. Beräknad total moln + dimdeposition för 1998 (i mg m^{-2}) av sulfatsvavel (exkl. havets bidrag), nitratkväve och ammoniumkväve till barrskog.

Fiskåfjället ligger ca 150 km från de närmaste meteorologiska stationerna som rapporterar molnighet till MESAN, nämligen Hemavan och Gunnarn. Därmed kan körningen av moln- och dimdepositionsmodellen bli lidande av en icke-representativ molnighetsinformation. Parallellt med detta kan ett problem ha uppstått hos det uppmätta sulfatsvavlet i våtdeposition (se Tabell 1). Det rapporterade värdet (107 mg m^{-2}) är interpolerat linjärt mellan våtdepositions-mätningar på två olika höjder (420 m och 1193 m) till den höjd där krondroppsmätningen utförts (620 m). Om nederbördsökningen med höjden inte sker linjärt som det antagits kan detta resultera i ett avvikande värde hos våtdepositionen, som i sin tur påverkar det uppmätta nettokrondroppet (uppskattat som krondropsdeposition minus våtdeposition).

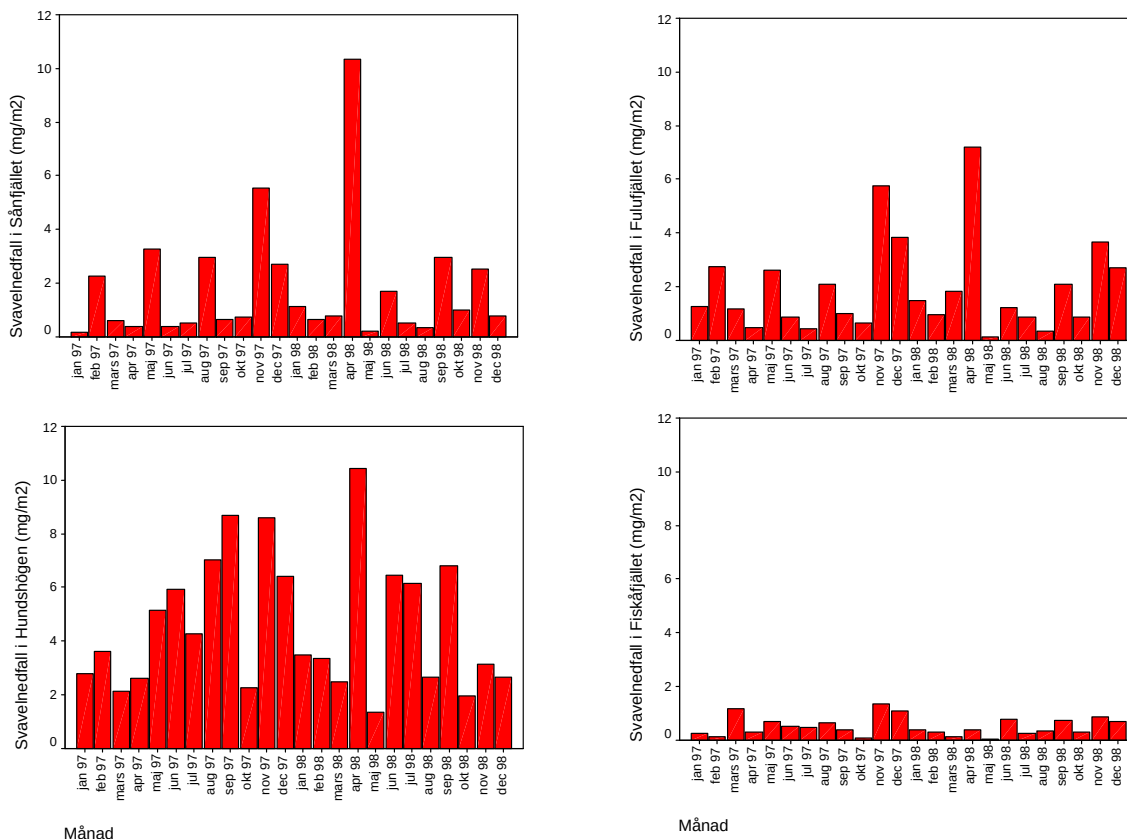
Tabell 1. Modellberäknad och uppmätt torr-, moln- och dimdeposition (summan = nettokrondropp) samt våtdeposition av sulfatsvavel (exkl. havets bidrag) till barrskog i olika fjäll i Dalarna (Fulufjället) och Jämtland (övriga) under 1998.

	Beräknat flöde (mg m^{-2})		Uppmätt flöde (mg m^{-2})	
	Nettokrondropp	Våt	Nettokrondropp	Våt
Fulufjället,	103	294	100	215
Sånfjället	107	198	100	140
Hundshögen	132	260	170	175
Fiskåfjället	77	238	200	107

Osäkerheter i modellberäkningarna diskuteras i ett separat avsnitt nedan. Det uppmätta depositionsflödet lider också av svårkvantifierade eller ickekvantifierbara osäkerheter. Dessa diskuteras av bl. a. Akselsson & Westling (2000). Trots detta och med stöd av det ovarsagda är resultatet från jämförelsen uppmuntrande och inger modellen trovärdighet. Det bör påpekas att modellresultatet gäller medeldepositions-förhållanden till barrskog i ytor som är $11 \times 11 \text{ km}^2$ -stora till skillnad från krondropsstudier som står för undersökningar gjorda i enstaka punkter med granskog.

4.3. Års- och mellanårsvariationer

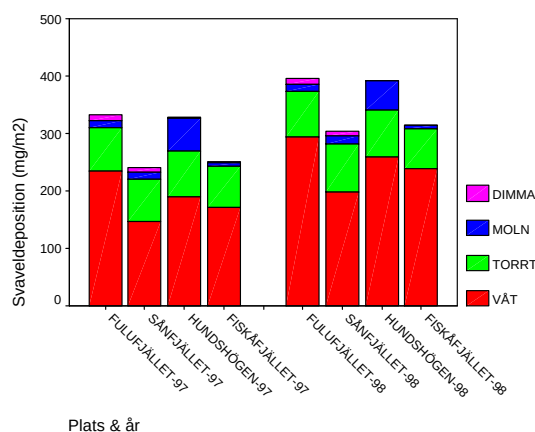
En stor del av vinterns deposition i fjällnära skog ligger kvar i trädkronorna och kommer ned till marken framåt slutet av maj. Tidsserien av observerat nedfall påverkas av denna artefakt. Endast en modell kan antyda den variation som föreligger under året. I detta hänseende studeras åren 1997 och 1998 på de platser där man genomfört krondropsstudier. Figur 3 visar årsvariationen av svavelnedfall orsakat av moln- och dimdeposition. Man upptäcker en betydande variation mellan åren. Högsta depositionen inträffade i april 1998 i norra Dalarna och i södra Jämtland, i motsats till vad Eriksson (1993) uppskattat att sulfatdepositionen skulle kulminera under december till februari och nå bottenivåer under juni till augusti. Fiskåfjället uppvisar betydligt lägre depositions-nivå. Detta skulle kunna hänföras till det bristfälliga molninformationsunderlaget på respektive plats.



Figur 3. Svaveldeposition (exklusive havssaltets bidrag) från moln och dimma som modellberäknats för fjällnära barrskog i Dalarna och Jämtlands län.

4.4. Förhållande till övriga former av nedfall

Moln- och dimdepositionen kan sättas i relation till den våta och den torra depositionen genom en absolut jämförelse av alla depositionsbidrag. Denna jämförelse är genomgående baserad på modellresultat. Figur 4 visar situationen på de tidigare utvalda platserna i fjällnära granskog. Andelen moln- och dimdeposition varierar mellan 2 och 22% av summan våt- och torrdeposition.



Figur 4. Beräknad svaveldeposition (exklusive havssaltets bidrag) i fjällnära barrskog i Dalarnas län (Fulufjället) och Jämtlands län (övriga platser). Våt-, torr-, moln- och dimdeposition anges med olika färger enligt legenden.

En plats på sydsvenska höglandet, Växjö (56.88 N, 14.82 E), med tätbevuxen barrskog i dess omgivning har valts ut för en geografisk jämförelse av depositionen. Den totala sulfatdepositionen (utan bidrag från havssalt) är av storleksordningen 700-800 mg m⁻² år⁻¹. Moln- och dimdepositionen utgör ca 6% av summan våt- och torrdeposition.

4.5. Högsta moln- och dimdepositionen i Sverige

Modellens styrka att ge en yttäckande bild av depositionen ger också en möjlighet till att uppskatta var de maximala flödena inträffar, se Tabell 2.

Tabell 2. Beräknade maximala depositionsflöden till barrskog och geografiska lägen för dessa (vars latitud och longitud koordinater visas inom parentes). Moln- och dimdeposition och summan av moln- och dimdeposition (M+D) visas för sulfatsvavel (exkl. havets bidrag), nitratkväve och ammoniumkväve under 1998. Som jämförelse ges även våt- och torrdepositionen för den plats med störst moln- plus dimdeposition.

	Sulfatsvavel (mg m ⁻²)	Nitratkväve (mg m ⁻²)	Ammoniumkväve (mg m ⁻²)
Moln (M)	188	73	288
	(68.63 N, 18.81 E)	(68.63 N, 18.81 E)	(66.59 N, 15.34 E)
Dimma (D)	86	57	99
	(57.49 N, 14.54 E)	(57.49 N, 14.54 E)	(57.49 N, 14.54 E)
M+D	194	99	299
Våt	144	405	126
Torr	141	182	133
	(68.63 N, 18.81 E)	(57.49 N, 14.54 E)	(66.59 N, 15.34 E)

Högsta moln- och dimdepositionen av sulfat, nitrat och ammonium beräknas till fjällområden i Norrbottens län. Dimdepositionen beräknas ha ett maximum vid en plats i Jönköpings län. Andelen moln- och dimdeposition utav summan våt- och torrdeposition i de punkter där moln- plus dimdepositionen är maximal utgör 68% för sulfatsvavel, 17% för nitratkväve och 115% för ammoniumkväve. Det betyder att bidraget från denna typ av deposition inte bör försummas, åtminstone inte på utsatta områden som stora delar av fjällområdet.

4.6. Osäkerheter i beräkningarna

Analyserade moln- och dimdata har jämförts med direkta meteorologiska observationer och överensstämmelsen är god över stora delar av landet där stationsnätet är relativt tätt (Häggmark m. fl., 2000). Svagheten med dessa analyser är dock att endast ett fåtal meteorologiska stationer finns tillgängliga i fjällområdet. Risk finns att analyserade moln- och dimdata kan ha bristande kvalitet för delar av fjällområdet. Vi har bl. a. noterat

underskattningar i moln/dim-frekvens i delar av södra fjällen. Förbättringar av MESAN-metodiken för analyser av moln i fjällen, och eventuellt även en utökning av molnobservationerna i fjällen, är önskvärd.

De haltdata av svavel och kvävekomponenter från MATCH-Sverige modellens analyser bör jämföras med oberoende haltmätningar i fjällmiljö. En sådan jämförelse är väsentlig för att säkerställa kvaliteten i beräkningarna. Mätningar i fjällmiljö har gjorts under senare år (Granat, opubl. data), men data har ännu ej kunnat utnyttjas för modelljämförelser.

5. Sammanfattande slutsatser

I och med detta projekt har en ny operationell metodik tagits fram och använts för att objektivt beräkna moln- och dimdepositionen med hög tidsupplösning i Sverige. Sulfat-, nitrat- och ammoniumdepositionen kan numera uppskattas i sin helhet, även om osäkerheten fortfarande är betydande, då den nämnda formen av deposition adderas till den traditionellt uppskattade torr- och våtdepositionen.

Modellen bygger främst på användning av detaljerad moln- och siktinformation från SMHIs mesoskaliga analysystem och resultat från miljöövervakningens modellkörningar vid SMHI.

Beräkningsansatsen har testats genom jämförelser med mätningar av nettokrondropp genomförda i barrskog i svenska fjällen. Med något undantag har modellen uppvisat god överensstämmelse med observationerna.

Genom att simulera depositionsprocesserna momentant kan man utläsa variationen under året med ett tidsfönster på 1 månad, något som tidigare varit omöjligt (i synnerhet under vintern) vid observationer av nettokrondropp.

Variationen i moln- och dimdeposition från ett år till ett annat är betydande och det förekommer markanta skillnader geografiskt.

Andelen moln- plus dimdeposition varierar upp till 115% av summan våt- och torrdeposition. Därmed är detta depositionsbidrag ej att försummas vid uppskattning av nedfall av försurande luftföroreningar.

Depositionen av sulfatsvavel och ammoniumkväve via både moln- och dimdeposition (1998) uppvisar absoluta maxima i Norra Norrlands fjälltrakter. Högsta flödet av nitratkväve beräknas inträffa i Jönköpings län. Till sistnämnda område beräknas också höga flöden av sulfat och ammonium, med regionala maxima.

6. Referenser

Akselsson C. & Westling O. (2000) Nedfall av luftföroreningar i fjällområden i Jämtlands län 1995 till 1999. IVL Rapport B 1374.

Beswick K. M., Hargreaves, K., Gallagher M. W., Choularton T. W. & Folwer D. (1991) Size resolved measurements of cloud droplet deposition velocity to a forest canopy using an eddy correlation technique. Q. J. Royal Met. Soc. 117, 623-645.

Eriksson E-M. (1993) Examensarbete, handl. Rodhe H. & Granat L.; Uppskattning av moln depositionen av sulfat och nitrat i Sverige. Meteorologiska Institutionen, Stockholms Universitet.

Fowler D., Gallagher M. W. & Lovett G. M. (1993) Fog, Cloudwater and Wet Deposition. In: Models and Methods for the Quantification of Atmospheric Input to Ecosystems. The Nordic Council of Ministers 1993.573, Copenhagen.

Fuzzi, S. (1988) Fog chemistry and deposition in the Po Valley Italy. In: Acid deposition at high elevation sites. Eds. Unsworth M. H. & Fowler D. pp. 443-452, Kluwer.

Gallagher M. W., Beswick K. M., Choularton T. W., Coe H., Fowler D. & Hargreaves K. (1992) Measurements and modelling of cloudwater deposition to moorland and forests. Environ. Poll., 75, 97-107.

Häggmark L., Ivarsson K.-I., Gollvik S. & Olofsson P.-O. (2000) MESAN, an operational mesoscale analysis system. Tellus 52A, 2-20.

Lovett G. M. & Kuusman J. D. (1990) Atmospheric pollutant deposition to high-elevation ecosystems. Atmos. Environ. 24A, 2767-2786.

Persson C., Langner J. & Robertson L. (1995) Regional spridningsmodell för Sverige. Naturvårdsverket Rapport 4386.

Persson C., Langner J. & Robertson L. (1996) Air pollution assessment studies for Sweden based on the MATCH model and air pollution measurements. In: Air Pollution Modeling and Its Application XI. (Eds. S.-E. Gryning and F. Schiermeier), NATO/CCMS Plenum Press, New York and London.

Robertson L., Langner J. & Engardt M. (1999) An Eulerian limited-area atmospheric transport model. J. Appl. Meteor. 38, 190-210.

Westling O. & Ferm M. (1998) Deposition av luftföroreningar på hög höjd i de svenska fjällen. Projektrapport. Svenska Miljöinstitutet och Länsstyrelsen Västerbottens län.

Appendix

Summan av moln- och dimdeposition, månadsvis

Ej tillgängligt i den version av rapporten som föreligger i pdf-format (Not available in pdf-format).



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping · Tel 011-495 8000 · Fax 011-495 8001
www.smhi.se