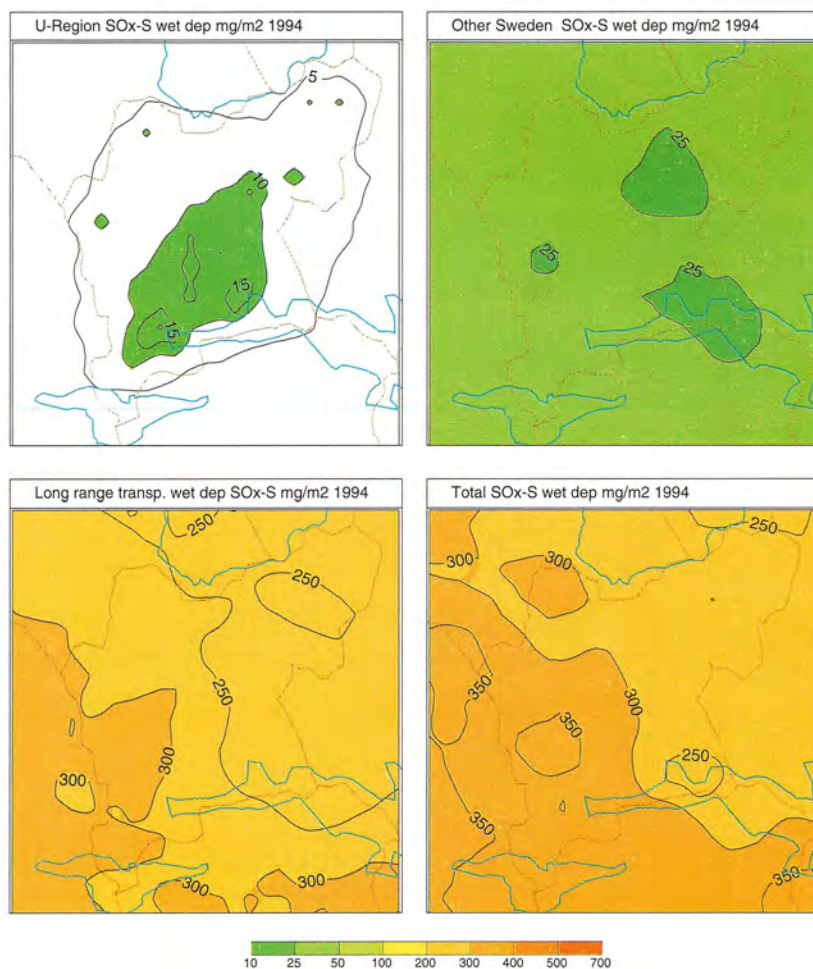


Regional luftmiljöanalys för Västmanlands län baserad på MATCH modellberäkningar och mätdata

Analys av 1994 års data



Christer Persson och Anders Ullerstig

Regional luftmiljöanalys för Västmanlands län baserad
på MATCH modellberäkningar och mätdata

Analys av 1994 års data

Christer Persson och Anders Ullerstig

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare		Report number/Publikation	
Swedish Meteorological and Hydrological Institute S-601 76 NORRKÖPING Sweden		RMK No. 78	
		Report date/Utgivningsdatum	
		July 1997	
Author (s)/Författare			
Christer Persson och Anders Ullerstig			
Title (and Subtitle)/Titel			
Air regional pollution assessment study for Västmanland based on the MATCH modelling system and measured data - Analyses for the year 1994.			
Abstract/Sammandrag			
The MATCH (Mesoscale Atmospheric Transport and CHemistry) model has been applied to the region Västmanland in Sweden for 1994 data. In combination with modelling the transport of air pollutants from sources within Västmanland, the system has also been improved to include a simplified one-way nesting of pollutants from the more large-scale MATCH-Sweden into the MATCH-Västmanland model with higher geographical resolution. Results show that in general the SO₂-concentrations over Västmanland are dominated by long-range transport from international sources, while for NO₂ the situation is different. Especially around the cities Västerås and Köping the local sources for NO_x are of very large importance. For the deposition of sulphur, oxidized and reduced nitrogen over Västmanland the long-range transport dominates. The deposition from local sources is small, especially for sulphur. The total annual deposition 1994 was about 450 mg/m² for sulphur, 400 mg/m² for oxidized nitrogen and 300 mg/m² for reduced nitrogen. Comparisons between regional measurements at five stations in Västmanland and model estimates for the wet deposition indicate a large spread in the measured data for monthly as well as yearly values. The conclusion is, so far, that the measurements at some of the stations are influenced by local effects. Throughfall measurements, taken as an average over Västmanland, and model results agree quite well for estimates of the dry deposition of sulphur. However, also for throughfall measurements large differences occur between neighbouring stations, which cannot be described by the model.			
Key words/sök-, nyckelord			
Sweden, Västmanland, air pollution, wet deposition, dry deposition, throughfall, sulphur, oxidized nitrogen, reduced nitrogen, regional, modelling, long range transport, representativity of measurements.			
Supplementary notes/Tillägg		Number of pages/Antal sidor	Language/Språk
		53	Swedish (svenska)
ISSN and title/ISSN och titel			
0347-2116 SMHI Reports Meteorology Climatology			
Report available from/Rapporten kan köpas från:			
SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden			

**Regional luftmiljöanalys för Västmanlands län baserad
på MATCH modellberäkningar och mätdata
Analys av 1994 års data**

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	1
1. INLEDNING.....	2
2. SYFTE	3
3. MODELLSYSTEMET MATCH-VÄSTMANLAND.....	3
3.1 MATCH modellbeskrivning.....	3
3.1.1 <u>Emissioner</u>	5
3.1.2 <u>Kemi</u>	6
3.1.3 <u>Fysiografi (markanvändning)</u>	7
3.1.4 <u>Deposition</u>	7
3.2 Långtransport av luftföroreningar.....	8
3.3 Koppling: Sverigemodell - högupplöst länsmodell.....	8
3.4 Något om osäkerheten i modellberäkningarna	9
4. UTSLÄPPSDATA.....	10
5. METEOROLOGISKA ANALYSER.....	13
6. FÖRORENINGSMÄTNINGAR	15
6.1 Nationella nederbördskemiska mätningar	15
6.2 Regionala nederbördskemiska mätningar - öppet fält och krondropp.....	19
6.3 Regionala mätningar av SO ₂ och NO ₂ i bakgrundsluft	19
6.4 Lokala mätningar SO ₂ och NO ₂ i Västerås.....	19
7. REGIONAL LUFTMILJÖANALYS FÖR VÄSTMANLAND	19
7.1 Resultat från MATCH-Västmanland - år 1994	19
7.1.1 <u>Halter i luft</u>	19
7.1.2 <u>Deposition</u>	21
7.1.3 <u>Budgetberäkningar för luftföroreningar</u>	29
7.2 Jämförelser mellan MATCH-Västmanland och oberoende mätningar	30
7.2.1 <u>Lufthalter</u>	30
7.2.2 <u>Våtdeposition - öppet fält</u>	34
7.2.3 <u>Totaldeposition - krondropp</u>	37
7.3 Jämförelser med nationella mätningar av våtdeposition	37
7.4 Diskussion av mätningar och modelljämförelser	40
7.4.1 <u>Halter i luft</u>	40
7.4.2 <u>Våtdeposition</u>	42
7.4.3 <u>Krondropp</u>	44
7.4.4 <u>Sammanfattning av jämförelser</u>	44
7.5 Resultat från MATCH-Västmanland - prognos för 2010.....	45
8. NÅGRA SYNPUNKTER PÅ FRAMTIDA LUFTMILJÖSTUDIER.....	50
TACK	50
REFERENSER.....	51
Bilaga 1	52

SAMMANFATTNING

Modellsystemet för regional spridning av luftföroreningar, MATCH (Mesoscale Atmospheric Transport and Chemistry model), har tillämpas för Västmanlands län. Samtidigt har MATCH-systemet vidareutvecklats så att en envägs koppling nu kan göras mellan den mer storskaliga MATCH-Sverige (Sverigemodellen) och en mer högupplöst länsmodell.

Resultaten för 1994 års data visar att SO_2 -halterna över Västmanland domineras av den långväga transporten som orsakas av källor utanför Sverige. Det är endast i området runt Västerås och Köping som de egna bidragen når upp i nivå med denna. För övrigt är Västmanlands eget bidrag relativt litet. Förhållandena är annorlunda för NO_2 . Västmanlands eget bidrag spelar i det fallet en viktig roll och är av ungefär samma storlek som den långväga transporten, medan övriga Sveriges bidrag är ännu något större. I regionen runt Västerås och Köping domineras dock NO_2 -halterna av länets egna utsläpp. Halterna av ammoniak/ammonium i luften beror till en relativt stor del på egna utsläpp, speciellt i områden med mer omfattande jordbruk. Den totala (våt- och torr) depositionen av svavel och kväve över Västmanland domineras av våtdeposition av långväga transporterade föroreningar. Inom Västmanlands län varierade under 1994 den beräknade totala svaveldepositionen mellan knappt 400 mg S/m^2 (i öster) till 500 mg S/m^2 (i väster). Motsvarande siffror för oxiderat kväve är från 300 mg N/m^2 i sydost vid Mälaren till 450 mg N/m^2 längst i väster samt i närheten av Västerås. Den regionala depositionen av reducerat kväve beräknas variera från knappt 250 mg N/m^2 i norr till drygt 350 mg N/m^2 i länets södra jordbruksbygder.

En luftföroreningsbudget har beräknats för år 1994 för Västmanlands län. För svavel är importen från övriga Sverige plus internationell långtransport ca 14 gånger så stor som exporten från länet, medan förhållandena är markant annorlunda för kväve. Importen av reducerat kväve är endast knappt 3 gånger så stor som exporten, och för oxiderat kväve är export och import i det närmaste lika stora. Det innebär alltså att Västmanland emitterar ungefär lika mycket oxiderat kväve som totalt deponeras över området.

Jämförelser har gjorts mellan modellresultat och regionala mätdata för såväl halter i luft som deposition. Dessa jämförelser talar för att MATCH-Västmanland i landsbygdsområden överskattar marknära halter i luft och att detta orsakas av en överskattning av bidragen från de svenska källorna. För SO_2 är denna överskattning liten, men för NO_2 kan den vara så stor som 50-100%, dvs nästan en fördubblad halt, i skogsområden långt från lokala källor. I dessa områden är dock totalhalterna i luft låga. Det är viktigt att observera att varken MATCH-beräkningarna av torrdeposition eller våtdeposition från de svenska källorna påverkas av denna överskattning av halterna i marknära luft. MATCH-systemets primära syfte att kartlägga den regionala depositionen påverkas alltså inte. I tätorter fås i stället en underskattning av de maximala halterna i luft, som sammanhänger med modellens begränsade horisontella upplösning.

Vid jämförelserna för våtdeposition har vi funnit att de fem regionala mätstationerna i Västmanland ger en stor spridning i uppmätta våtdepositionsvärden. Resultaten av de studier vi gjort tyder på att mätstationerna inte är helt representativa på regional skala utan främst speglar variationer orsakade av lokala effekter. MATCH-Västmanland beräkningarna ger mindre variationer i depositionen över området och det är vår bedömning att det systemet ger en god bild av den regionala fördelningen av den våta föroreningsdepositionen till öppet fält. Medelvärde för uppmätta krondropsdata till samtliga stationer överensstämmer bra med modellberäkningarna när det gäller att uppskatta torrdepositionen av svavel. Det finns dock stora skillnader i mätdata mellan enskilda närliggande mätstationer som modellberäkningarna inte kan förklara. Möjligen kan även dessa mätningar vara påverkade av lokala effekter. Trots denna osäkerhet i

bedömningen av mätdata är vår uppfattning att MATCH-Västmanland ger en god bild av den regionala fördelningen av den torra föroreningsdepositionen.

Prognosresultaten avseende total (våt+torr) deposition för år 2010 redovisas. För svavel beräknas det svenska bidraget förbli ungefär oförändrat enligt prognosen, medan den internationella långtransporten minskar till knappt hälften av 1994 års nivå. Det medför att även den totala svavelbelastningen beräknas minska kraftigt över Västmanland. För oxiderat kväve kommer det, enligt prognosen, att bli en minskning av depositionen ner till ca 60% av 1994 års värden, medan ammoniumkväve i huvudsak kommer att minska p.g.a. Västmanlands egna emissionsminskningar. Länets egna ammoniakutsläpp kommer enligt prognosen att bli ca 75% av 1994 års nivå, medan övriga Sveriges och långtransportens bidrag endast kommer att minska marginellt.

1. INLEDNING

SMHI har under 1990-talet successivt utvecklat ett modellsystem för regional spridning av luftföroreningar, som benämns MATCH (**M**esoscale **A**tmospheric **T**ransport and **C**hemistry model). MATCH-systemet kan idag tillämpas för flera olika skalor och problemställningar. En modell som täcker Sverige och angränsande havsområden utnyttjas sedan ca tre år tillbaka inom den nationella miljöövervakningen. Inom ramen för det generella MATCH-systemet har vi i den här studien, på uppdrag av Västmanlands läns luftvårdsförbund, tagit fram en mera högupplöst spridningsmodell för enbart Västmanlands län (MATCH-Västmanland). Samtidigt har MATCH-systemet vidareutvecklats så att en envägs koppling nu kan göras mellan den mer storskaliga MATCH-Sverige (Sverigemodellen) och en relativt högupplöst länsmodell. Det innebär att såväl länets egna föroreningsutsläpp, som föroreningsutsläpp från svenska källor utanför den aktuella länsmodellen, kan simuleras i relativt stor detalj över länet. Dessa båda föroreningsbidrag kan dessutom lätt separeras vid resultatpresentationer. MATCH-Västmanland är den första länsmodell som vi på detta sätt kopplat samman med Sverigemodellen.

Olika versioner av MATCH-systemet har redan presenterats i flera rapporter. Sverigemodellen finns redovisad på svenska, baserad på 1991 års data, i [1] och på engelska, baserad på 1994 års data, i [2]. En länsstudie för de tre västkustlänen framgår av [3] och i [4] finns en kortfattad allmän presentation av hur MATCH-systemet på flera skalor utnyttjats inom luftmiljöanalyser och miljöövervakning i Sverige.

De föroreningskomponenter, som inkluderats i denna studie är olika former av SO_x -svavel, NO_x -kväve och NH_x -kväve. De viktigaste formerna och kemiska reaktionerna för dessa ämnen har inkluderats.

Förklaringen till några fackuttryck samt vissa omräkningsfaktorer för halter och depositionangivelser finns i bilaga 1.

2. SYFTE

Syftet med denna studie är att göra:

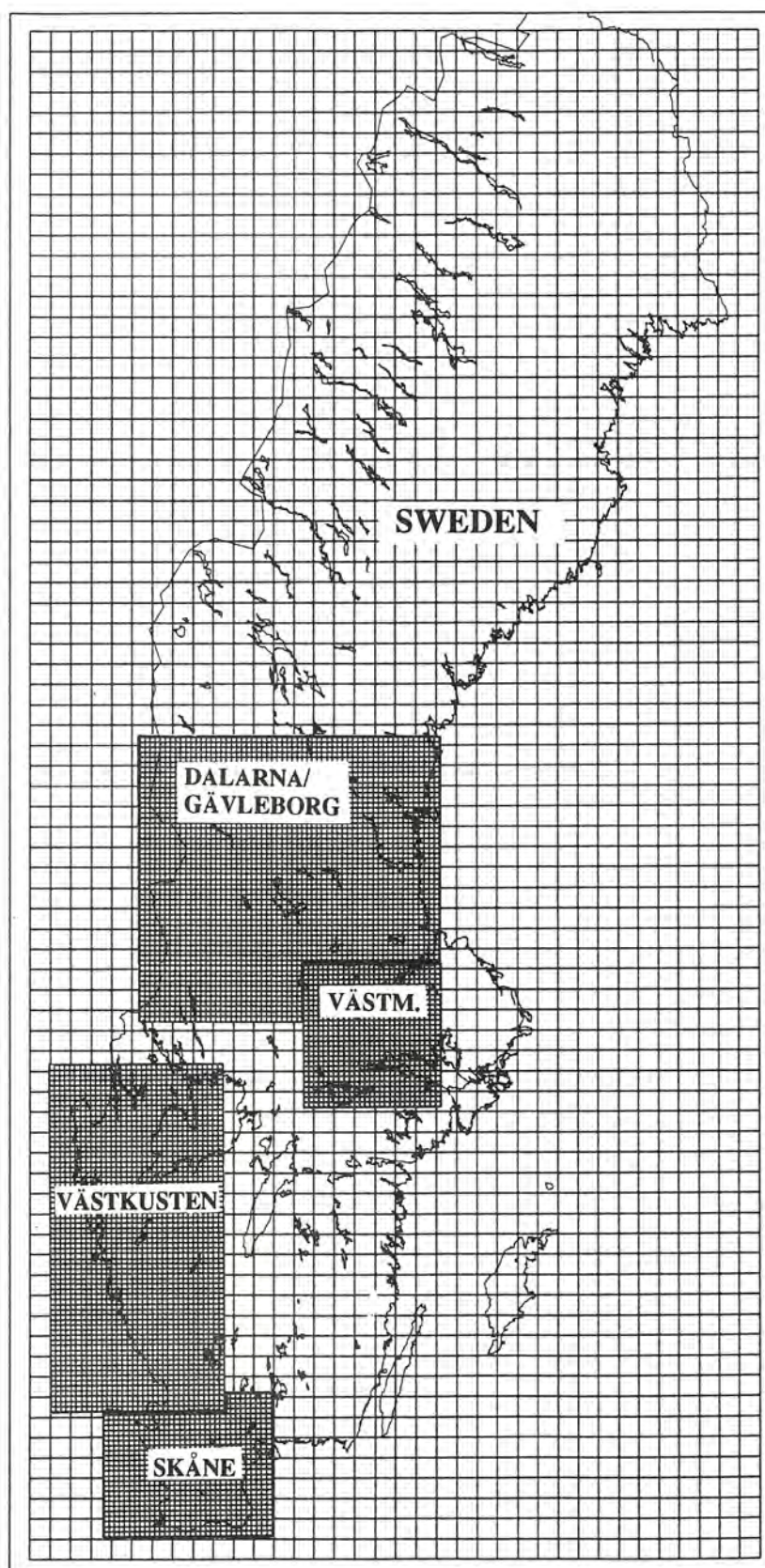
- regionala modellberäkningar av Västmanlands läns föroreningsbidrag till halter i luft och deposition till mark inom det egna länet
- modellberäkningar av övriga Sveriges föroreningskällors bidrag till halt och deposition över Västmanland
- beräkningar av den långväga (internationella) transportens betydelse för halt och deposition över Västmanland baserade på en kombination av modellresultat från MATCH-systemet och mätdata från den nationella miljöövervakningen
- jämföra regionala miljöövervakningsmätningar i Västmanland med resultat från MATCH-systemet för länet och för den nationella miljöövervakningen. Utifrån dessa jämförande studier ta fram förslag på önskvärda förändringar eller kompletteringar av den framtida regionala luftmiljöövervakningen i länet
- beräkna en luftföroreningsbudget för Västmanland för år 1994
- göra prognosberäkningar för föroreningsdepositionen till Västmanland år 2010.

3. MODELLSYSTEMET MATCH-VÄSTMANLAND

I kapitel 1 ovan ges en kort bakgrund till den numeriska spridningsmodellen MATCH och de modellversioner, bl.a. den relativt storskaliga Sverigemodellen och de mer högupplösta länsmodellerna, som hittills tagits fram för olika svenska områden. Av figur 1 framgår de olika modellområdena. För Sverigemodellen utnyttjas 20x20 km beräkningsrutor medan Västmanlandsmodellen, som tagits fram i denna studie, och övriga länsmodeller är baserad på 5x5 km beräkningsrutor. Nedan ges en översiktlig beskrivning av MATCH-modellen och det system som utnyttjas, där en högupplöst modell över Västmanland kopplas samman med den mera storskaliga Sverigemodellen och de analyser som där görs av den långväga föroreningstransporten från källor utanför Sverige. En del facktermer förekommer med nödvändighet i denna beskrivning. De läsare, som inte önskar tränga in i dessa frågor, kan direkt gå vidare till kapitel 4, utsläppsdata, alternativt kapitel 7, som redovisar resultaten från den regionala luftmiljöanalysen.

3.1 MATCH modellbeskrivning

Den grundläggande spridningsmodellen MATCH, som ligger till grund för såväl Sverigemodellen som Västmanlandsmodellen och övriga länsmodeller är en eulersk spridningsmodell, som inkluderar fysikaliska och kemiska processer som styr utsläpp, atmosfärisk transport och spridning, kemisk omvandling samt våt- och torrdeposition av oxiderat svavel, oxiderat och reducerat kväve.



Figur 1. Modellområdet för hela Sverige, med 20x20 km beräkningsrutor, samt modellområdena för de mer högupplösta länsmodellerna, med 5x5 km beräkningsrutor, som hittills tagits fram inom MATCH-systemet. MATCH-Västmanland utgör en av dessa länsmodeller.

Dessa modellversioner har endast tre vertikala nivåer, men genom att andra och tredje skiktet varierar i tjocklek beroende på de meteorologiska förhållandena, fås en god fysikalisk beskrivning av spridningsprocesserna trots det begränsade antalet vertikala nivåer. Modellens lägsta skikt har en fix tjocklek av 75 m. Modellens andra skikt följer värdet på blandningshöjden, som beräknas från standardmeteorologiska fält och varierar i tid och rum. (Det bör observeras att i en nyligen färdigställd vidareutveckling av MATCH-modellen, kan beräkningarna utföras för ett godtyckligt antal vertikala modellnivåer, se [5]. Den modellversionen är dock mycket datorkrävande och används f.n. enbart i forskningsprojekt och för haverimodellering på Europaskala.)

Den horisontella advektionen beräknas genom att man använder ett fjärde ordningens flödeskorrektionschema [9, 10]. Schemat utnyttjar polynomanpassning av koncentrationsfältet mellan närbelägna gridpunkter för att simulera det advektiva flödet genom gränstorna mellan intilliggande gridboxar.

Den vertikala advektionen beräknas genom att man utnyttjar ett första ordningens (uppströms-) schema. Den vertikala diffusionen mellan lagren 1 och 2 är, för det konvektiva fallet, beskrivet genom en bestämning av omsättningstiden för hela gränsskiktet, baserad på similaritetsteori. För de neutrala och stabila fallen beskrivs den vertikala diffusionen genom en parametrisering, baserad på en 40-lagers, endimensionell s k K-modell, där K är den turbulenta utbyteskoefficienten. Vertikal transport skapas också av den rumsliga och tidsmässiga variationen av blandningshöjden.

De meteorologiska analyserna för ett stort antal parametrar görs för var tredje timma och läses in i spridningsmodellen. Väderdata för varje gridpunkt och vertikalnivå interpoleras därefter till 1h-värden. Det övergripande tidssteget i spridningsmodellen är 6 minuter, men vissa beräkningar, som t ex delar av kemin, görs med kortare tidssteg.

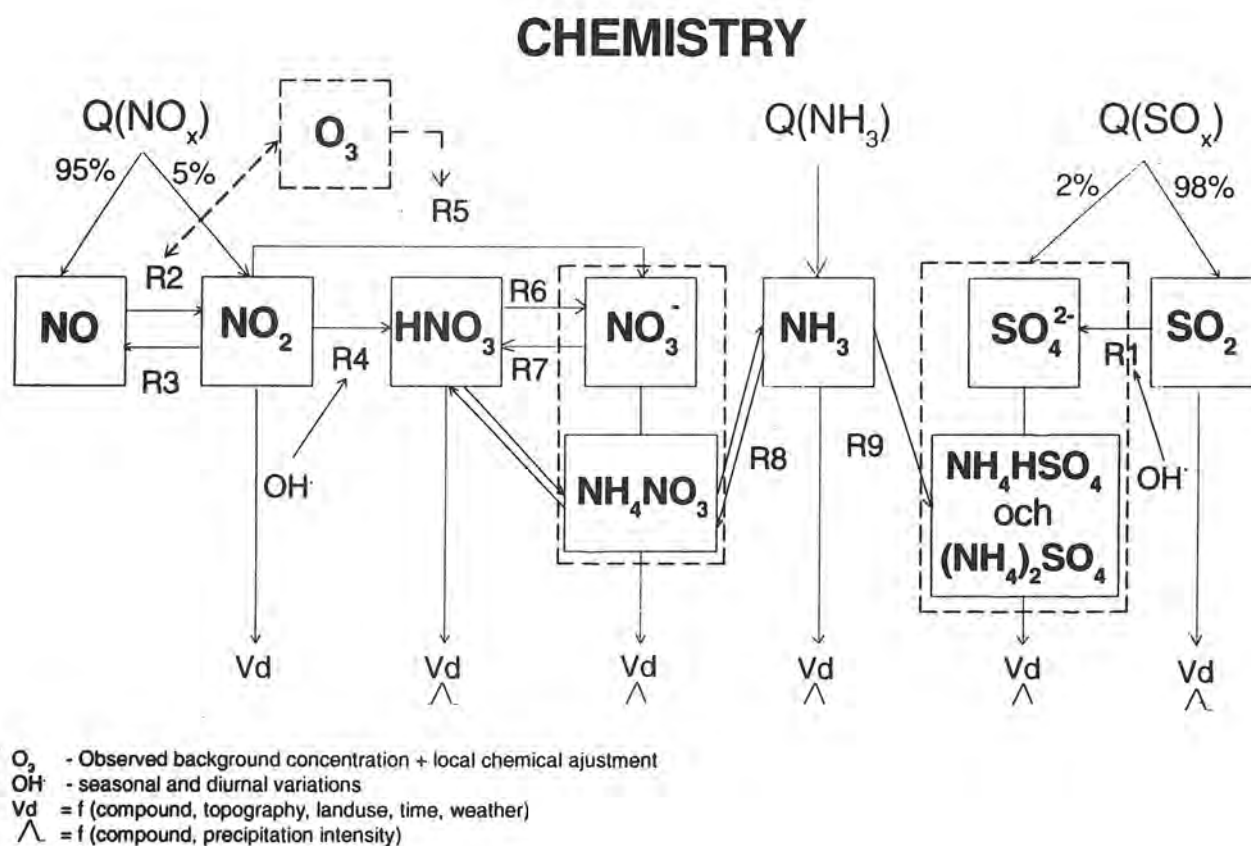
3.1.1 Emissioner

Föroreningsemissionerna kan i modellen specificeras både som yt- och punktkällor och med en hög upplösning i tiden. Emissionernas variation i tiden specificeras med hjälp av olika tidsfunktioner. Utsläppen från marknära ytkällor introduceras direkt i modellens lägsta lager, medan utsläpp från punktkällor fördelas i modellens olika skikt beroende på bl. a. skorstenshöjd, rökgasmängd, rökgastemperatur och eventuella aerodynamiska nedsug intill skorstenar och byggnader.

De i emissionsinventeringen separatbehandlade punktkällorna för varje ämne klassas i tre klasser med hänsyn till skorstenshöjden och plymlyft för varje punktkälla. Emissionsviktad källkaraktistik (skorstensdiameter, skorstenshöjd, rökgasmängd och rökgastemperatur) beräknas för varje klass. Denna information används sedan för beräkning av plymlyft och vertikal spridning för respektive klass. Emissionsfördelningen mellan olika klasser tas givetvis fram för varje ruta, varje ämne och varje källtyp för sig. Nya beräkningar av plymlyft och vertikal spridning görs för varje timma, eftersom de variablerna är beroende av såväl källkaraktistik som meteorologiska förhållanden.

3.1.2 Kemi

Kemin i modellen, överensstämmer i stora drag med vad som används i EMEP-modellen [11] för beräkningar av svavel och kvävetransport över Europa. (EMEP är ett europeiskt samarbetsprojekt inom Europa för studier av långväga föroreningstransport.) Följande ämnen är inkluderade: Svaveldioxid (SO_2), ammoniumsulfat $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ och NH_4HSO_4), övriga sulfatpartiklar (SO_4^{2-}), kväveoxid (NO), kvävedioxid (NO_2), ammoniumnitrat (NH_4NO_3), andra nitratpartiklar (NO_3^-), salpetersyra (HNO_3) och ammoniak (NH_3). En lokal fotokemisk anpassning av O_3 -halten inom modellområdet görs också. Detta sker med utgångspunkt från observerade halter över Sverige, timme för timme, vid de nationella atmosfärkemiska stationerna [se 1,2]. O_3 -halter har framför allt betydelse för beräkningarna av NO_2 i tätortsområden. I figur 2 illustreras det kemiska schema, som utnyttjas i modellen.



Figur 2. Kemiska schema för MATCH-Sverige och MATCH-Västmanland modellerna.

3.1.3 Fysiografi (markanvändning)

En kartläggning i 5x5 km rutor av Västmanlandsmodellens område har gjorts avseende topografi, markskrovlighet och s.k. fysiografi. Fysiografidatabasen innehåller information om markanvändningen i varje 5x5 km ruta, uppdelat (%) inom varje ruta av: vattenyta, skog, öppen mark och stadsbebyggelse. Denna kartläggning av topografi och fysiografi utnyttjas dels för de meteorologiska analyserna, bl.a. för beräkning av turbulensen, dels för beräkning av den s.k. torrdepositionen av föroreningar.

3.1.4 Deposition

Den beräknade våtdepositionen av de olika ämnena är proportionell mot nederbördsintensiteten och en ämnesspecifik uttvättningskoefficient. Uttvättningen med nederbörden i varje beräkningsruta beräknas för varje timma med hänsyn till en detaljerad kartläggning av nederbördsförhållandena inom modellområdet, baserad på

- väderinformation var tredje timma från svenska s.k. synoptiska väderstationer, främst utnyttjas de ca 5 stationerna inom eller omedelbart intill Västmanlands modellområde
- uppmätt nederbördsmängd var tolfte timma från de synoptiska väderstationerna
- uppmätt månadsnederbörd från de svenska speciella nederbördsstationerna, störst roll spelar de ca 20 nederbördsstationerna inom eller omedelbart intill Västmanlands modellområde
- beräknad variation i nederbördsmängden beroende på markytans topografi.

Givetvis är uttvättningen med nederbörden i hög grad beroende av vilket ämne som avses. För t.ex. SO_2 spelar även årstiden en roll.

Torrdepositionen är proportionell mot koncentrationen i lägsta modellnivå och en ämnesspecifik torrdepositions-hastighet. Eftersom det lägsta modellsiktet har en tjocklek på 75 m, görs en transformering av torrdepositionens flödesberäkning till mitten på detta skikt genom att man utnyttjar similaritetsteorin för det atmosfära ytsiktet.

De parametervärden avseende sänkprocesserna (torrdeposition och våtdeposition) som har utnyttjats har hämtats från en rad aktuella publikationer. Genom att modellen innehåller information om markytans fysiografi (öppen mark, skog, vatten, stad), och en beskrivning av sänkprocessernas variation under året och under dygnet samt vid olika väderförhållanden och olika nederbördsintensitet eftersträvas, fås en stor variation i värdena för depositionshastighet och uttvättningskoefficient för varje ämne som studeras. Så t.ex. kan torrdepositionshastigheten för NO_2 variera från 0 (över vatten) till 1.0 cm/s (över skog vid kraftig turbulens under sommardagar). Liknande variationer förekommer för övriga ämnen.

3.2 Långtransport av luftföroreningar

I Sverigemodellen, som årsvis körs operationellt inom den nationella miljöövervakningen, har en metodik tagits fram för att bestämma de långväga föroreningsbidragen över Sverige. Den bygger på en kombination av modellberäkningar och föroreningsmätningar från svenska bakgrundsstationer (EMEP- och PMK-stationer).

Metodiken innebär att för varje dygn och varje föroreningskomponent (SO_2 , NO_2 , etc i luft och SO_4 , NO_3 etc i nederbörd) beräknas, med Sverigemodellen, de svenska källornas bidrag till halten i luft och halten i nederbörd vid de platser för vilka bakgrundsmätningar finns tillgängliga. De beräknade svenska haltbidragen i luft och nederbörd subtraheras därefter dygnsvis från de observerade halterna av motsvarande föroreningskomponenter vid de ca 40 svenska stationer som utnyttjas. De resterande halterna tolkas som långtransportbidrag och antas variera enbart på en relativt stor geografisk skala. Slutligen görs en statistisk analys (interpolation) av långtransportbidraget för varje föroreningskomponent över hela modellområdet. I [1] diskuteras mer ingående denna teknik för beräkning av den långväga föroreningstransporten och jämförelser görs mot oberoende data, som visar att den ovan skisserade metodiken för beräkning av den långväga föroreningstransporten är rimlig.

3.3 Koppling: Sverigemodell - högupplöst länsmodell

Det kan i flera sammanhang vara av stort intresse att kunna jämföra föroreningsbidragen från ett enskilt läns egna källor med de föroreningar som transporteras dit med vindarna dels från källor i övriga Sverige, dels från källor belägna utanför Sverige. Vi har därför i denna studie tagit fram rutiner så att resultat erhållna från den relativt storskaliga Sverigemodellen kan kopplas till en mera högupplöst länsmodell på ett sådant sätt att en förbättrad upplösning i Sverigemodellens resultat kan erhållas över länsmodellens område. Denna koppling mellan Sverigemodellen och en länsmodell är inte någon komplett envägs modellkoppling, som kan innebära stora numeriska svårigheter, utan en förenklad teknik för att kunna utnyttja den höga upplösningen i fysiografiska och meteorologiska data över länsmodellens område. Med denna teknik kan såväl övriga Sveriges bidrag som de långväga föroreningsbidragen beskrivas med högre upplösning över länsmodellens område.

Beräkningsförfarandet vid denna förenklade modellkoppling består av följande steg:

- A. **Länets egna föroreningsbidrag** beräknas med högupplöst (5x5 km) länsmodell med utnyttjande av meteorologiska data i samma upplösning samt länets egna högupplösta emissionsdata. Beräkningarna görs för visst år, för vilket Sverigemodellen redan utnyttjats inom den nationella miljöövervakningen. I denna studie har data för år 1994 utnyttjats.
- B. Sverigemodellen körs för hela Sveriges minus det aktuella länets emissioner för samma år som i punkt A ovan. Erhållna föroreningshalter i luft och föroreningshalter i nederbörd, som alltså utgör **övriga Sveriges bidrag**, interpoleras till den högupplösta länsmodellens rutnät. Dessa halter i luft och halter i nederbörd utnyttjas därefter tillsammans med länsmodellens högupplösta meteorologiska och fysiografiska information till att beräkna en detaljerad torr- och våtdeposition över länsmodellens område. Samma beräkningsrutiner, som ligger till grund för

beräkningarna av våt och torr deposition i den egentliga MATCH-modellen, utnyttjas även i dessa depositionsberäkningar. Genom att samma meteorologiska och fysiografiska data, men med olika upplösning, ligger till grund för både Sverigemodellen och länsmodellen blir resultaten i de båda modellerna konsistenta.

- C. Inom den nationella miljöövervakningen görs, med utnyttjande av atmosfärkemiska mätdata, beräkningar av de **långväga (internationella) föroreningsbidragen** till halter i luft och halter i nederbörd. Dessa resultat bearbetas därefter på samma sätt som under punkt B ovan för att erhålla en detaljerad kartläggning av den långväga transportens bidrag till torr- och våtdepositionen över länsmodellens område. Även i detta fall blir resultaten i länsmodellen konsistenta med de resultat för långtransport som fås i Sverigemodellen.

Detta förfarande innebär att mera högupplösta meteorologiska och fysiografiska data kan utnyttjas för torr- och våtdepositionsberäkningarna över länsmodellens område, jämfört med vad som ingår i Sverigemodellen, vilket bör leda till att noggrannheten i kartläggningarna förbättras. I den här studien har vi tillämpat metodiken för Västmanlands län, men samma teknik kan utnyttjas för godtyckligt område i Sverige. Diskussion av jämförelser mellan dessa beräkningar och regionala mätdata redovisas i avsnitten 7.2-7.4.

3.4 Något om osäkerheten i modellberäkningarna

MATCH-systemet är sammansatt av flera samordnade modeller och kombinerar dessutom resultat från en konventionell spridningsmodellering med mätdata från nationella atmosfärkemiska mätstationer. Detta gör det mycket svårt att precisera osäkerheten i de olika resultat som erhålls. Rent allmänt kan dock sägas att osäkerheten i de slutresultat som presenteras beror på osäkerheter i :

- de teoretiska formuleringarna i MATCH-modellerna för Västmanland och Sverige samt i systemet för objektiv analys av den långväga föroreningstransporten
- meteorologiska indata till modellerna
- emissionsdata för Västmanland och Sverige
- utnyttjade värden för depositionsparametrar och markanvändningsdata
- atmosfärkemiska mätdata från de nationella bakgrundsstationerna som ligger till grund för långtransportberäkningarna.

Det enklaste sättet att bedöma osäkerheten i beräkningarna är att, så långt det är möjligt, jämföra beräkningsresultat med oberoende mätdata, vilket vi också gjort i den här studien. Vid en sådan jämförelse måste man dock vara medveten om att osäkerheter också kan finnas i dessa oberoende mätdata eller i deras representativitet på den skala som modellsystemet beskriver. MATCH-Västmanland modellen har en horisontell upplösning på 5x5 km och lägsta vertikala skikt är 75 m. Det innebär att de beräknade depositionsvärdena avser ytmedelvärden över 25 km² och de beräknade halterna i marknära luft avser ett volymsmedelvärde med 25 km² yta och en vertikal utsträckning på 75m. Resultat från jämförelser med oberoende mätdata presenteras i avsnitt 7.2 nedan.

De totala våtdepositionsvärdena och lufthalterna torde vara tämligen säkra, eftersom dessa bygger på mätdata från det nationella atmosfärkemiska nätet samt en mycket detaljerad

kartläggning av nederbördsfördelningen. Däremot är troligen de relativa osäkerheterna något större för de enskilda bidragen från Västmanlands källor och övriga Sveriges källor, eftersom dessa är beroende av såväl osäkerheter i de teoretiska formuleringarna som i en rad olika typer av indata, bl.a. emissionsdata. Dessutom torde t.ex. total torrdeposition, som bygger på enstaka experimentellt bestämda värden på depositionshastigheter, vara mera osäker än total våtdeposition som baseras på regelbundet uppmätta nederbördsmängder och halter i nederbörd.

4. UTSLÄPPSDATA

Emissionsdata för denna studie baseras på Västmanlands Läns Luftvårdsförbunds (VLL) regionala emissionsdatabas i Airviromiljö avseende år 1994, som dock endast är en bearbetning av den fullständiga emissionsinventeringen för 1993. VLLs sammanställning av emissionsdata är uppdelad på en rad olika källtyper som t.ex. vägtrafik, arbetsfordon, industriprocess med flera. För ytkällor, linjekällor och små punktkällor har utsläppsdata sammanställts i ett 5x5 km rutnät över länet, samma rutnät som används av SMHI för modellberäkningarna (se avsnitt 3.1), medan de ca 45 punktkällor med störst årsemissioner har redovisats separat med avseende på emission, skorstenshöjd och rökgasdata. För såväl de olika typerna av ytkällor som för de individuella punktkällorna har VLL delat in dem i 15 olika årsvariationsklasser, där emissionens relativa storlek anges månad för månad. I tabell 1 framgår de ingående källtyperna, samt årsemissionen för 1994 av SO₂, NO_x och NH₃ för respektive källtyp.

Emissionsdata från VLL har bearbetats vid SMHI för att kunna läsas in i MATCH-Västmanland modellen. Därvid har antalet årsvariationsklasser som VLL utnyttjar reducerats till 6 tidsfunktioner för årsvariation, samtidigt som 4 tidsfunktioner för veckovariation och 4 tidsfunktioner för dygnsvariation av emissionerna har införts. Dessa olika tidsfunktioner, och vilka källtyper som utnyttjar respektive funktion, redovisas i tabellerna 2-4. I arbetet med att bestämma de olika tidsfunktionerna har erfarenheter från bl.a. tidigare MATCH-körningar för Västskulälänen [3] utnyttjats. För västkuststudien fanns en detaljerad regional emissionsdatabas, EDB-Väst, tillgänglig.

Tabell 1. Totala årsemissioner (ton/år) från källor i Västmanlands län, avseende år 1994, av SO₂, NO_x (som NO₂) och NH₃ för de olika källtyper som studerats. (Enheten g/s erhålls genom att dividera med 31,54). Data från VLL.

	SO ₂ (ton/år)	NO _x (ton/år)	NH ₃ (ton/år)
1. Industri/process + sjöfart > 300bt			
Ytkällor	27,5	129	-
2. Industri/förbränning + energi- anlägg. + småsk. uppv.			
Ytkällor	84,5	173	-
3. Vägtrafik			
Ytkällor	46,5	4438	-
4. Arbetsfordon/(ej jordbruk) + flyg			
Ytkällor	9,2	1451	-
5. Arbetsfordon/jordbruk + arbetsredskap			
Ytkällor	5,3	745	-
6. Småbåtar			
Ytkällor	1,6	229	-
7. Djurhållning			
Ytkällor	-	-	1088
8. Separatredovisade källor			
Punktkällor	489,4	1231	105
SUMMA	664	8396	1193

Tabell 2. Emissionens variation mellan olika månader (årsfunktion) för de sex årsfunktioner, som utnyttjats för Västmanlands läns egna emissioner i MATCH-beräkningarna.

Årsfunktion	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
YF1	0,993	0,993	0,993	1,038	1,014	1,066	1,010	1,011	0,963	0,963	0,963	0,993
YF3	0,12	0,24	0,24	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	0,24	0,24
YF4	0,156	0,30	0,30	0,756	1,5	3,0	3,0	1,5	0,756	0,30	0,30	0,156
YF5	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	0,252	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068
YF6	1,55	1,55	1,20	1,08	0,84	0,60	-	0,60	0,84	1,08	1,20	1,44
YF7	0,30	0,30	0,40	1,60	2,35	2,35	1,60	1,60	0,40	0,40	0,40	0,30

Tabell 3. Emissionens variation mellan olika veckodagar (veckofunktion) för de fyra veckofunktioner, som utnyttjats för Västmanlands läns egna emissioner i MATCH-beräkningarna.

Veckofunktion	Mån	Tis	Ons	Tor	Fre	Lör	Sön
WF1	1,073	1,073	1,073	1,073	1,073	0,884	0,75
WF2	0,625	0,625	0,625	0,625	1,00	1,75	1,75
WF3	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,98	0,96
WF4	1	1	1	1	1	1	1

Tabell 4. Emissionens variation mellan olika timmar under dygnet (dygnsfunktion) för de fyra dygnsfunktioner, som utnyttjats för Västmanlands läns egna emissioner i MATCH-beräkningarna.

Dygnsfunkt.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
DF1	0,1	0,1	,05	,05	0,1	0,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	1,7	2,1	1,9	2,0	2,2	2,0	1,1	0,9	0,8	0,5	0,4	0,2	0,2
DF2	0,1	0,1	,05	,05	0,1	0,1	0,4	0,9	0,9	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,6	1,4	1,1	1,0	0,7	0,4	0,2	0,2
DF3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
DF4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabell 5. Redovisning av vilka års-, vecko- och dygnsfunktioner som utnyttjats för respektive källtyp inom Västmanlands län. DF1 avser vardagar och DF2 helgdagar.

	Års-funktion	Vecko-funktion	Dygns-funktion
1. Industri/process + sjöfart > 300bt			
Ytkällor	YF5	WF3	DF3
2. Industri - förbränning + energianlägg. + småsk. uppv.			
Ytkällor	YF6	WF3	DF3
3. Vägtrafik			
Ytkällor	YF1	WF1	DF1/DF2
4. Arbetsfordon/(ej jordbruk) + flyg			
Ytkällor	YF1	WF1	DF1/DF2
5. Arbetsfordon/jordbruk + arbetsredskap			
Ytkällor	YF3	WF1	DF1
6. Småbåtar			
Ytkällor	YF4	WF2	DF2
7. Djurhållning			
Ytkällor	YF7	WF4	DF4
8. Separatredovisade källor			
Punktkällor	YF1,3,4,5 eller 6	WF3	DF3

Det kan vara av intresse att beräkna Västmanlands andel av Sveriges totala emissioner. Om vi utgår från Sveriges emissioner så som de antagits i Sverigemodellen [2], för år 1994, får vi följande siffror. För SO₂ utgör de ovan angivna utsläppen för Västmanland 0,66 % av Sveriges totala utsläpp, för NO_x-utsläppen är motsvarande siffra 2,1% och för NH_x-utsläppen 2,1%. Västmanlands läns andel av Sveriges befolkning är 3,3% och dess andel av Sveriges yta är ca 1,4%. Västmanlands svavelutsläpp är alltså små i relation till såväl länets yta som till dess folkmängd.

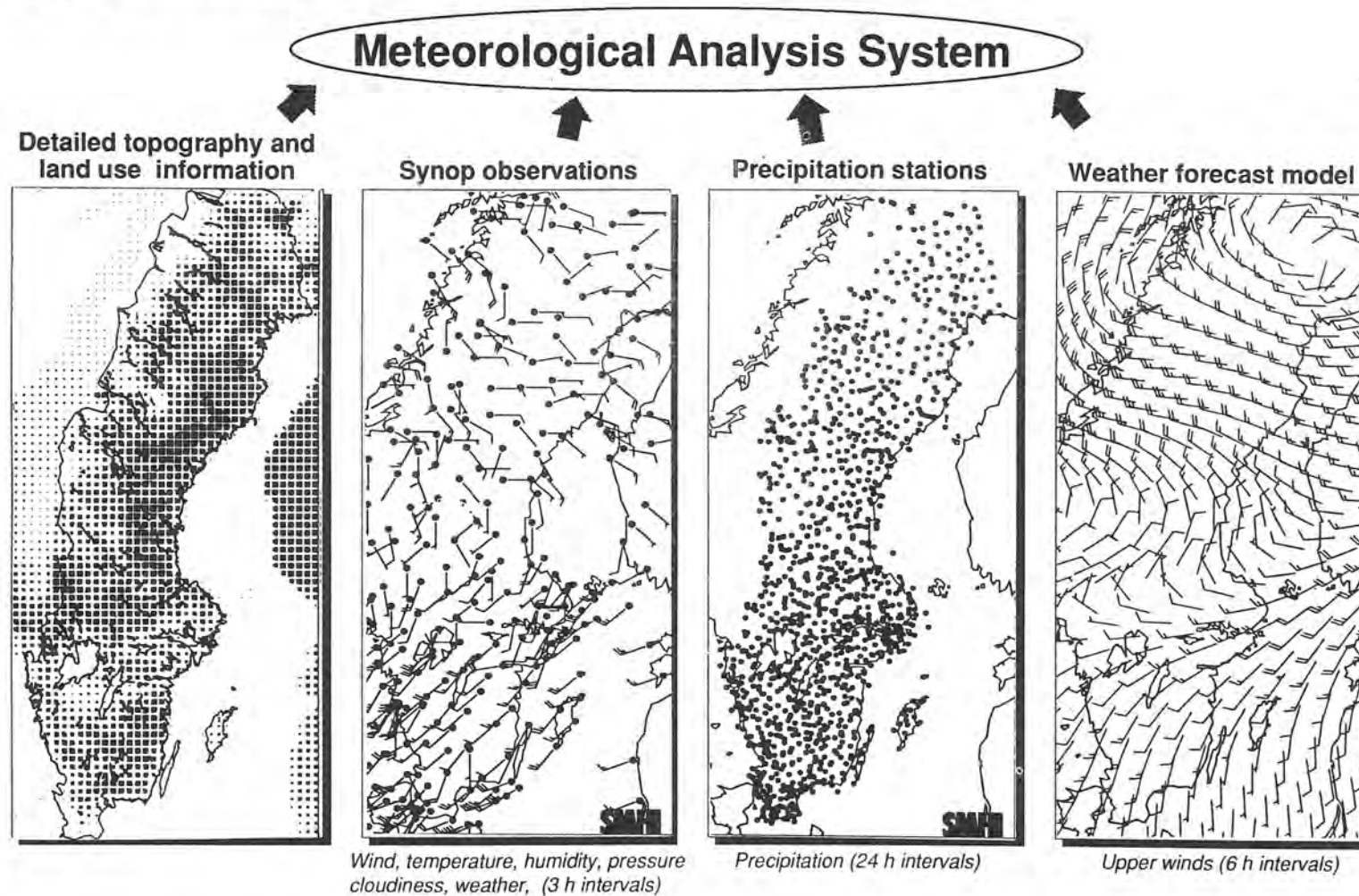
5. METEOROLOGISKA ANALYSER

De meteorologiska analyser, som ingår i MATCH-Västmanland systemet, bygger på analyser gjorda för Sverigemodellen och med utnyttjande av samma metodik [se 1,2], men där upplösningen interpolerats och för vissa parametrar förfinats (från 20x20 km till 5x5 km) så långt det varit möjligt med hänsyn till tillgängliga indata. De meteorologiska parametrar, som ingår i analysystemet för MATCH-Västmanland och utnyttjas för spridningsberäkningarna, är horisontell och vertikal vind, temperatur och fuktighet på olika nivåer samt tryck, molnighet, väder, nederbörds mängd och värme flöde vid marken. Denna information fås från ett stort antal meteorologiska stationer av olika slag samt från analyser med den högupplösta väderprognosmodellen HIRLAM som utnyttjas vid SMHI och i de övriga nordiska länderna. I analysystemet utnyttjas dessutom information med 5 km upplösning över Västmanland om markytans topografi, skrovlighet och markanvändning (skog, öppen mark, vatten, stad som %-andel) tillsammans med väderdata. För nederbördsanalyserna har vi tillgång till ett stort antal mätstationer, som i kombination med beräkningsrutiner där topografins påverkan på nederbörden inkluderas ger en detaljerad kartläggning. En detaljerad kartläggning av nederbörden är viktig, eftersom den spelar stor roll för den totala våtdepositionen av föroreningar. Genom att utgå från Sverigemodellens analyser kan även information från observationer som ligger strax utanför Västmanlands modellområde utnyttjas och ge värdefull information, speciellt i modellens ytterområden. Syftet med systemet är att med hjälp av alla tillgängliga meteorologiska observationer (synoptiska väderstationer, automatstationer, nederbördsstationer, radiosonderingar) erhålla en så riktig meteorologisk beskrivning som möjligt med en geografisk upplösning på 5 km och en tidsupplösning på 3 timmar. Utformningen av systemet för analyserna över Sverige illustreras i figur 3.

Beräkningarna med MATCH-Västmanland har gjorts timme för timme för hela år 1994. Analyserna, som tagits fram för var tredje timma enligt det system som skisseras ovan, har därför interpolerats till timvärden innan de utnyttjas i spridningsberäkningarna.

Beräkningarna i den här studien avser endast år 1994. Några kommentarer kring väderåret 1994 för Västmanland kan därför vara av intresse. Under årets första vintermånader, speciellt februari, var det kallt. Det ledde till att den turbulenta omblandningen av föroreningar nära marken under denna tid var relativt begränsad. Mycket varmt sommarväder rådde under juli. Under året som helhet var temperaturen något över den normala, vilket var 6:e året i rad. Årsnederbörden var i det närmaste normal.

MATCH - SWEDEN



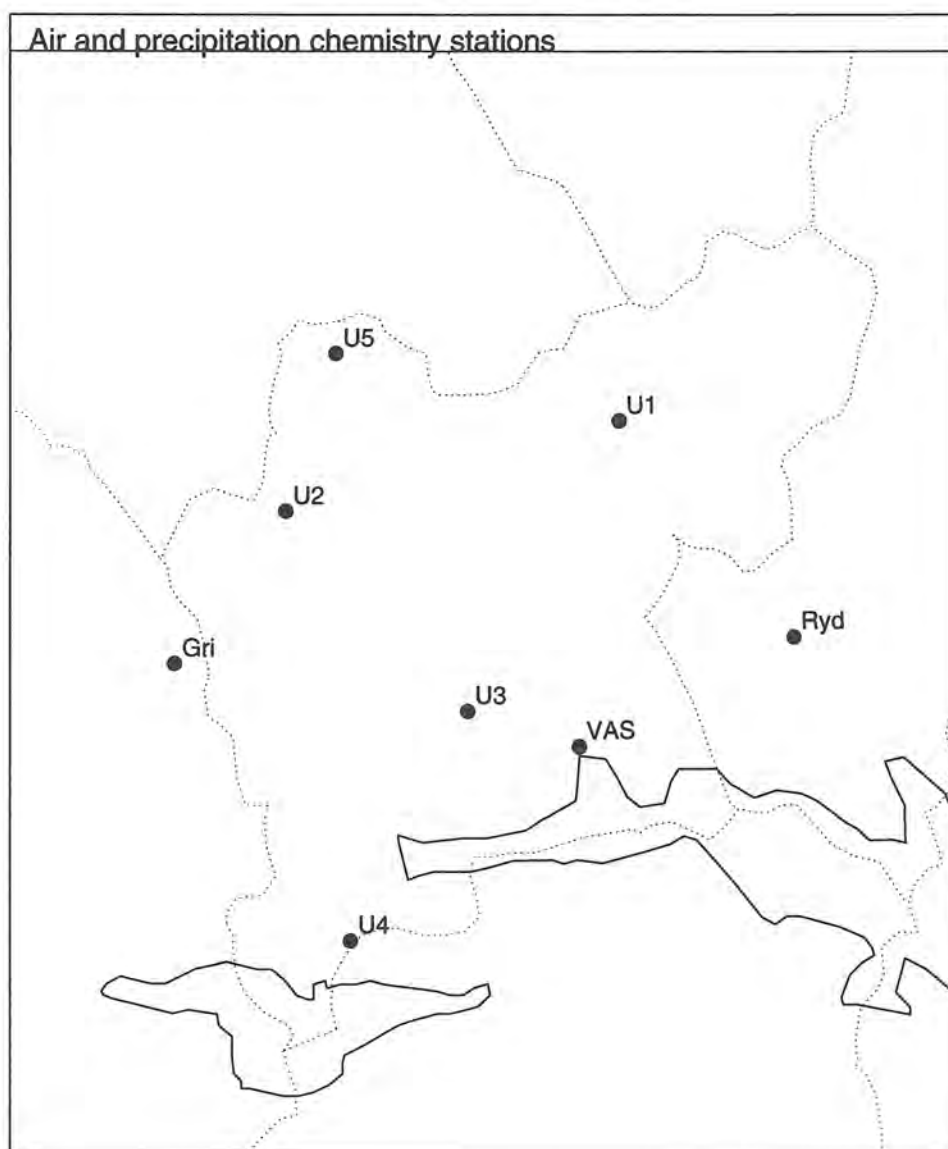
Figur 3. Meteorologiskt analyssystem för MATCH-Sverige modellen.

6. FÖRORENINGSMÄTNINGAR

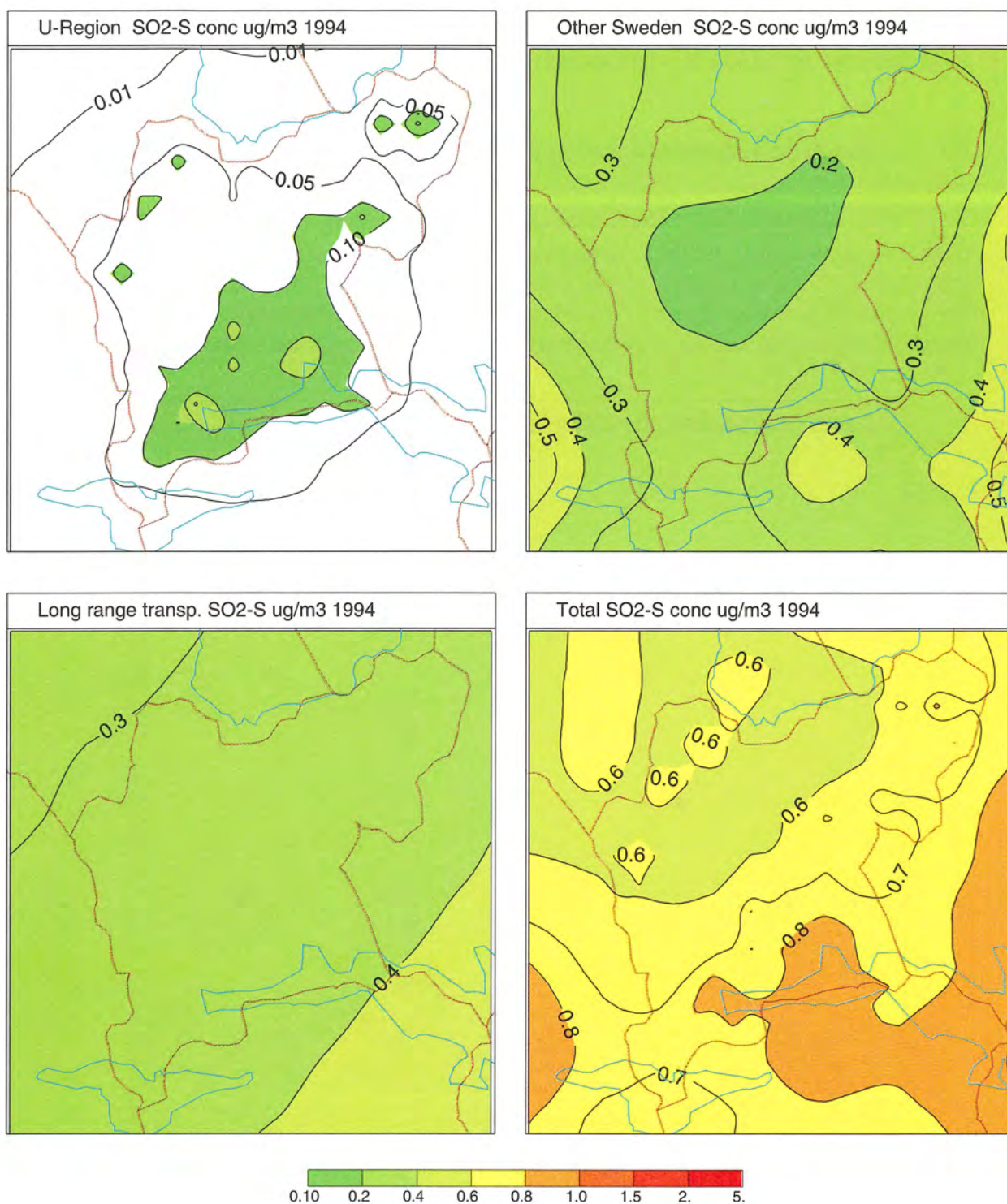
Följande luft- och nederbördskemiska mätningar har varit tillgängliga inom modellområdet för MATCH-Västmanland.

6.1 Nationella nederbördskemiska mätningar

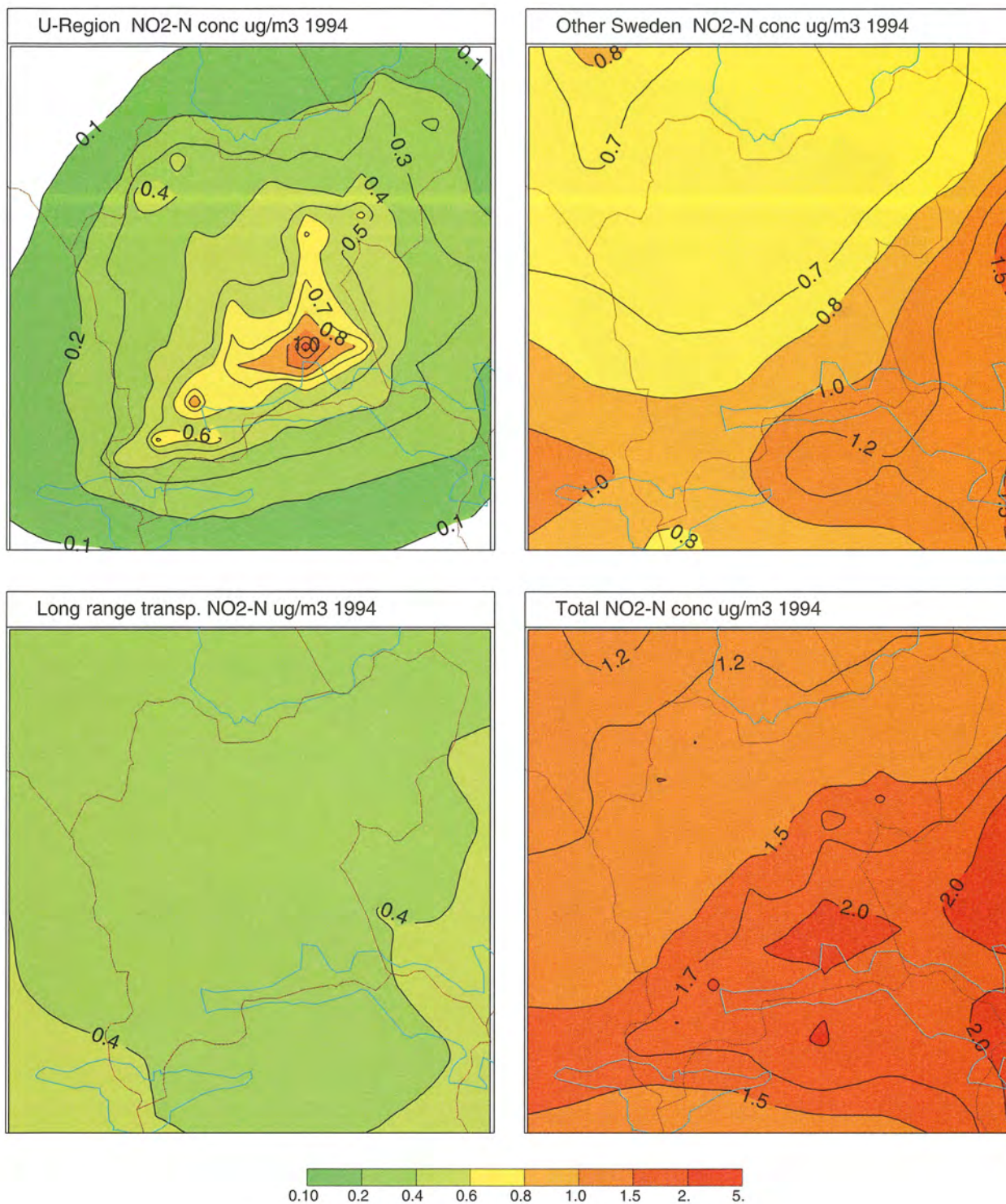
De två nationella nederbördskemiska stationerna Ryda Kungsgård och Grimsö (se figur 4) ligger inom modellområdet. Dessa stationer har dels utnyttjats i de nationella studierna med Sverigemodellen, för bl.a. beräkning av den internationella långtransporten som redovisas i [2], dels utnyttjas dessa stationer för jämförelser i denna studie. I Ryda Kungsgård finns två provtagare, med och utan lock, medan Grimsö endast har provtagare utan lock. Dessa stationer drivs av Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, IVL.



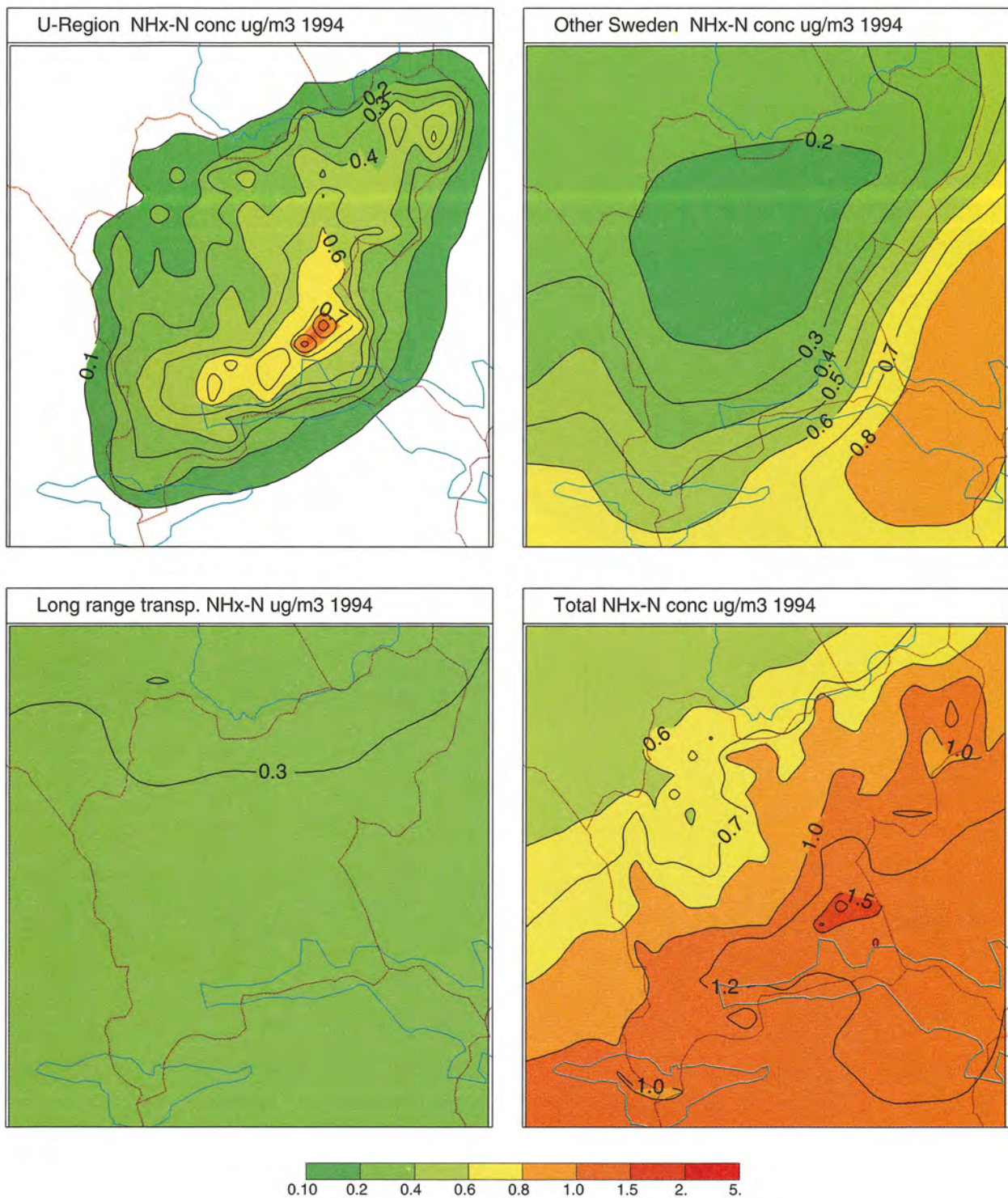
Figur 4. Nationella, regionala och lokala atmosfärkemiska stationer inom MATCH-Västmanlands modellområde, som utnyttjats för luftmiljöanalysen. Gri = Grimsö, Ryd = Ryda Kungsgård, U1-U5 = de regionala stationerna (U1=Finnbo, U2=Godkärna, U3=Vretbacke, U4=Kvisterhult, U5=Karsbo). VAS = Västerås stadshustornet, 30 m över mark.



Figur 5. Jämförelse mellan beräknade årsmedelvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för SO_2 -halt ($\mu g S/m^3$) i luft. Isolinjer för 0,01, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 1,0, 1,2, 1,5, 1,7, 2,0. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



Figur 6. Jämförelse mellan beräknade årsmedelvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för NO₂-halt ($\mu\text{g N}/\text{m}^3$) i luft. Isolinjer för 0,01, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 1,0, 1,2, 1,5, 1,7, 2,0. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



Figur 7. Jämförelse mellan beräknade årsmedelvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för $\text{NH}_x\text{-halt}$ ($\mu\text{g N}/\text{m}^3$) i luft. Isolinjer för 0,01, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 1,0, 1,2, 1,5, 1,7, 2,0. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.

6.2 Regionala nederbördskemiska mätningar - öppet fält och krondropp

Sedan flera år tillbaka bedriver VLL mätningar av nedfall av bl.a. svavel, oxiderat och reducerat kväve på fem lokaler inom länet, stationerna U1-U5 (se figur 4). Provtagning sker dels av nederbörd på öppna ytor (öppetfält mätningar), dels av krondropp på närbelägna skogsytor (krondroppsmätningar). Analyserna samt utvärdering görs av IVL, Aneboda. Analys av nederbörd från öppetfält mätningar syftar till att ge ett mått på det våta nedfallet, medan krondroppsmätningarna syftar till att ge ett mått på den totala belastningen (både torr och våt deposition) i skog av ämnen som inte interncirkuleras i träden, exempelvis svavel och klorid. För vidare information se rapport från IVL [6].

6.3 Regionala mätningar av SO₂ och NO₂ i bakgrundsluft

Mätningar av månadsmedelvärden av SO₂- och NO₂-halter i marknära luft utfördes under 1994 av IVL vid samma fem mätstationer U1-U5 inom länet som utnyttjades för krondroppsmätningar (se figur 4). För dessa haltmätningar utnyttjades passiva provtagare och resultaten finns redovisade av IVL i [6].

6.4 Lokala mätningar av SO₂ och NO₂ i Västerås

Miljö- och hälsoskyddskontoret i Västerås mätningar av SO₂ och NO₂ i taknivå, ca 30 m över mark, vid stadshustornet i centrala Västerås (se figur 4) har funnits tillgängliga för denna studie. Mätningarna utfördes under perioden januari-mars med ett Philips instrument och under april-december med DOAS.

7. REGIONAL LUFTMILJÖANALYS FÖR VÄSTMANLAND

Med hjälp av MATCH-Västmanland systemet har vi dels gjort beräkningar av länets eget bidrag till föroreningssituationen på regional skala, dels av bidragen från övriga Sveriges källor samt bidragen från den internationella långtransporten. Dessutom redovisas totalvärdena. De föroreningskomponenter, som presenteras i miljöanalysen nedan för år 1994 är halter i luft av SO₂, NO₂ och (NH₃ + NH₄⁺) samt våt- och totaldeposition av svavel, NO_x-kväve och NH_x-kväve. Även depositions-prognoser för år 2010 redovisas.

Vi har dessutom gjort jämförelser mellan MATCH-systemets resultat och de regionala mätningarna samt mellan nationella och regionala mätningar inom modellområdet.

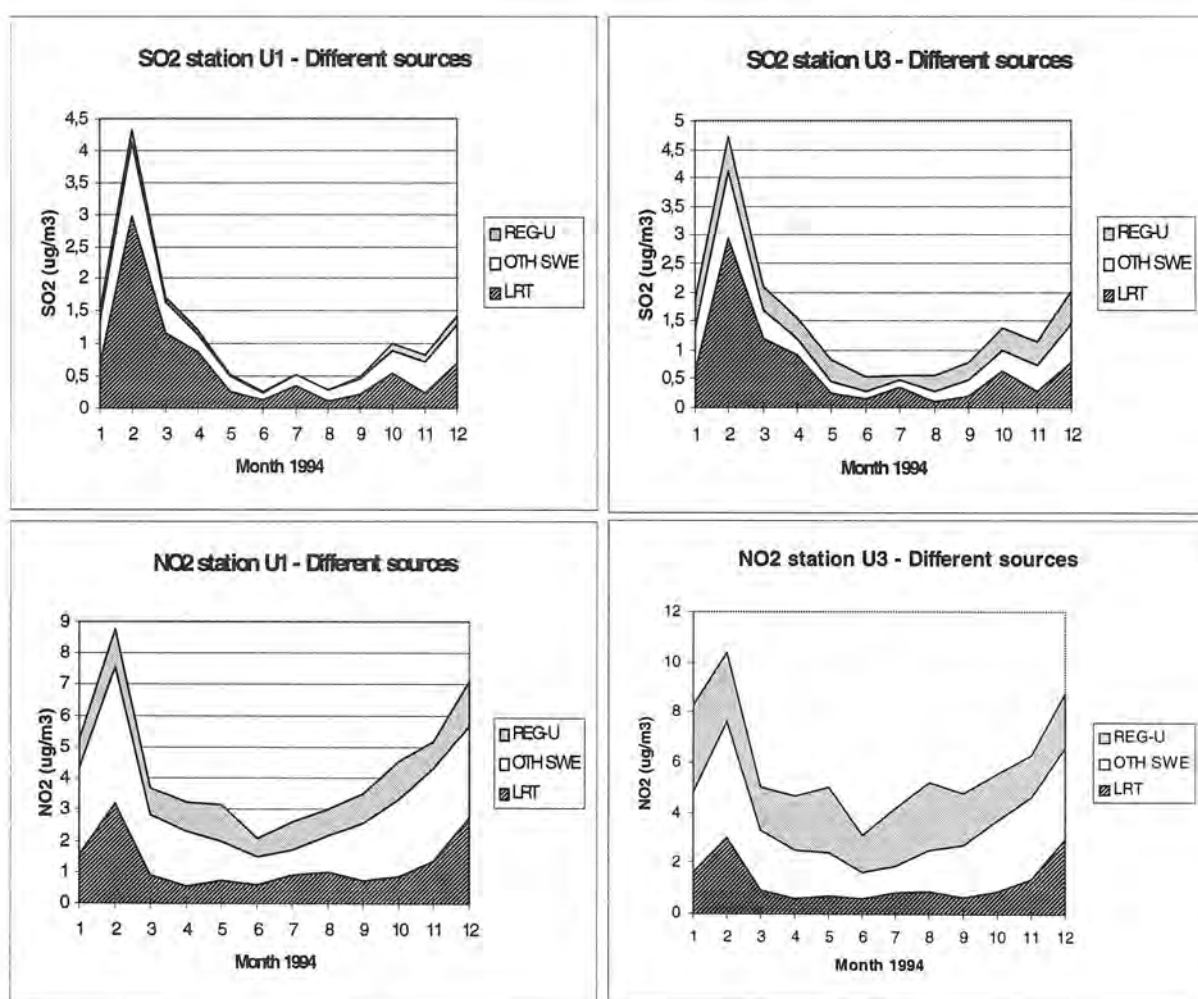
7.1 Resultat från MATCH-Västmanland - år 1994

7.1.1 Halter i luft

De beräknade årsmedelhalterna i luft av SO₂, NO₂ och NH_x, och hur dessa fördelar sig på olika källbidrag, framgår av figurerna 5-7. För SO₂ är bidragen från övriga Sveriges källor och den långväga transporten ungefär lika stora, medan Västmanlands eget bidrag är relativt litet. Det är endast i området runt Västerås och Köping som de egna bidragen når upp i nivå med bidraget från den internationella långtransporten. Förhållandena är annorlunda för NO₂. I det fallet spelar Västmanlands eget bidrag en viktig roll och är av ungefär samma storlek som den långväga transporten, medan övriga Sveriges bidrag är

ännu något större. I regionerna runt Västerås och Köping domineras dock NO_2 -halterna av länets egna utsläpp. Halterna av ammoniak/ammonium i luften beror till en relativt stor del på egna utsläpp, speciellt i områden med mer omfattande jordbruk.

Tidsserier redovisas för ett par platser i figur 8, där de modellberäknade bidragen till SO_2 - och NO_2 -halterna månadsvis från a) Västmanlands egna källor, b) övriga Sveriges källor samt c) långtransport kan jämföras. Vi kan se att beräkningarna ger mycket små SO_2 -bidrag från länets egna källor till station U1, och även till station U3 är bidragen från länet små. Detta sammanhänger givetvis med att utsläppen av SO_2 är små inom länet och att utsläppen till en viktig del sker från höga skorstenar som inte ger några stora haltbidrag i marknära skikt. Långtransportbidraget av SO_2 är för flertalet månader helt dominerande, speciellt under vintern. För NO_2 är tidsseriernas utseende däremot annorlunda. För dessa beräknas länets egna bidrag vara relativt stora, speciellt vid station U3. Även övriga Sveriges bidrag till NO_2 -halterna är betydande vid de båda stationerna.

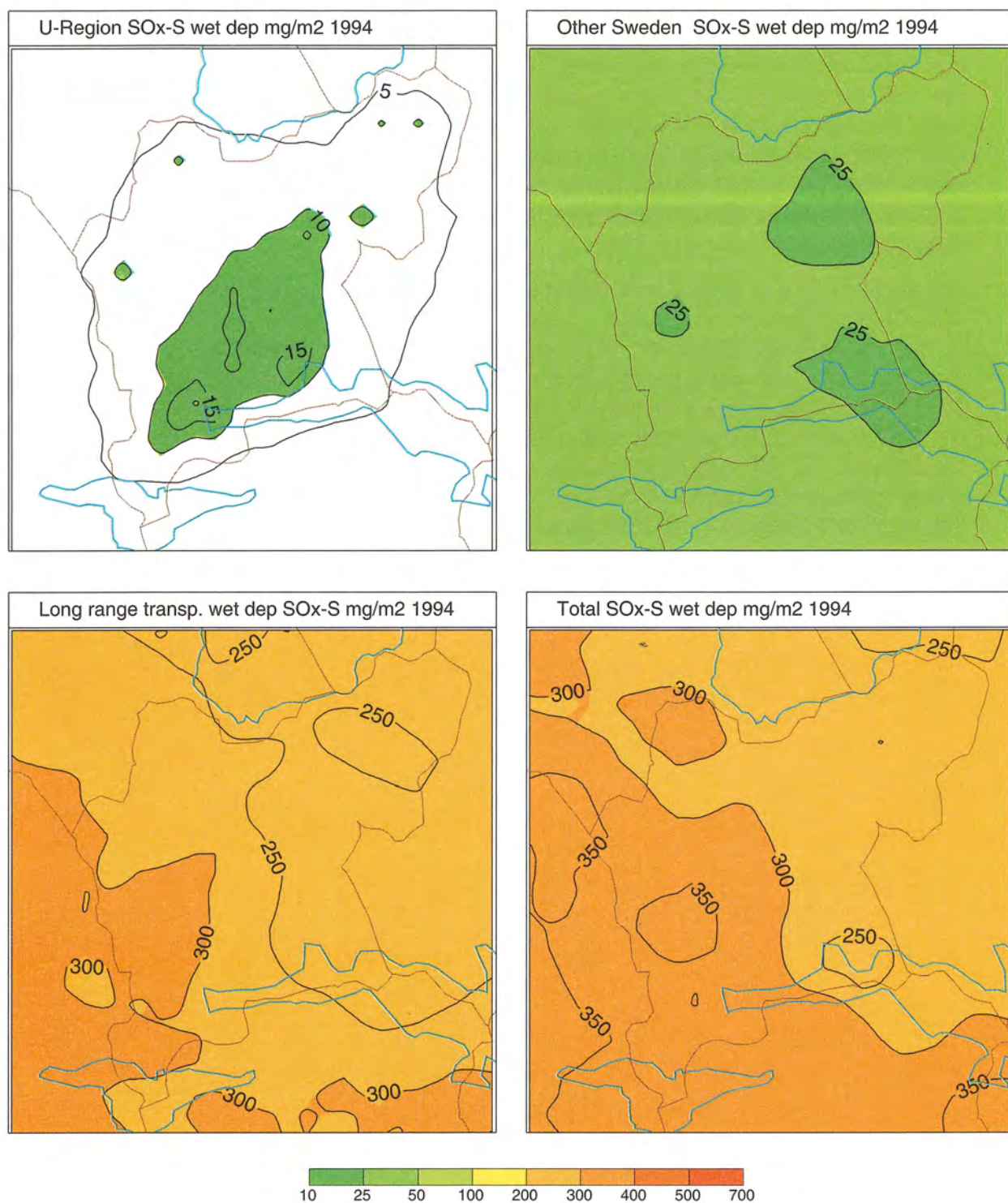


Figur 8. Jämförelser mellan modellberäknade månadshalter ($\mu\text{g S}$ eller N per m^3) av SO_2 - och NO_2 -bidrag vid stationerna U1 och U3 från källor i: a) Västmanland (REG), b) övriga Sverige (OTH SWE) och c) internationell långtransport (LRT) för år 1994.

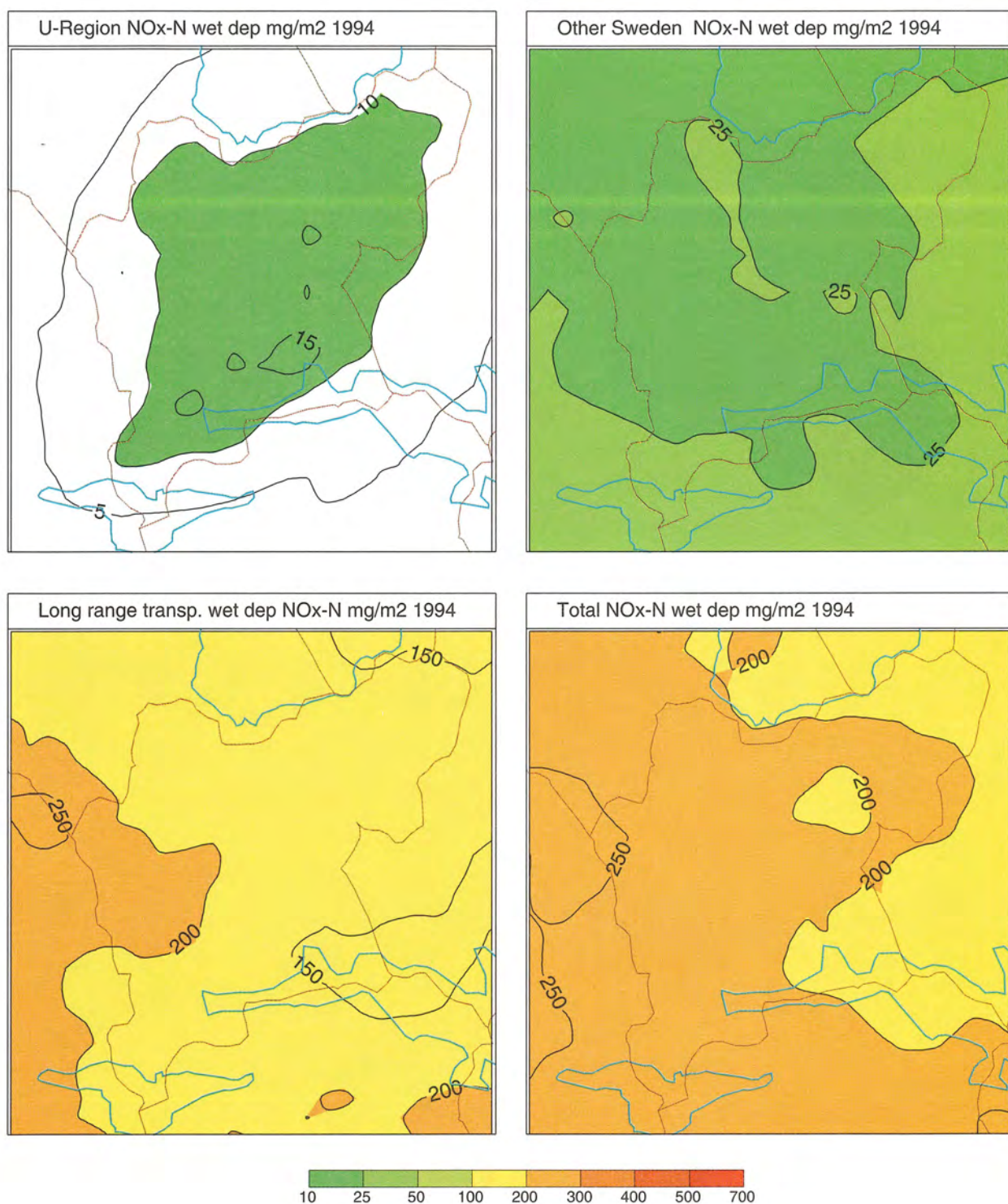
7.1.2 Deposition

I figurerna 9-14 redovisas en rad kartor med resultat från depositionsberäkningarna. Våtdepositionen (figurerna 9-11) av såväl svavel, oxiderat kväve som reducerat kväve domineras av den långväga transporten av föroreningar från de internationella källorna. Speciellt för svavel är den långväga transportens dominans mycket stor, medan den är minst för reducerat kväve. Västmanlands eget bidrag till våtdepositionen av svavel är litet även i förhållande till övriga Sveriges bidrag. För oxiderat och reducerat kväve är det egna länets bidrag av ungefär samma storlek som bidraget från övriga Sveriges källor. Strax norr om Mälaren är Västmanlands eget bidrag till ammoniumdepositionen t.o.m. något större än bidraget från övriga Sverige.

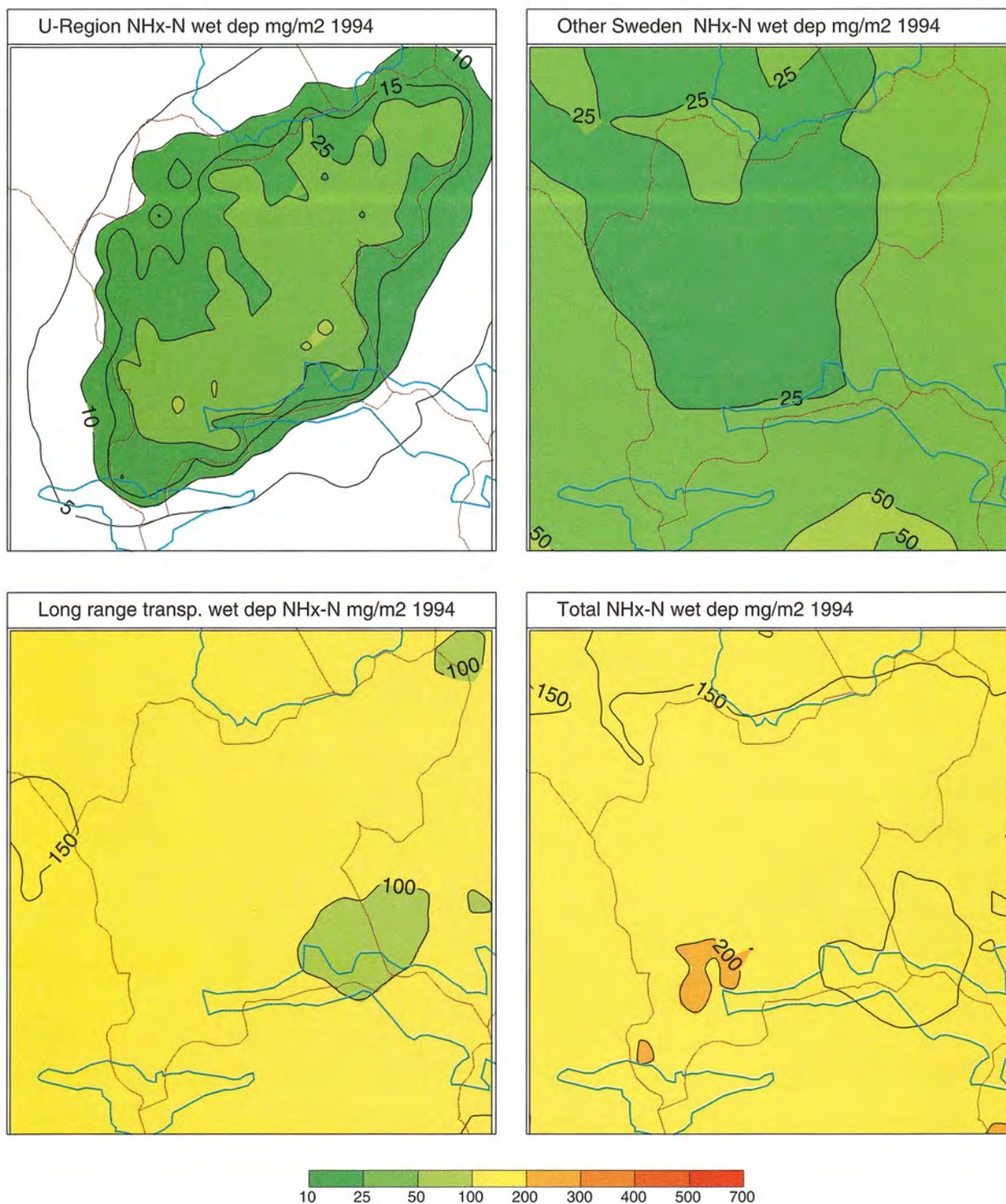
Den totala (våt- och torr) depositionen redovisas i figurerna 12-14. Eftersom det totala nedfallet domineras av våtdeposition, liknar fördelningarna för total deposition i stora drag de för våtdeposition. Liksom för våtdepositionen är det relativa bidraget från långtransport störst för svavel och minst för reducerat kväve. Inom Västmanlands län varierade under 1994 den beräknade totala svaveldepositionen mellan knappt 400 mg S/m² (i öster) till 500 mg S/m² (i väster). Motsvarande siffror för oxiderat kväve är från 300 mg N/m² i sydost vid Mälaren till 450 mg N/m² närmast Västerås samt längst i väster. Den regionala depositionen av reducerat kväve beräknas variera från knappt 250 mg N/m² i norr till drygt 350 mg N/m² i länets södra jordbruksdelar.



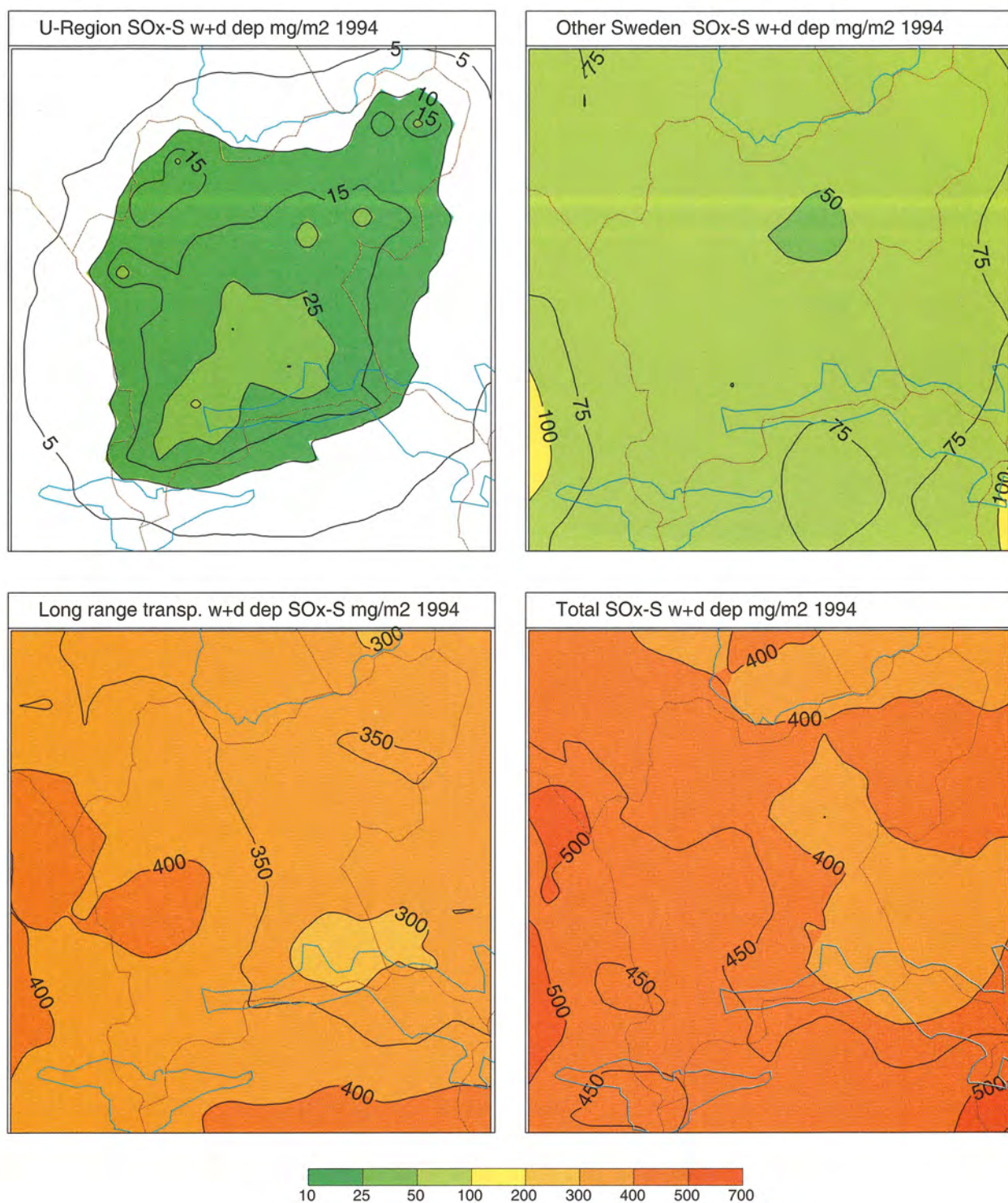
Figur 9. Jämförelse mellan beräknade årsvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våtdeposition av svavel (mg S/m^2). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



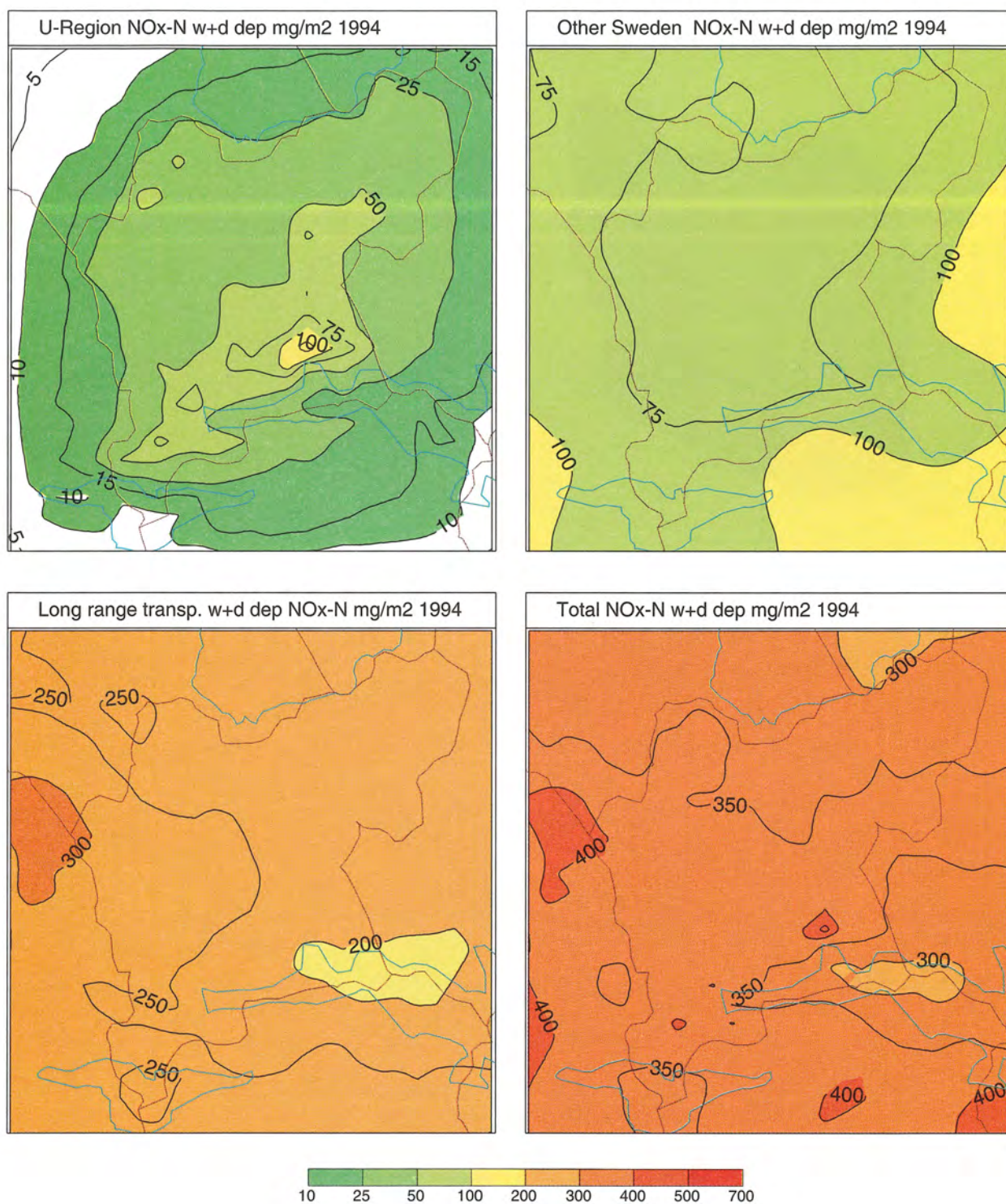
Figur 10. Jämförelse mellan beräknade årsvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våtdeposition av NO_x-N (mg N/m²). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



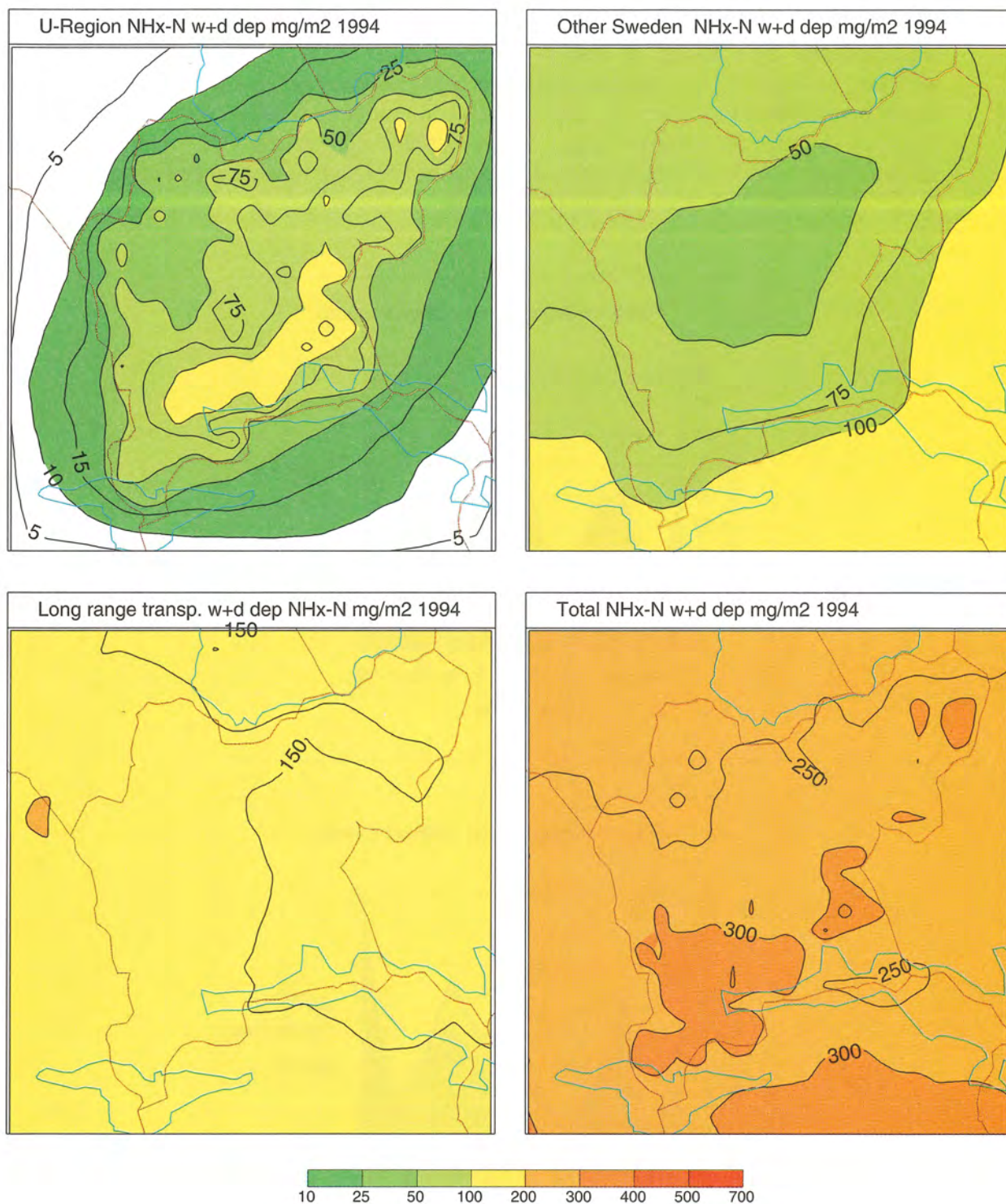
Figur 11. Jämförelse mellan beräknade årsvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våtdeposition av $\text{NH}_x\text{-N}$ (mg N/m^2). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



Figur 12. Jämförelse mellan beräknade årsvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för **våt + torr deposition av svavel** (mg S/m²). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.

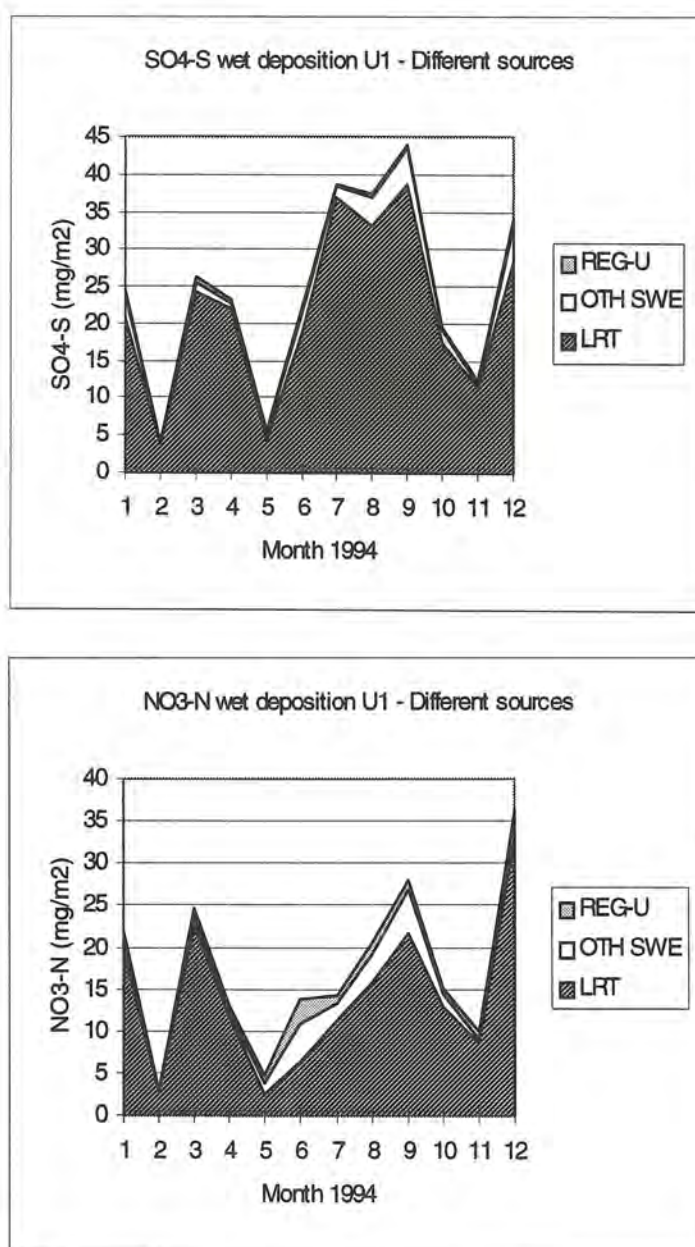


Figur 13. Jämförelse mellan beräknade årsvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våt + torr deposition av NO_x-N (mg N/m²). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



Figur 14. Jämförelse mellan beräknade årsvärden för 1994 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våt + torr deposition av $\text{NH}_x\text{-N}$ ($\text{mg N}/\text{m}^2$). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.

Det kan vara av intresse att också redovisa beräknade tidsserier för någon station där de modellberäknade bidragen till månadsvis våtdeposition av $\text{SO}_x\text{-S}$ och $\text{NO}_x\text{-N}$ från a) Västmanlands egna källor, b) övriga Sveriges källor samt c) långtransport jämförs inbördes, se figur 15. Det framgår tydligt att beräkningarna ger mycket små bidrag från länets egna källor till station U1. Det gäller såväl svavel som $\text{NO}_x\text{-kväve}$. Även övriga Sveriges bidrag är relativt små. Våtdeposition vid station U1 domineras av långtransporterade föroreningar under alla månader 1994, och motsvarande diagram för de övriga stationerna i Västmanland ser likartade ut.



Figur 15. Jämförelser mellan modellberäknade månadsvärden av våtdeposition (mg S eller N per m^2) av svavel och oxiderat kväve för bidrag från källor i: a) Västmanland (REG), b) övriga Sverige (OTH SWE) och c) internationell långtransport (LRT) för år 1994. Jämförelsen avser beräkningsresultat för station U1.

7.1.3 Budgetberäkningar för luftföroreningar

I tabell 6 har vi sammanfattat luftföroreningsbudgeten för år 1994 för Västmanlands län. Det framgår att för svavel är importen från övriga Sverige plus internationell långtransport ca 14 gånger så stor som exporten från länet, medan förhållandena är markant annorlunda för kväve. För reducerat kväve är importen endast knappt 3 gånger så stor som exporten, och för oxiderat kväve är export och import i det närmaste lika stora. Det innebär alltså att Västmanland emitterar ungefär lika mycket oxiderat kväve som totalt deponeras över området. Den stora exporten av NO_x orsakas främst av att relativt stora mängder emitteras från länets egna källor, samtidigt som flera långsamma atmosfärkemiska reaktioner måste äga rum innan NO_x effektivt kan deponeras. För huvuddelen av NO_x-emissionen hinner inte dessa reaktioner ske innan den har transporterats utanför länet.

Den importerade depositionen domineras helt av våtdeposition för samtliga tre ämnen som studerats. För depositionen från Västmanlands egna källor är torr och våt deposition ungefär lika viktiga för svavel och reducerat kväve, medan torrdepositionen dominerar för oxiderat kväve.

Tabell 6. Västmanlands läns luftföroreningsbudget för år 1994 avseende svavel, oxiderat kväve och reducerat kväve. I vissa fall utnyttjas den kortare beteckningen U-län i stället för Västmanlands län.

	Svavel (ton/år)	NO _x -kväve (ton/år)	NH _x -kväve (ton/år)
<u>Emission</u>			
Västmanland (U-län)	332	2 555	982
<u>Deposition till U-län från egna källor</u>			
Torr	68	229	285
Våt	61	80	181
Torr + våt	129	309	466
<u>Deposition till U-län från övriga Sverige</u>			
Torr	212	356	241
Våt	189	170	182
Torr + våt	401	526	423
<u>Importerad deposition till U-län från internationell långtransport</u>			
Torr	617	438	231
Våt	1 893	1 269	866
Torr + våt	2 510	1 707	1 097
<u>Total deposition till U-län</u>			
Torr	898	1 024	757
Våt	2 143	1 519	1 229
Torr + våt	3 041	2 543	1 986
Andel (%) från U-läns källor	4,2	12,1	23,5
Andel (%) från svenska källor (inkl U-län)	17	32	44
<u>Export</u>			
Från U-län	203	2 246	559

7.2 Jämförelser mellan MATCH-Västmanland och oberoende mätningar

De i kapitel 6 och figur 4 presenterade fem regionala luft- och nederbörds-kemiska mätstationerna, U1-U5, samt mätningarna på stadshustornet i centrala Västerås, utnyttjas här i en jämförelse med de erhållna modellresultaten. Mätningarna i Västerås är dock av lokal karaktär och en jämförelse med dessa borde egentligen falla utanför målsättningen med denna studie. Västeråsmätningarna har emellertid gjorts ganska högt över marken, ca 30 m, och Västerås har dessutom en relativt stor horisontell utsträckning i förhållande till modellens upplösning, 5x5 km. Vi har därför inkluderat dessa data i en jämförelse även om vi, p.g.a. modellens bristande upplösning i stadsområdet, inte kan förvänta oss någon god överensstämmelse.

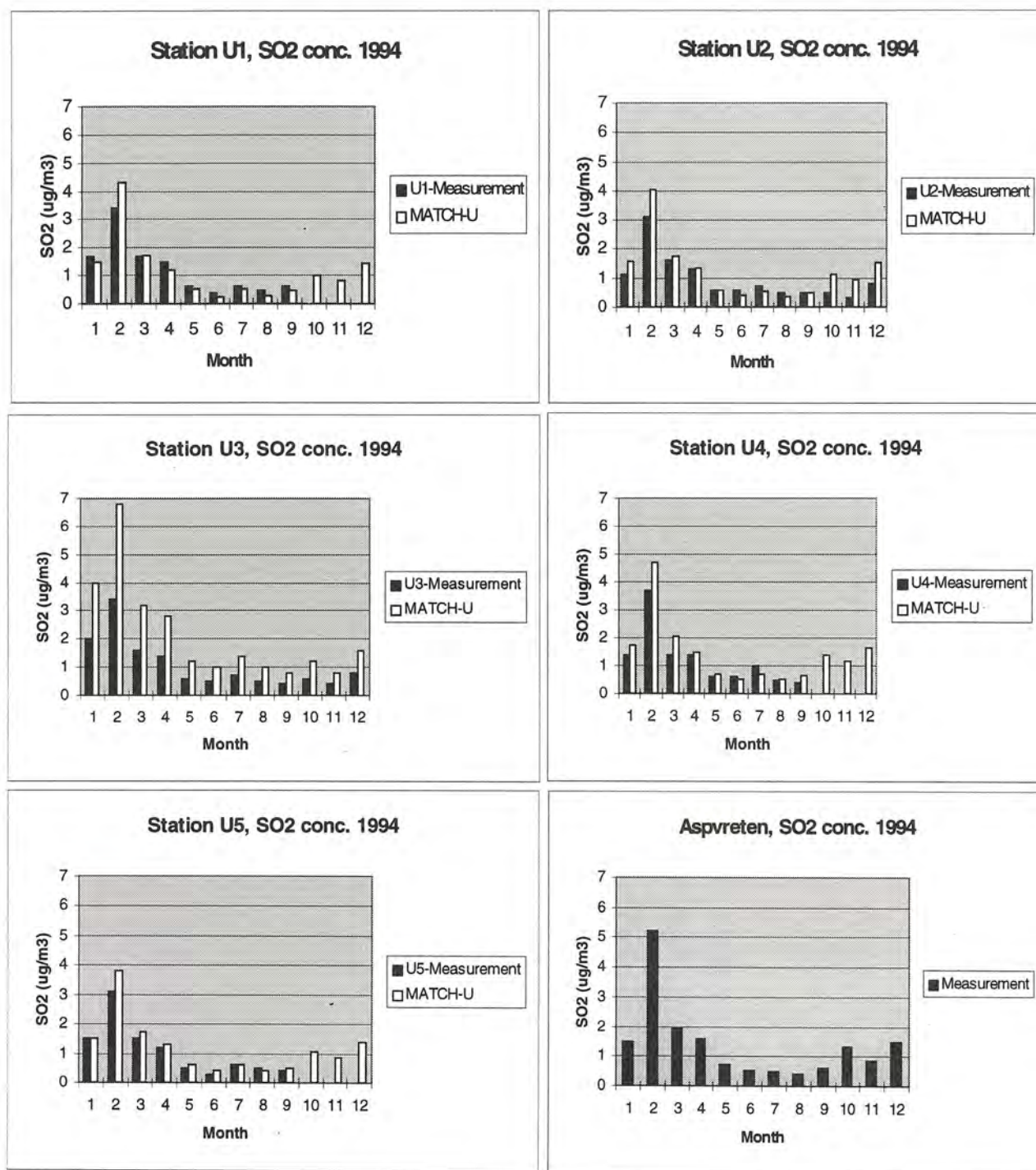
7.2.1 Lufthalter

I figurena 16 och 17 görs jämförelser mellan modellberäkningar och mätningar av månadsvärden för SO₂- respektive NO₂-halterna för stationerna U1-U5. För SO₂ är överensstämmelsen mellan MATCH-Västmanland resultat och mätdata mycket bra för flertalet stationer, med de högsta halterna under den kallaste vintermånaden och de lägsta halterna sommartid. För station U3, som ligger relativt nära Västerås, är dock beräknade halter systematiskt något för höga i förhållande till uppmätta halter. Under hösten saknas mätdata från flera stationer. Gör vi en jämförelse med den nationella stationen Aspvreten, som ligger vid Sörmlandskusten och alltså utanför MATCH-Västmanlands område, är de observerade haltvariationerna under året där liknande de som fås med hjälp av modellen för Västmanland. Detta är dock inte förvånande, eftersom Aspvreten är en av de stationer som utnyttjas i Sverigemodellen och därmed påverkar den stationen också det uppskattade långtransportbidraget över Västmanland till viss del.

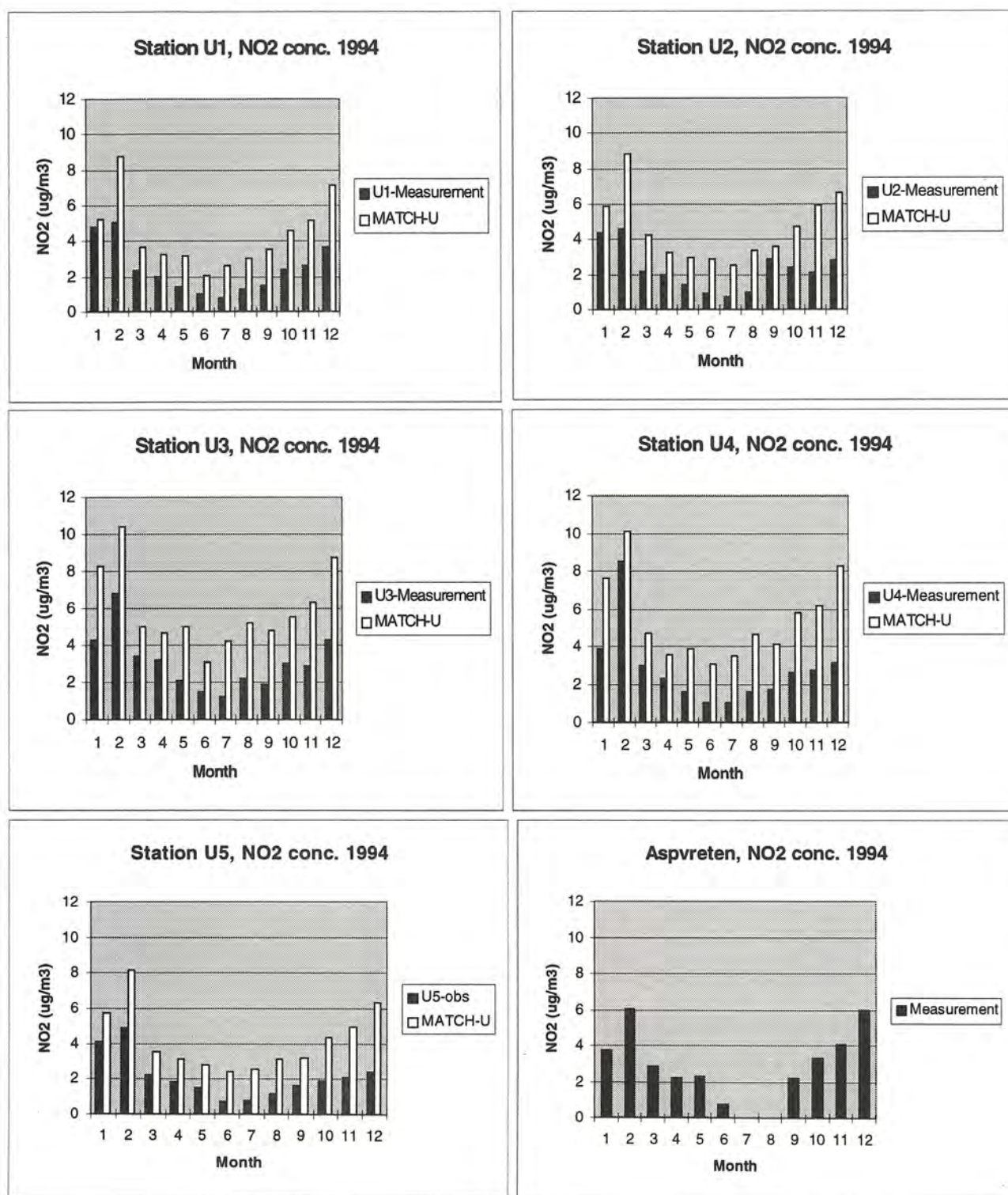
För NO₂ visar jämförelsen tydligt att de halter som erhålls från MATCH-Västmanland systemet är systematiskt högre än uppmätta värden, men att korrelationen mellan modellberäkningar och mätdata trots allt är bra för alla de fem regionala stationerna.

Trots att modellen, med sin regionala upplösning, inte kan förväntas beskriva föroreningsförhållandena inne i tätorterna gör vi en översiktlig jämförelse mellan MATCH-resultat och uppmätta lufthalter vid stadshustornet i centrala Västerås, se figur 18. För SO₂ är såväl haltnivån som korrelationen mellan beräknade och uppmätta data relativt bra. För NO₂ är korrelationen dålig och uppmätta kortvariga toppar saknas i stor utsträckning i de beräknade värdena.

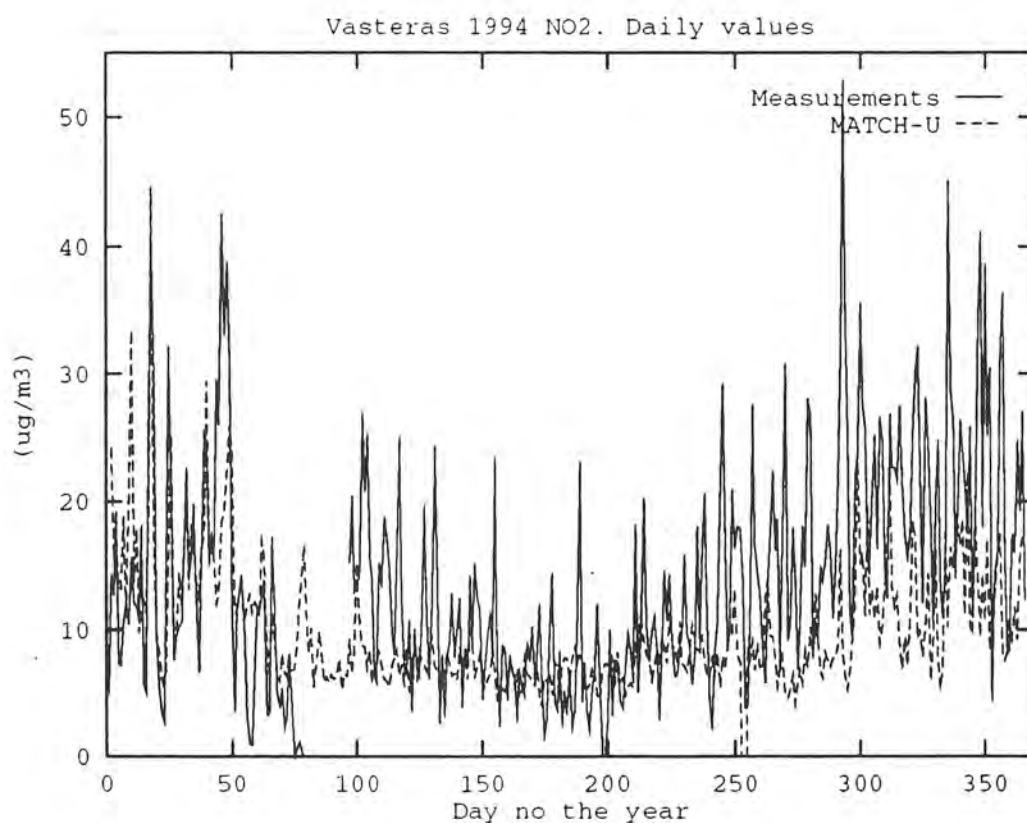
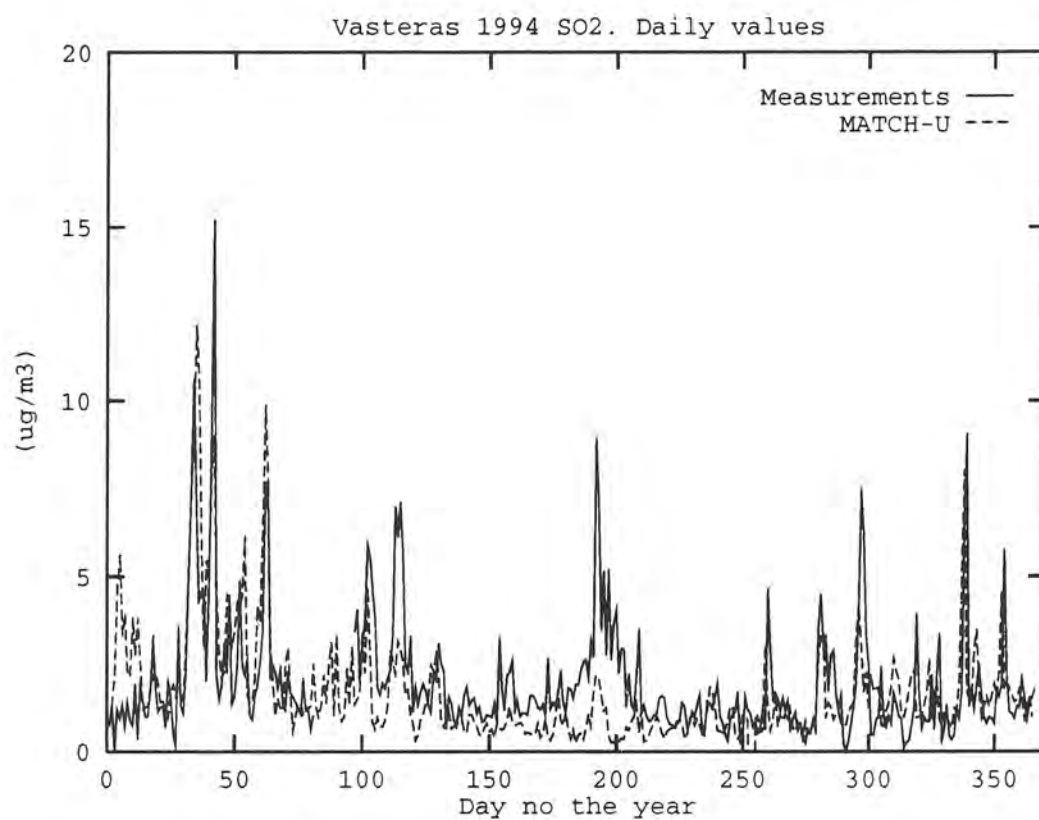
En diskussion av ovanstående jämförelser görs i avsnitt 7.4.



Figur 16. Jämförelser mellan uppmätta (Measurement) och beräknade (MATCH-U) månadsmedelhalter 1994 av SO₂ (µg S/m³) vid de fem regionala mätstationerna U1-U5 samt vid den nationella mätstationen Aspöreten som ligger vid Sörmlandskusten.



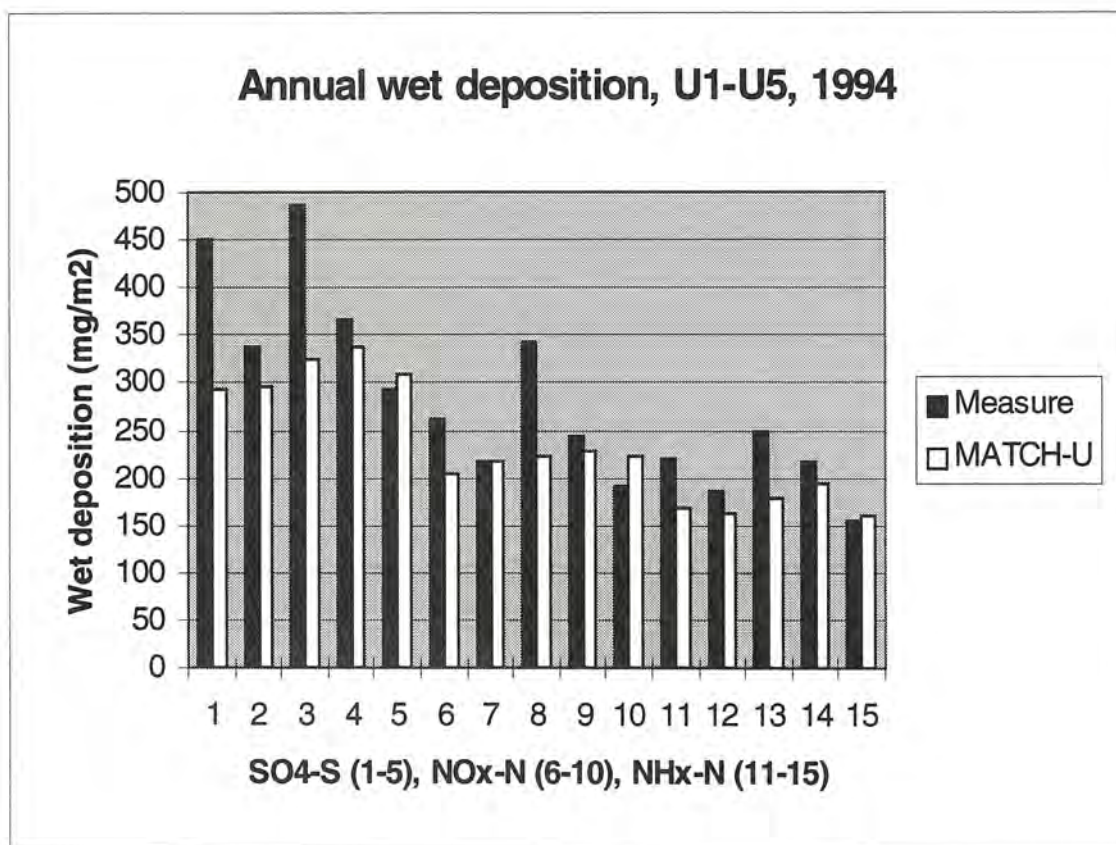
Figur 17. Jämförelser mellan uppmätta (Measurement) och beräknade (MATCH-U) månadsmedel-halter 1994 av NO_2 ($\mu\text{g N/m}^3$) vid de fem regionala mätstationerna U1-U5 samt vid den nationella mätstationen Aspöreten som ligger vid Sörmlandskusten.



Figur 18. Jämförelser mellan modellberäknade (MATCH-U) och uppmätta (Measurements) dygnsalter av SO₂ och NO₂ ($\mu\text{g S}$ eller N per m^3) vid stadshustornet i Västerås för dag 1 till dag 365 under år 1994. Mätningarna avser ca 30 m höjd över marken.

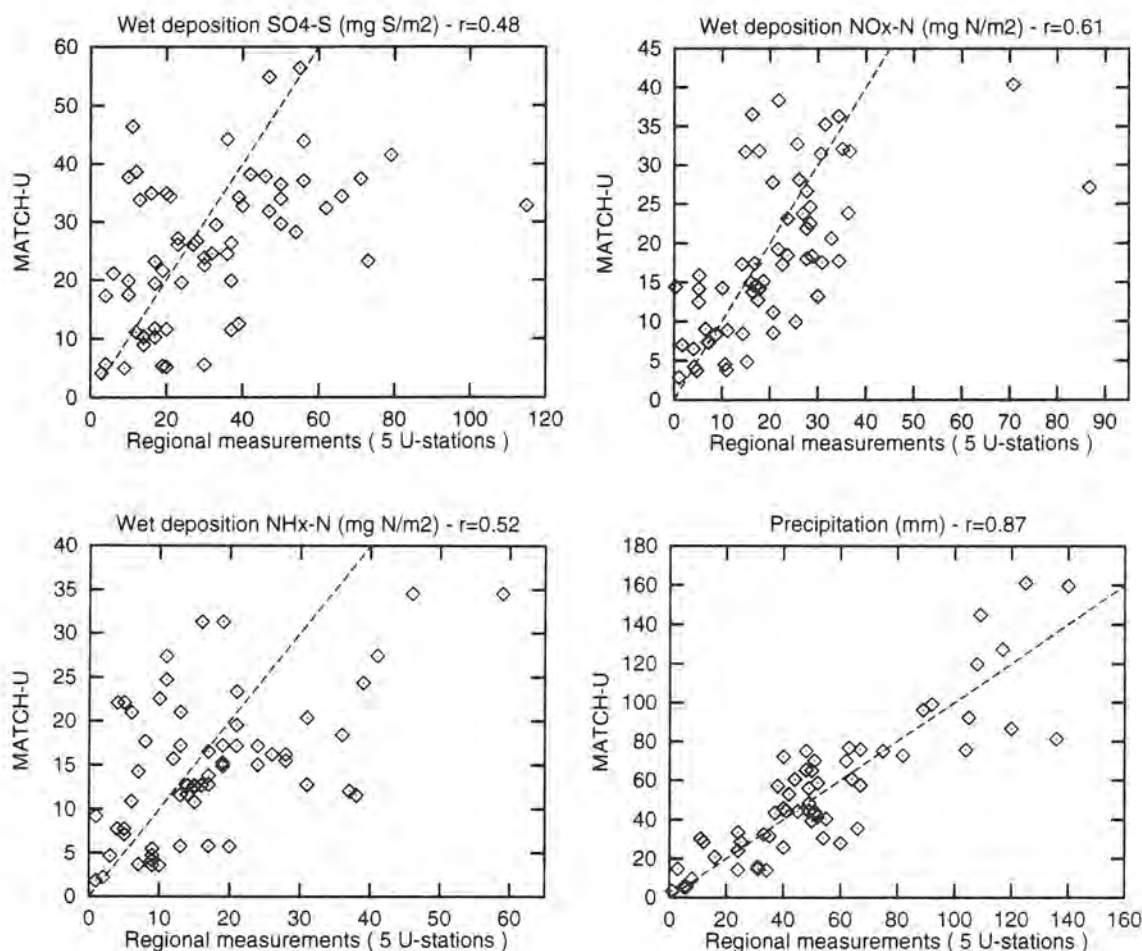
7.2.2 Våtdeposition - öppet fält

En jämförelse mellan uppmätta våtdepositionsvärden för öppet fält vid stationerna U1-U5 och uppskattad våtdeposition för år 1994 med MATCH-Västmanland visas i figur 19. För några stationer är skillnaderna mellan uppmätt och beräknad våtdeposition relativt stora. Det gäller speciellt stationerna U1 och U3, som för alla tre komponenterna visar större uppmätta värden än vad som erhålls ur beräkningarna. För svavel är de uppmätta årsvärdena ca 50% större än de beräknade värdena.



Figur 19. Jämförelser mellan modellberäknade (MATCH-U) och uppmätta (Measure) årsvärden för våtdeposition (mg S eller N per m²) av svavel (SO₄-S), oxiderat kväve (NO_x-N) och reducerat kväve (NH_x-N) för stationerna U1-U5 under år 1994. Staplarna 1-5 avser SO₄-S, staplarna 6-10 avser NO₃-N och staplarna 11-15 avser NH_x-N.

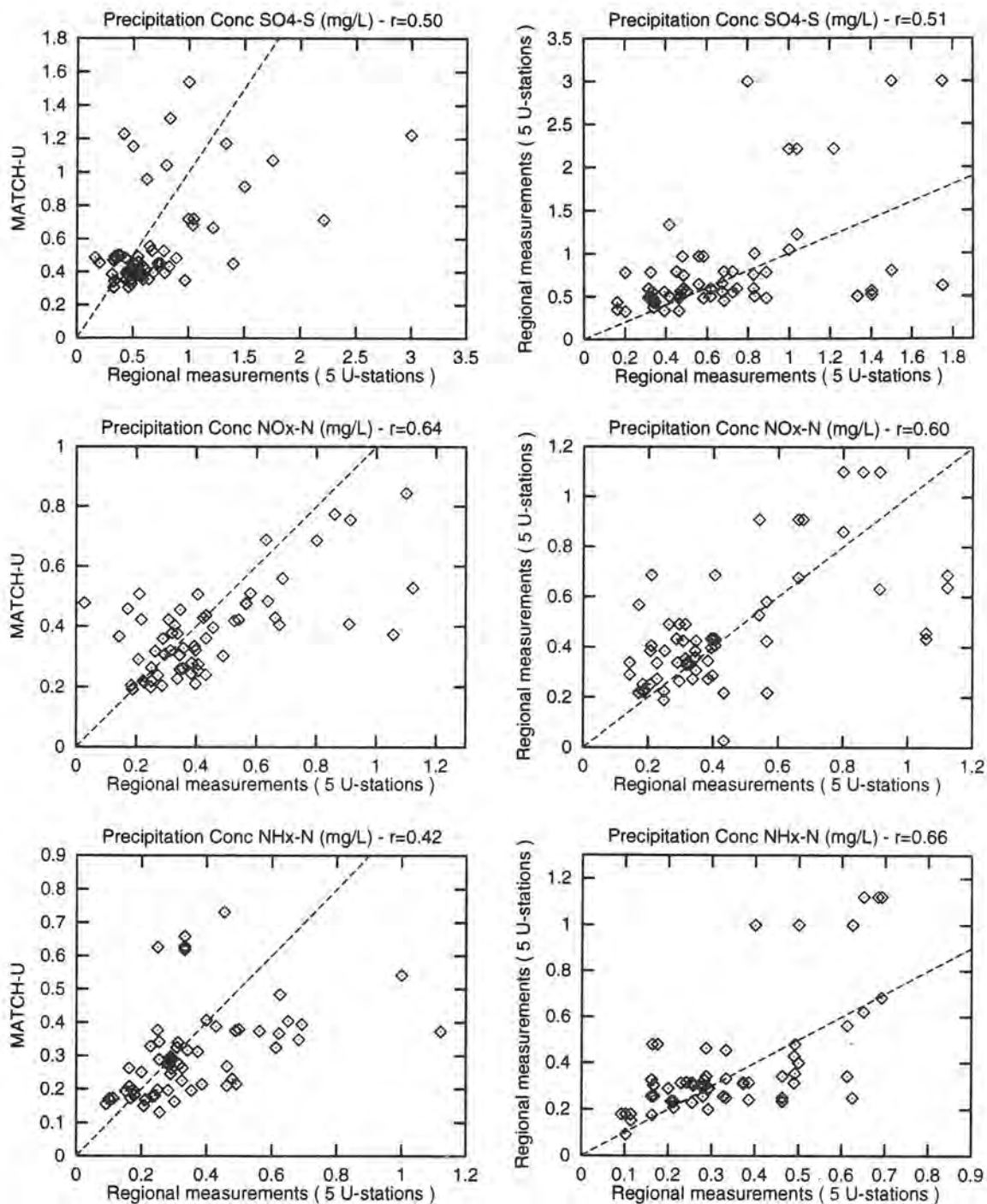
Jämförelser mellan modelluppskattningar och regionala mätdata kan även göras för månadsvärden. Figur 20 visar diagram för hur dessa samvarierar för våtdepositionen av svavel, oxiderat och reducerat kväve. Där jämförs också månadsvärden för nederbörds mängd. Korrelationen mellan analyserade nederbörds mängder i MATCH-systemet och uppmätta mängder vid stationerna U1-U5 är relativt bra med en korrelationskoefficient på 0,87. Korrelationen mellan mätdata och modelluppskattningar för depositions värdena är däremot sämre, korrelationskoefficienterna ligger kring 0,5, vilket innebär att den förklarade variansen endast är 25%.



Figur 20. Spridningsdiagram där månadsvärdena för modellberäknad (MATCH-U) och observerad våtdeposition (öppet fält) av $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_x\text{-N}$ och $\text{NH}_x\text{-N}$ samt nederbörsmängd vid U-stationerna jämförs för 1994 års data. r = korrelationskoefficient. Linjen 1:1 har markerats i diagrammen.

För att kunna bortse från variationer i nederbörsmängder har vi i figur 21 tagit fram jämförelser mellan koncentrationer i nederbörd av svavel, oxiderat kväve respektive reducerat kväve. Där görs dels jämförelser mellan modelluppskattningar och mätdata för stationerna U1-U5, dels interna jämförelser mellan mätdata för närbelägna U-stationer (jämförelser mellan U2-U5, U1-U5, U2-U3, U3-U4, U1-U3). Dessa jämförelser visar i samtliga fall relativt svaga korrelationer. Korrelationerna mellan modell och mätdata är ungefär lika bra som mellan närbelägna mätstationer.

En diskussion av dessa jämförelser görs i avsnitt 7.4.



Figur 21. Vänstra delen: Spridningsdiagram där månadsvärden för modellberäknad (MATCH-U) och observerad halt vid U-stationerna av SO₄-S, NO_x-N och NH_x-N i nederbörd jämförs för 1994 års data, r = korrelationskoefficient. Linjen 1:1 har markerats i diagrammen. Högra delen: Motsvarande spridningsdiagram för jämförelser mellan mätdata för närläggna U-stationer.

7.2.3 Totaldeposition - krondropp

Krondropsdata från stationerna U1-U5 för svavel är av intresse därför att dessa data kan ge en uppfattning om torrdepositionens storlek till den skogsvegetation där mätningarna görs. För oxiderat och reducerat kväve kan vi inte, p.g.a. interncirkulation av kväve i träden, utnyttja krondropsdata för att uppskatta torrdepositionen. Torrdepositionen av svavel erhålls som skillnad mellan mätvärdena för krondropp och för öppetfält. För samtliga U-stationer har mätningarna gjorts i granskog. Modellresultaten avser medelvärden för resp. beräkningsrutor, vilket innebär att torrdepositionen beräknats som ett viktat medelvärde med hänsyn till de olika markanvändningsslag som finns i resp. ruta. Vi observerar av tabell 7 att den uppmätta torrdepositionen avviker markant för station U2, jämfört med övriga stationer. En diskussion av jämförelser med modellresultat görs i avsnitt 7.4.

Tabell 7. Sammanställning av uppmätt (mg S/m² per år) krondropp, våtdeposition till öppet fält och torrdeposition (¹beräknad från: Krondropp-Öppetfält) vid U-stationerna samt modellberäknad torrdeposition enligt MATCH-Västmanland för resp. stations beräkningsruta.

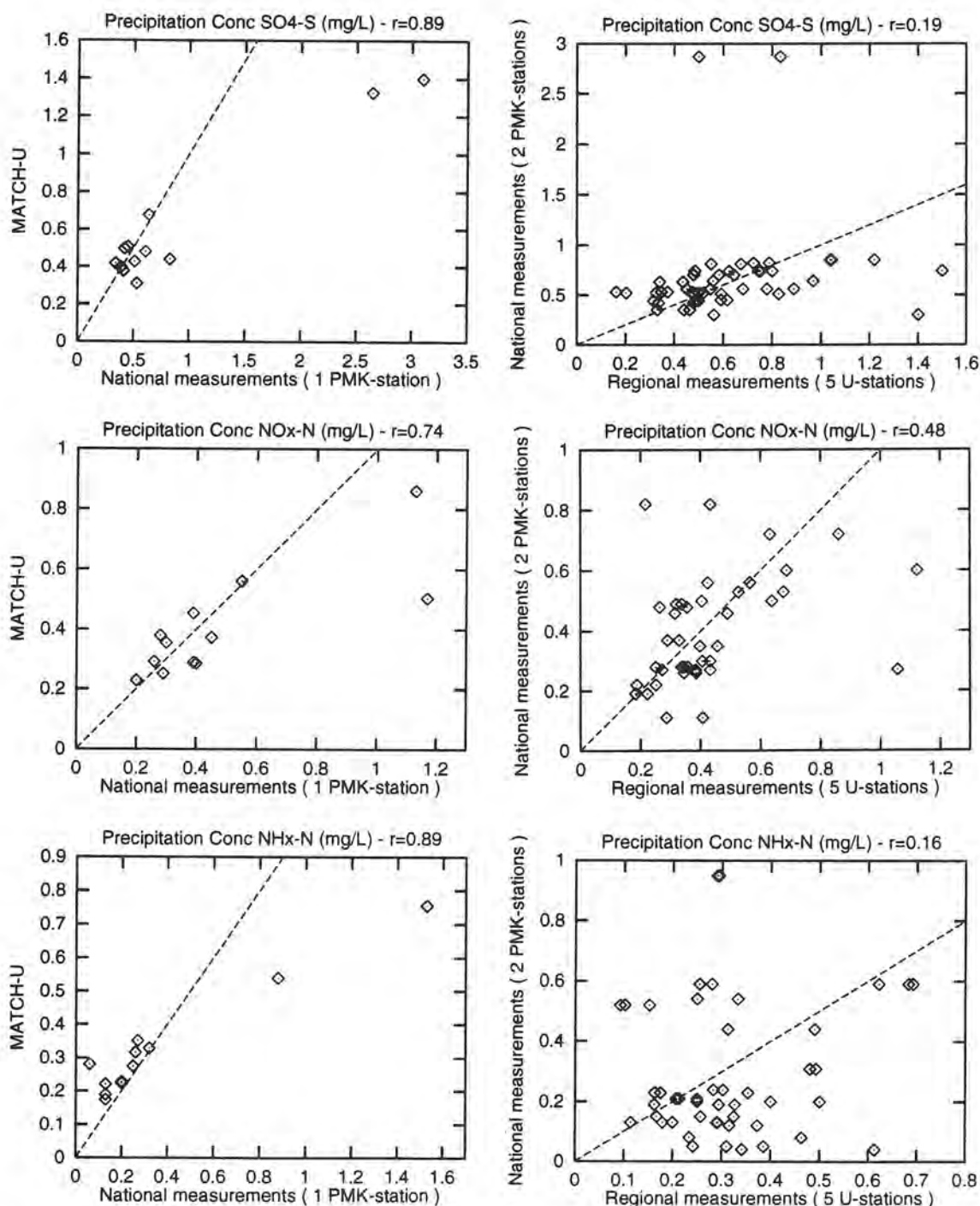
Regional station	Uppm. krondropp	Uppm. öppetfält	Uppm. torrdep. ¹	MATCH torrdep.
U1	534	450	84	123
U2	721	339	382	134
U3	638	487	151	138
U4	528	366	162	118
U5	376	293	83	126

7.3 Jämförelser med nationella mätningar av våtdeposition

Vid den nationella nederbörds-kemiska stationen Ryda Kungsgård fanns under 1994 två olika och oberoende provtagare, en med lock och en utan lock. Provtagaren utan lock användes i studierna med Sverigemodellen för 1994 och har därmed även påverkat det internationella långtransportbidraget som beräknats i MATCH-Västmanland för 1994. Däremot utgör mätvärden från provtagaren med lock (locket är stängt vid uppehållsväder och öppnas automatiskt i samband med nederbörd) helt oberoende data och är därmed av intresse för en jämförelse med resultaten från MATCH-Västmanland. Sådana jämförelser för månadshalter i nederbörd redovisas i figur 22, vänstra delen. Vi kan se att samvariationen mellan MATCH-Västmanland resultat och oberoende mätdata är relativt bra för stationen Ryda Kungsgård med korrelationskoefficienter på 0,89 för både svavel och ammonium och 0,74 för nitrat.

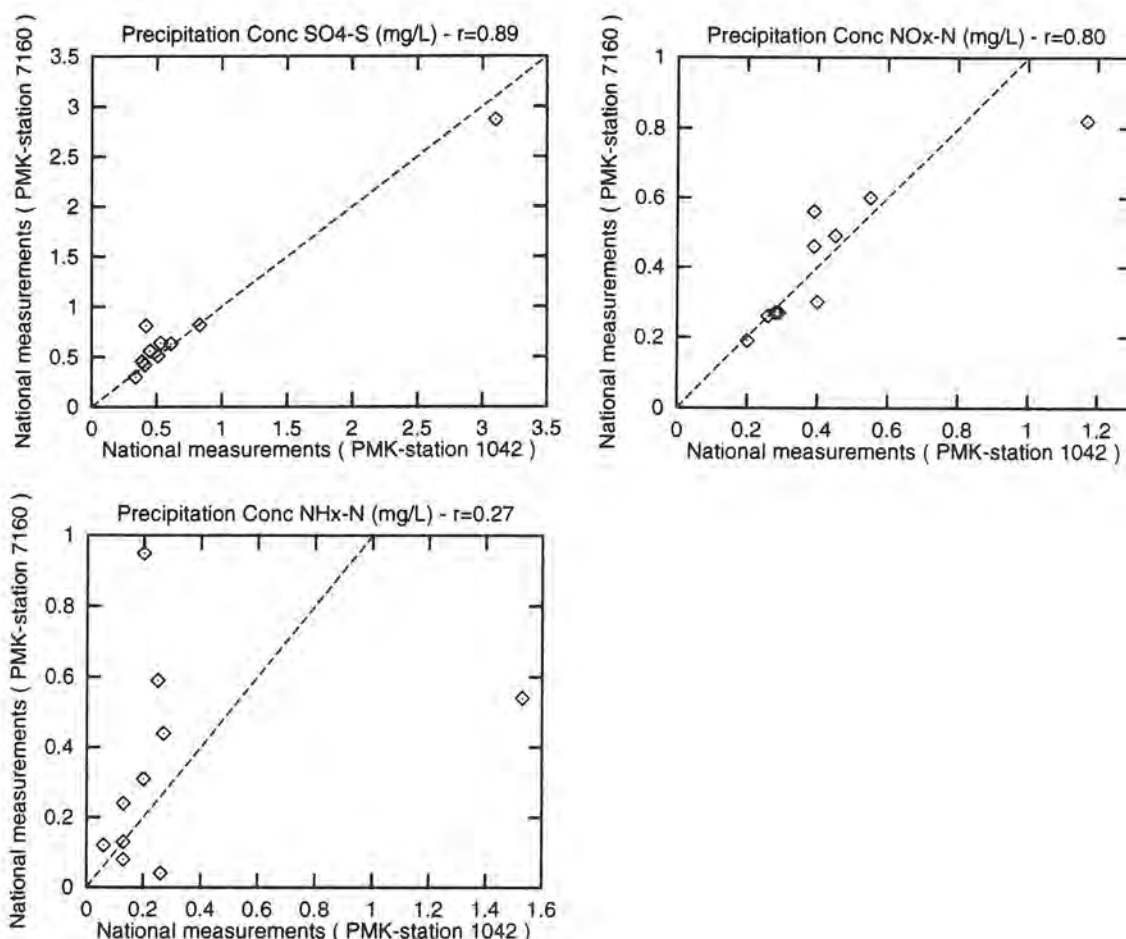
För att få en uppfattning om hur mätvärden för de regionala U-stationerna varierar i förhållande till dessa nationella stationer visar vi i figur 22, högra delen, diagram där jämförelser görs mellan närbelägna U-stationer och de nationella stationerna för koncentrationer i nederbörd. Ryda Kungsgård har jämförts med U1 och U3, medan Grimsö har jämförts med U2, U4 och U5. Det innebär alltså att mätvärden från Ryda Kungsgård använts två gånger och mätvärden från Grimsö använts tre gånger för varje

månad. Avståndet mellan stationerna som jämförts har varit 25-50 km. Mätvärdena för såväl de båda nationella stationerna som de fem regionala U-stationerna avser provtagare utan lock. Vi ser att samvariationen för uppmätta halter i nederbörden mellan nationella stationer och närbelägna regionala U-stationer är mycket liten med korrelationskoefficienter på 0,16 och 0,19 för ammonium och svavel och 0,48 för nitrat.



Figur 22. Vänstra delen: Spridningsdiagram där månadsvärden för modellberäknad (MATCH-U) och uppmätt halt vid den nationella stationen Ryda Kungsgård av SO₄-S, NO_x-N och NH_x-N i nederbörd jämförs för 1994 års data. Mätningarna avser oberoende data från lockprovtagare. r = korrelationskoefficient. Linjen 1:1 har markerats i diagrammen. Högra delen: Motsvarande spridningsdiagram för jämförelser mellan mätdata för de två nationella stationerna och närbelägna U-stationer.

I figur 23 har motsvarande jämförelse gjorts mellan mätdata från provtagaren med lock och från provtagaren utan lock i Ryda Kungsgård. För svavel och oxiderat kväve är samvariationen tämligen bra, med korrelationskoefficienter på 0,8-0,9, medan ammoniumvärdena korrelerar mycket dåligt. Vi kan ur detta notera att MATCH-systemet uppenbarligen sorterade bort vissa felaktiga ammoniumvärden från provtagaren utan lock i Ryda Kungsgård i samband med att analysen av den långväga transporten gjordes med Sverigemodellen.



Figur 23. Spridningsdiagram där månadsvärden för uppmätt halt av $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_x\text{-N}$ och $\text{NH}_x\text{-N}$ i nederbörd för provtagare utan lock (station 7160) och provtagare med lock (station 1042) jämförs för 1994 års data. r = korrelationskoefficient. Linjen 1:1 har markerats i diagrammen.

7.4 Diskussion av mätningar och modelljämförelser

7.4.1 Halter i luft

MATCH-systemet har inte tidigare testats mot regionala mätdata för halter i luft av den typ som redovisas i avsnitt 7.2. Vi har därför utnyttjat dessa data till känslighetsstudier för MATCH-Västmanland och försökt identifiera orsaker till de observerade avvikelserna mellan modell och mätdata. Syftet har varit att ta fram underlag som ska kunna ligga till grund för en framtida omarbetning och förbättring av MATCH-beräkningar i såväl Sverigemodellen som i olika länsmodeller. Vi har kommit fram till följande.

- *Föroreningsmätningar:*

Mätningarna av SO₂ och NO₂ som ligger till grund för beräkningarna av långtransportbidraget görs dygnsvis vid EMEP-stationer, medan de regionala stationerna U1-U5 som utnyttjas för modelljämförelserna är månadsmätningar utförda med passiva provtagare. Skillnader i mätteknik skulle i princip kunna förklara de erhållna systematiska skillnaderna mellan modell och U-stationerna. Mot denna förklaring talar dock starkt det faktum att IVL under den aktuella perioden gjorde jämförande mätningar för att testa mättekniken med passiva provtagare och att inga skillnader observerades.

- *Vertikalprofil:*

I de MATCH-beräkningar, som ligger till grund för denna studie, är nedersta skiktet i modellen alltid 75 m djupt. Det betyder att de erhållna halterna i lägsta skiktet i modellen utgör ett medelvärde från marken upp till 75 m höjd. Medelhalten antas vara giltig på höjden 37,5 m höjd. I verkligheten varierar dock halterna med höjden över marken beroende på såväl föroreningarnas utsläppshöjd, turbulent omblandning som underlagets effektivitet att ta upp föroreningar (den torra depositionen). På landsbygden, där utsläppen av föroreningar är små samtidigt som vegetationen tar upp föroreningar via torrdeposition, är halterna i regel lägst vid marken och högst i toppen på det 75 m djupa skiktet. Teoretiska känslighetsstudier, baserade på ekvation (2) nedan som anger den teoretiska vertikalkoncentrationsprofilen, visar att halten av NO₂ i en rad situationer under sommarhalvåret kan vara av storleksordningen en faktor två högre på 37,5 m höjd jämfört med mät höjden som är ca 1,5 meter.

Ur ekvation 1, som baserad på similaritetsteori anger resistansen (r_a) på höjden z för turbulent transport av värme och spårämnen, kan ett teoretiskt uttryck för den vertikala koncentrationsprofilen härledas, ekvation 2. Dessa uttryck gäller i det atmosfära ytskiktet.

Ekvation (1)
$$r_a(z) = [\ln(z/z_0) - \Psi_h(z/L) + \Psi_h(z_0/L)] / k u_*$$

Ekvation (2)
$$C(z_2) = C(z_1) * \{1 + [v_d(z_1)/k u_*] [\ln(z_2/z_1) - \Psi_h(z_2/L) + (\Psi_h(z_1/L))]\}$$

där C är koncentrationen, v_d torrdepositions hastigheten, $k = 0,4$, L Monin-Obukovs längd (stabilitetsparameter), u_* friktionshastigheten, z_1 och z_2 är godtyckliga höjder över marken inom det atmosfära ytskiktet ($\cong$ lägsta modellsikt) och Ψ_h representerar den dimensionslösa stabilitetsfunktionen för värme:

$$\Psi_h(\xi) = -5\xi \quad \text{för } \xi \geq 0 \text{ och}$$

$$\Psi_h(\xi) = 2 \ln [(1 + x^2) / 2] \quad \text{för } \xi < 0$$

$$\text{där } x = (1 - 15\xi)^{0,25}.$$

Den vertikalprofil, som erhålls ur ekvation (2), utnyttjas inte för omräkning av de redovisade föroreningshalterna nära marken i den nuvarande versionen av MATCH-systemet. Det innebär alltså att vi riskerar att överskatta länets och övriga Sveriges bidrag till halter i luft nära marken för ämnen som torrdeponeras. Denna överskattning blir störst då processerna för torrdeposition är som mest effektiva och den turbulenta vertikala omblandningen i lägsta skikt är liten. Halterna i marknära luft kan på detta sätt överskattas för såväl SO₂ som NO₂. Emellertid spelar den långväga transportens relativa andel av den totala föroreningshalten också en stor roll. För SO₂ är den långväga transportens andel av totalhalterna under alla förhållande mycket större än bidragen från svenska källor, varför en viss överskattning av de svenska källornas bidrag endast obetydligt påverkar de beräknade totalhalterna. Förhållandet blir ett helt annat för NO₂, där Västmanlands och övriga Sveriges bidrag är av samma storleksordning som den långväga transporten. Överskattningar av de svenska bidragen kan i detta fall leda till betydande överskattningar också av totalhalterna.

I princip bör en överskattning av de svenska källornas bidrag medföra en underskattning av den internationella långtransporten. Beräkningarna av långtransportbidragen [se 1 och 2] till halter i luft baseras emellertid endast på några få mätstationer. Flera av dessa stationer ligger dels långt från svenska källor, dels vid kusten där torrdepositionen, då luften passerat över havet, är mindre än inne över land. Detta talar för att det troligen endast är en mycket marginell underskattningen i långtransportbidraget.

Den ovan redovisade överskattningen av Västmanlands och övriga Sveriges bidrag till halter i luft spelar helt säkert en viktig roll för de systematiskt högre NO₂-halterna i MATCH-Västmanland jämfört med de regionala mätningarna (figur 17). Samtliga fem regionala U-stationer som utnyttjas i jämförelserna är dessutom placerade i områden med mycket vegetation där torrdepositionen och därmed också denna överskattning kan förväntas vara stor. Det är dock viktigt att observera att en variant av ekvation (1) ingår i MATCH-systemets beräkningar av torrdepositionshastigheten och därmed av torrdepositionen, och att vi därför **inte alls** har anledning att tro att torrdepositionen, och givetvis inte heller våtdepositionen, från de svenska källorna skall vara överskattad på samma sätt som halterna i marknära luft. MATCH-systemets primära syfte att kartlägga den regionala depositionen påverkas alltså inte av de identifierade bristerna i beskrivningen av den vertikala koncentrationsprofilen av lufthalterna.

- *Turbulent omblandning:*

Den vertikala omblandningen i MATCH-Sverige och MATCH-Västmanland modellerna, som baseras på en parametrisering av en 40-lagers en-dimensionell s.k. K-modell (se avsnitt 3.1), har vid enstaka begränsade tester visat sig ge något för liten vertikal omblandning och därmed något för höga haltbidrag från marknära källor vid stabil skiktning (t.ex. nattetid och under kalla vinterperioder). Denna överskattning bör vara tydligast nära källorna och för sådana föroreningar som till stor del emitteras från marknära ytkällor. Även i detta fall kan vi förvänta oss att överskattningen blir tydligast för NO₂-halter i marknära luft.

- *Halter i tätort:*

I tätorterna är torrdeposition mindre än kring de regionala stationerna U1-U5 och dessutom är den turbulenta omblandningen i regel större i tätortsområden än på landsbygden. I tätorter kan vi därför förvänta oss mindre effekt i av de överskattningar som diskuteras ovan.

Modellens begränsade upplösning, 5x5 km rutor, medför att lokala emissioner blir alltför utjämnade och därmed blir de beräknade halterna också alltför utjämnade. Detta talar för att MATCH-Västmanland och andra länsmodeller av samma slag inte skall kunna simulera toppvärden i tätorter. Trots det visar jämförelserna med mätdata från centrala Västerås att SO₂-halterna kan beskrivas relativt väl. Detta sammanhänger säkerligen med att det lokala bidraget är litet och att utsläppen lokalt till stor del sker från höga skorstenar. För NO₂, som till stor del orsakas av lokala föroreningsbidrag, klarar följdriktigt modellberäkningarna inte alls av att simulera de kortvariga topparna, men den allmänna nivån överensstämmer trots allt ganska bra.

7.4.2 Våtdeposition

Tidigare studier med Sverigemodellen [7] har visat att variationen i den våta depositionen till öppet fält, speciellt för svavel, är storskalig över Sverige, och att denna variation kan beskrivas tämligen väl av MATCH-Sverige och dess kombination av mätdata och modellberäkningar. Det kan därför finnas skäl att förvänta en relativt god överensstämmelse mellan MATCH-Västmanland och de regionala våtdepositions mätningarna över Västmanland. Jämförelserna i figur 19 av årsvärden visar emellertid för stationerna U1 och U3 betydligt större uppmätta depositionsvärden än vad som erhålls ur beräkningarna. Det gäller för alla tre studerade komponenter. För svavel är de uppmätta årsvärdena ca 50% större än de beräknade värdena. Skillnaderna i uppmätta våtdepositionsvärden vid olika U-stationer är också stora, t.ex. är svaveldepositionen i U1 ca 50 % större än i U5. Räknas våtdepositionsvärdena om till halt i nederbörd och jämförs ser vi att den uppmätta årsmedelhalten av både svavel och oxiderat kväve är betydligt högre vid station U3 än vid station U2. För svavel är halten i nederbörd vid U3 58 % större och för oxiderat kväve 73 % större. Avståndet mellan de jämförda stationerna är knappt 40 km i båda fallen. Detta är anmärkningsvärt stora skillnader på denna skala, varför vi har sökt möjliga förklaringar.

Västmanlands egna källor har i modellberäkningarna visats ge ytterst små bidrag, speciellt för svavel, till våtdepositionen vid t.ex. stationerna U1 och U3, och även övriga Sveriges bidrag är mycket små i förhållande till den internationella långtransporten. Skillnaderna i uppmätta halter i nederbörd är dessutom mycket större än vad osäkerheter i MATCH-beräkningarna kan förklara. Det innebär alltså att den **regionala** spridningen av föroreningar från Västmanland och övriga Sverige inte alls kan förklara de observerade skillnaderna i uppmätt våtdeposition till öppet fält. Jämförelser ovan (figur 21) av månadsmedelhalter i nederbörd visar dessutom att samvariationen mellan närbelägna mätstationer och mellan mätdata från U-stationer och modell är liten för alla tre komponenterna. Skillnaderna i årshalter och den stora spridningen i månadshalter för stationerna i Västmanland kan därför antas bero på (i) stora lokala skillnader i såväl månads- som årsmedelkoncentrationen av långtransporterade föroreningar i nederbörden (ii) lokala effekter vid varje mätstation som påverkar provtagningen, (iii) analysfel.

- (i) Under en enstaka månad kan nederbörds mängden variera mycket på lokal skala. Vid nederbörds mängder mindre än ca 10 mm per månad, då huvuddelen av nederbörd fallit vid något enstaka tillfälle och nederbörds fördelningen varit ojämn över området, kan det leda till stora lokala skillnader i den långtransporterade föroreningskoncentrationen i nederbörd. Så var t.ex. fallet för en månad under 1994 för den nationella stationen Ryda Kungsgård. Detta inträffar emellertid mycket

sällan och kan inte förklara de stora observerade skillnaderna i årsmedelkoncentration. Vi kan f.n. inte heller finna andra processer som skulle kunna orsaka så stora lokala skillnader i nederbördens halt av långväga transporterade föroreningar över Västmanland.

Innan vi diskuterar punkten (ii) och (iii) kan det vara av intresse att jämföra resultaten för Västmanland med erfarenheter från liknande studier i andra sammanhang. Storskaliga mätexperiment (REP I), som syftade till att få fram information för att utforma atmosfärkemiska stationsnät, utfördes av L. Granat, Stockholms Universitet, under 1970-talet i Sverige [8]. Vid dessa mätexperiment gjordes månadsmätningar av nederbördskemiska komponenter i flera olika förtätade stationsnät i södra och mellersta Sverige. Inom vart och ett av områdena, ca 50 km i diameter, var 7-12 provtagare placerade, och undersökningar gjordes av variationen av koncentrationen i nederbörd. Dessa studier visade att för årshalterna av svavel i nederbörd var variationskoefficienten (= standardavvikelse dividerad med medelvärde) ca 0,04 och för oxiderat kväve 0,05. Detta kan jämföras med en beräknad variationskoefficient på 0,19 och 0,21 för årshalter av svavel resp. oxiderat kväve i nederbörd för U-stationerna i denna studie. Visserligen var vart och ett av de studerade områdena i [8] något litet mindre än området för Västmanlands regionala stationer, men spridningen i de regionala U-stationernas data för svavel och oxiderat kväve i Västmanland är uppenbarligen mycket större än vad som observerades i [8]. För årsvärden av nederbördsmängd är det däremot endast en liten skillnad i variationskoefficient mellan vad som anges i [8] och vad som erhålls för Västmanlands U-stationer, 0,05 resp. 0,089, vilket visar att de stora observerade variationerna i halterna av svavel och oxiderat kväve inte orsakas av stora variationer i nederbördsmängd. I [8] konstateras att variationer i nederbördshalter är slumpmässiga inom ett område på upp till ca 50 km i diameter, så länge som området inte är i närheten av kust, stadsområden eller områden med mycket stora gradienter i nederbördsmängd. Enligt bedömningen i [8] borde alltså variationerna mellan närbelägna U-stationer eller nationella stationer inom MATCH-Västmanlands modellområde kunna betraktas som slumpmässiga.

Tabell 8. Variationskoefficienter för årsvärden av nederbördsmängd samt halter av svavel, oxiderat kväve och reducerat kväve i nederbörden för REP I studien [8] samt de regionala U-stationerna i Västmanland under 1994.

Stationsnät	Nederbördsmängd	SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N
REP I	0,05	0,04	0,05	0,08
U-stationerna	0,089	0,19	0,21	0,091

- (ii) Lokala effekter, t.ex. mycket lokala föroreningskällor eller påverkan från krondropp, som påverkar provtagningen vid de enskilda U-stationerna kan inte uteslutas. För detta talar att t.ex. station U3 har betydligt högre halter i nederbörd än station U2 för samtliga komponenter utan att detta kan förklaras av regionala föroreningsbidrag från Västmanlands- eller övriga Sveriges källor. F.n. kan vi dock inte peka ut någon speciell orsak till dessa lokala effekter.
- (iii) Analyserna för stationerna U1-U5 gjordes av IVL på samma sätt som för det nationella nätet. Det finns därför ingen anledning att tro att analysfel är orsaken till

spridningen i data. Vidare borde kvalitén i analyserna för U-stationerna i denna studie från 1994 vara något bättre än analyserna i [8] från mitten av 1970-talet. De systematiskt högre halterna vid t.ex. station U3 talar också helt emot att det rör sig om analysfel. Vi kan dessutom konstatera att resultat från MATCH-systemet (figur 22), som bygger på nationella atmosfärkemiska mätdata, visar en relativt bra samvariation med **oberoende mätdata** från en av de nationella stationerna som utnyttjas i långtransportanalysen.

7.4.3 Krondropp

Krondropsdata för svavel kan ge en uppfattning om torrdepositionens storlek till den skogsvegetation där mätningarna görs. Det ger oss möjlighet att jämföra uppmätt torrdeposition vid resp. mätstation med MATCH-Västmanland beräknade data för samma platser. I de data som presenteras i tabell 7 är dock spridningen i de uppmätta resultaten stor och svår att förklara på basis av vegetationstyp (alla stationerna i granskog) eller olika lufthalter. MATCH-modellen å andra sidan ger en mycket enhetlig nivå på torrdepositionen med endast små variationer mellan stationerna. Om vi emellertid beräknar ett medelvärde för uppmätta värden och ett annat medelvärde för MATCH-beräknad torrdeposition fås en relativt bra överensstämmelse, ca 172 mg S/m² per år för uppmätt och ca 128 mg S/m² per år för beräknad torrdeposition. Med hänsyn till att uppmätta krondropsdata endast avser granskog, med stor torrdeposition, medan modellberäknade data avser en sammanviktad markanvändning så är denna överensstämmelse mycket bra.

Vi har dock svårt att förklara den stora torrdepositionen till station U2. Den stationen har ca 4,6 gånger större torrdeposition av svavel till granskog än vad som uppmäts till station U5, ca 20 km därifrån. Samtidigt som U2 har den största torrdepositionen är de uppmätta svavelhalterna i nederbörd till öppet fält och uppmätt SO₂-halt i luft klart lägst vid denna station. Orsaken till detta torde antingen vara mycket stora skillnader i granskogens höjd och täthet vid de olika stationerna eller att någon form av lokal påverkan på provtagningen, av samma slag som diskuterats ovan för våtdeposition till öppet fält, påverkar resultaten. Trots denna osäkerhet är dock vår bedömning att MATCH-Västmanland ger en god bild av den regionala fördelningen av den torra föroreningsdepositionen.

7.4.4 Sammanfattning av jämförelser

Jämförelserna ovan med olika uppmätta halter i luft talar för att MATCH-Västmanland i landsbygds-områden överskattar marknära lufthalter och att detta orsakas av en överskattning av bidragen från de svenska källorna. För SO₂ är denna överskattning liten, men för NO₂ i skogområden långt från större lokala källor torde den relativa överskattningen kunna nå upp till 50-100%, medan överskattningen är mindre i närheten av tätorter. I centrala tätortsområden med stora lokala emissioner fås en viss underskattning, speciellt av kortvariga topphalter, som är orsakade av att modellens begränsade upplösning på 5x5 km. Dessa erfarenheter kommer, i samband med nästa genomgång av MATCH-systemet för Sverigemodell och länsmodeller, att omsorgsfullt utnyttjas till att förbättra de framtida modellversionerna. Det är dock viktigt att observera att vi **inte alls** har anledning att tro att torrdepositionen, och givetvis inte heller

våtdepositionen, från de svenska källorna skall vara överskattad på samma sätt som halterna i marknära luft. MATCH-systemets primära syfte att kartlägga den regionala depositionen påverkas alltså inte av de identifierade bristerna i beskrivningen av den vertikala koncentrationsprofilen.

I de studier som vi hittills gjort kan vi inte finna annat än att de regionala mätstationerna för våtdeposition till Västmanland ger en stor spridning i uppmätta data och att detta tyder på att stationerna inte är helt representativa på regional skala utan främst speglar variationer orsakade av lokala effekter. Vår bedömning är att MATCH-Västmanland systemet ger en god bild av den regionala fördelningen av den våta föroreningsdepositionen till öppet fält. Det ska också noteras att det ursprungliga syftet med öppetfält stationerna U1-U5 var enbart att erhålla ett referensvärde till krondropsdata vid samma station, inte att göra någon regional kartläggning.

Medelvärde för uppmätta krondropsdata och modellberäkningar överensstämmer relativt bra när det gäller att uppskatta torrdepositionen av svavel till mätstationerna. Den stora uppmätta torrdepositionen till granskog vid station U2, ca 3-4 gånger större än till övriga stationer, kan dock inte förklaras med hjälp av modellberäkningarna. Samtidigt som U2 har den största torrdepositionen är de uppmätta svavelhalterna i nederbörd till öppet fält och uppmätt SO₂-halt i luft klart lägst vid denna station. Orsakerna till detta är osäker, men möjligen kan någon form av lokal påverkan på provtagningen, av samma slag som diskuterats ovan för våtdeposition till öppet fält, påverkar resultaten. Trots denna osäkerhet är vår bedömning att MATCH-Västmanland ger en god bild av den regionala fördelningen av den torra föroreningsdepositionen.

7.5 Resultat från MATCH-Västmanland - prognos för 2010

Det är av intresse att försöka få fram prognoser av bästa möjliga kvalitet för hur den framtida föroreningsdepositionen över Västmanlands län kommer att bli. Vi har i denna studie försökt lösa problemet genom att kombinera följande information:

- IIASA¹s prognoserade emissionsdata för varje enskilt europeiskt land år 2010
- EMEP²s transportberäkningar mellan Europas länder för år 1994
- VLLs specificerade emissionsdata för Västmanland för år 2010
- MATCH-Västmanland modellens beräkningar för år 2010 baserad på väderdata från 1994.

1. IIASA = International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Österrike. IIASA är en samarbetsorganisation för bl.a. miljöanalyser där totalt 17 länder deltar. Sverige, Norge, Finland, USA, Ryssland m.fl. länder ingår i samarbetet.
2. EMEP = Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe.

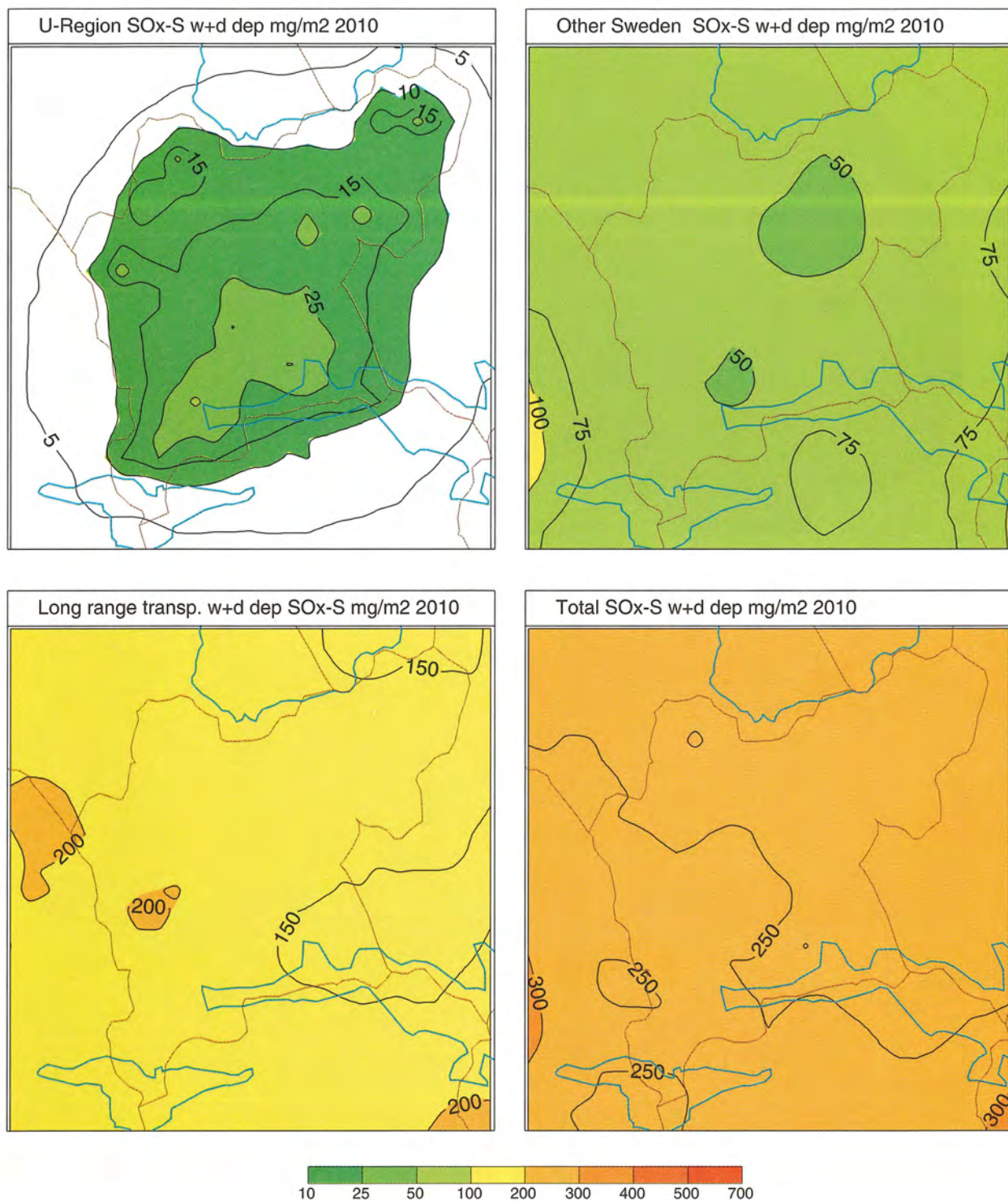
Beräkningarna av depositionen över Västmanland år 2010 baserar sig på antagandet att väderförhållandena över Europa, Sverige och Västmanland är exakt desamma år 2010 som de var år 1994, medan emissionsförhållandena har förändrats - olika för varje land - på det sätt som tagits fram av IIASA i deras "Referens-scenario" för år 2010 (Ref-2010) samt VLLs prognoserade emissionsdata för Västmanland. Västmanlands totala emissioner år

2010 beräknas bli: svavel - 100%, oxiderat kväve - 62% och reducerat kväve - 77% av 1994 års emissioner.

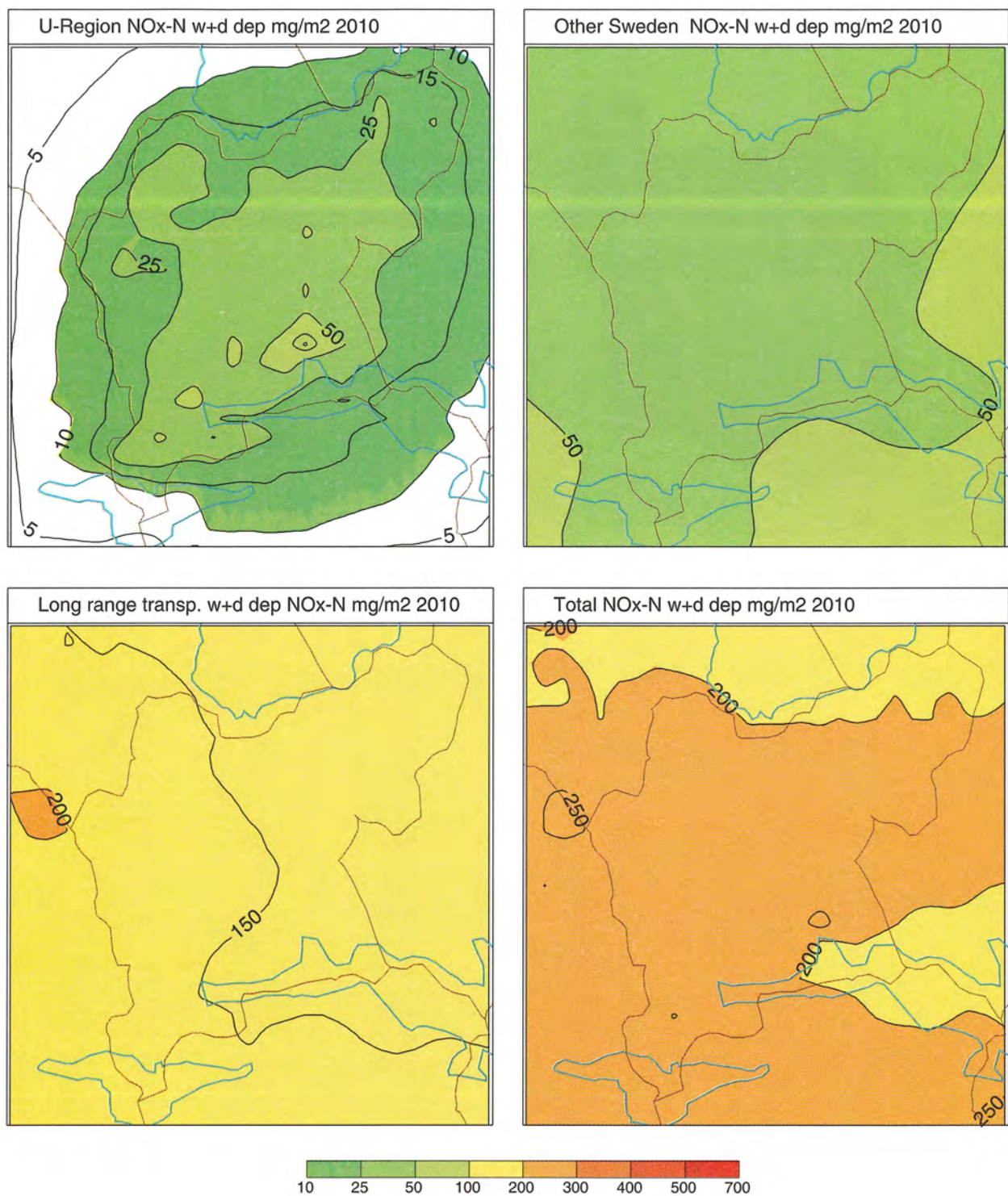
IIASAs arbete med att ta fram olika prognosscenarier för föroreningsemission över Europa ingår i ett arbete [8] på uppdrag av EUs DG-XI. Referens-scenariet avser att återge - för varje europeiskt land individuellt - de mest sannolika emissionerna år 2010, när man tar hänsyn till såväl nationell och internationell lagstiftning som åtaganden gjorda inom "Convention on Long-range Transboundary Air Pollution". För Sveriges del innebär Ref-2010 att emissionerna har reducerats till 96% för svavel, 52% för NO_x och 91% för NH_x jämfört med de emissioner som använts i MATCH-Sverige beräkningarna för 1994. I absoluta tal anger Ref-2010 följande emissioner för Sverige: SO_2 97 000 ton, NO_x 207 000 ton och NH_3 53 000.

Vi har därefter i vårt arbete gjort jämförelser mellan de emissioner som utnyttjas av EMEP- och MATCH-modellerna för år 1994 med de emissioner som finns i Ref-2010 och kombinerat den informationen med EMEPs spridningsberäkningar för år 1994 och MATCH-Sverige resultaten för 1994.

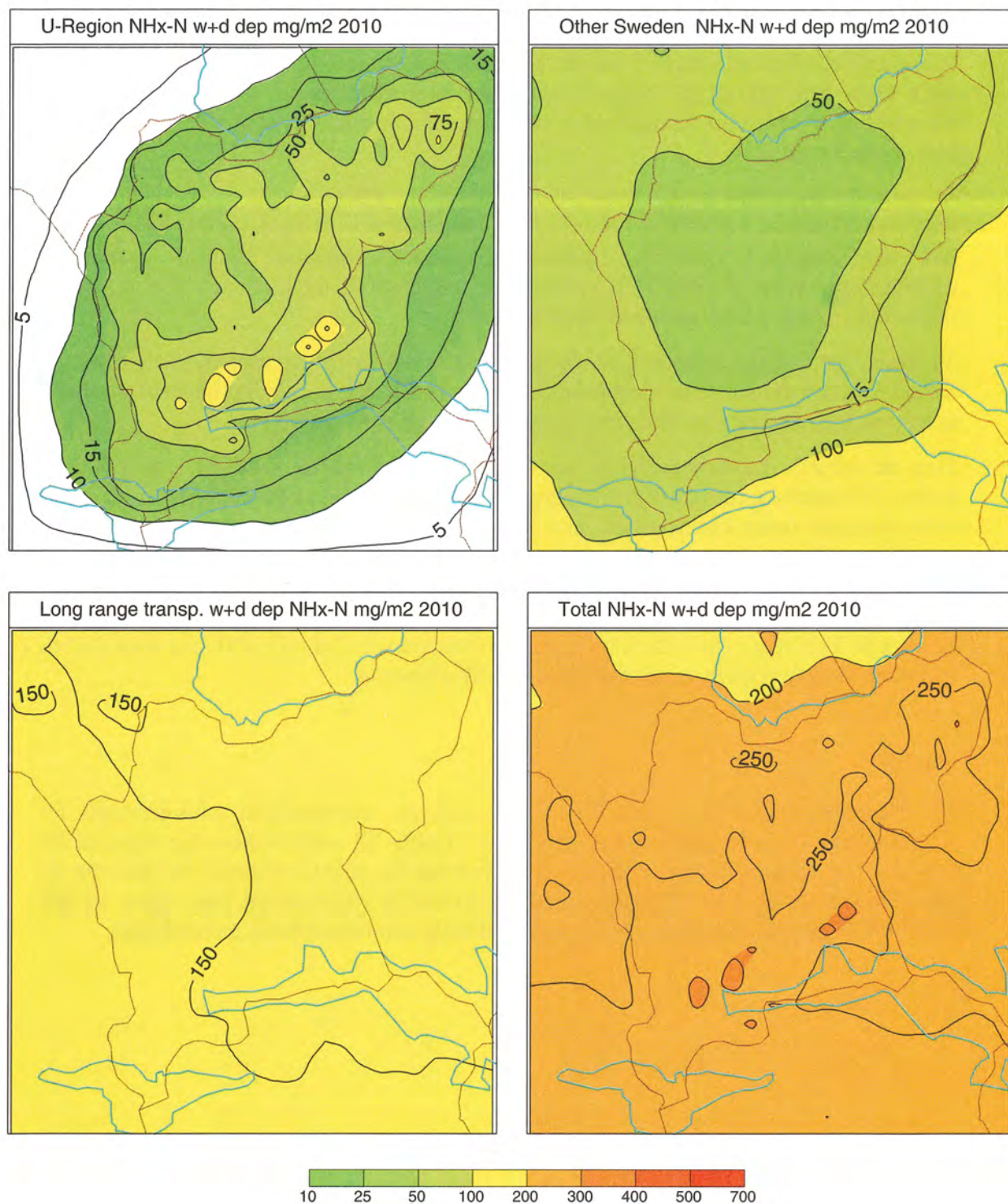
Prognosresultaten avseende total (våt+torr) deposition för år 2010 redovisas i figurerna 24-26. För svavel beräknas det svenska bidraget förbli ungefär oförändrat enligt prognosen, medan den internationella långtransporten minskar till knappt hälften av 1994 års nivå. Det medför att även den totala svavelbelastningen beräknas minska kraftigt över Västmanland. För oxiderat kväve kommer det, enligt prognosen, att bli en minskning av depositionen ner till 60% av 1994 års värden, medan ammoniumkväve i huvudsak kommer att minska p.g.a. Västmanlands egna emissionsminskningar. Länets egen ammoniakdeposition kommer enligt prognosen att bli ca 75% av 1994 års nivå, medan övriga Sveriges och långtransportens bidrag endast kommer att minska marginellt.



Figur 24. Jämförelse mellan prognoserade årsvärden för 2010 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våt + torr deposition av svavel (mg S/m²). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



Figur 25. Jämförelse mellan prognoserade årsvärden för 2010 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för **våt + torr deposition av NO_x-N** (mg N/m²). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.



Figur 26. Jämförelse mellan prognoserade årsvärden för 2010 av a) Västmanlands regionala bidrag, b) övriga Sveriges bidrag, c) internationellt långtransportbidrag och d) totalt för våt + torr deposition av $\text{NH}_x\text{-N}$ ($\text{mg N}/\text{m}^2$). Isolinjer för 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400. Länsgränserna är markerade i brunt, Hjälmarens och Mälarens strandlinjer samt Dalälven i blått.

8. NÅGRA SYNPUNKTER PÅ FRAMTIDA LUFTMILJÖSTUDIER

Den kombination av spridningsmodellberäkningar och mätdata, som utnyttjas i MATCH-Västmanland systemet, anser vi vara ett kraftfullt hjälpmedel i luftmiljöarbetet. Det ställer dock höga krav på att de bakgrundsstationer som utnyttjas är av hög kvalitet, ger representativa värden för området kring stationen samt att stationerna är väl fördelade över hela modellområdet.

Vi anser det angeläget att de brister i beräkningarna av marknära föroreningshalter i luft, som identifierats hos MATCH-systemet, blir åtgärdade och att modelltester därefter görs mot nya oberoende mätdata. Denna åtgärd skulle förbättra kvalitén i framtida miljöanalyser även om MATCH-systemets primära syfte, att kartlägga den regionala depositionen, inte har påverkats av dessa brister.

Vi anser det mycket angeläget att de oklarheter beträffande representativiteten hos de regionala mätstationerna för våtdeposition till öppet fält och krondropp undersöks vidare, och att de frågetecken som finns idag klarläggs så långt det är möjligt.

Den nu aktuella luftmiljöanalysen har enbart omfattat svavel, oxiderat och reducerat kväve. I framtiden torde också en kartläggning av depositionen av baskatjoner (K, Ca, Mg) och marknära ozon kunna göras med hjälp av en liknande metodik och därmed ge ytterligare viktig information för bedömning av miljöfrågor i länet. Förfarandet som utnyttjats, att kombinera MATCH-Sverige data och mätdata från den nationella miljöövervakningen med regionala studier för ett enskilt län, ger möjligheter till noggranna kartläggningar och en mångsidig information om luftmiljöförhållandena i länet, samtidigt som de regionala mätinsatserna kan effektiviseras.

TACK

Per Hedenbo, VLL, har svarat för arbetet med att sammanställa emissionsdata för Västmanland samt dessutom hjälpt oss att få tillgång till atmosfärkemiska mätdata för regionen. Dr Joakim Langner och Lennart Robertson har på ett avgörande sätt bidragit till utvecklingen av hela MATCH-systemet, där MATCH-Västmanland idag utgör en del. Joakim Langner har dessutom givit en rad värdefulla kommentarer till manuskriptet.

REFERENSER

- [1] Persson, C., Langner, J. och Robertson, L. (1995) Regional spridningsmodell för Sverige - Regional luftmiljöanalys för år 1991. *Statens Naturvårdsverk Rapport 4386*.
- [2] Langner, J., Persson, C., Robertson, L. och Ullerstig, A. (1996) Air pollution assessment study using the MATCH modelling system - Application to sulphur and nitrogen compounds over Sweden 1994. *SMHI Rapport RMK 69*.
- [3] Persson, C., Langner, J. och Robertson, L. (1994) Regional spridningsmodell för Göteborgs och Bohus, Hallands och Älvsborgs län - Regional luftmiljöanalys för år 1991. *SMHI Rapport RMK 65*.
- [4] Persson, C., Langner, J. och Robertson, L. (1996) Air pollution assessment studies for Sweden based on the MATCH model and air pollution measurements. *Air Pollution Modeling and Its Application XI, Ed. Gryning and Schiermeier, Plenum Press, New York*.
- [5] Robertson, L., Langner, J. och Engardt, M. (1996) MATCH - Meso-scale Atmospheric Transport and Chemistry modelling system - Basic transport model description and control experiments with ²²²Rn. *SMHI Rapport RMK 70*.
- [6] Hallgren-Larsson, E., Sjöberg, K., och Westling O. (1995) Luftföroreningar i mellersta Sverige - Nedfall halter och effekter okt 1993 - sept 1994. *IVL Rapport B-1186*.
- [7] Persson, C., Ullerstig, A., Robertson, L., Kindbom, K. och Sjöberg, K. (1996) The Swedish precipitation Chemistry network - Studies in network design using the MATCH modelling system and statistical methods. *SMHI Rapport RMK 72*.
- [8] Granat, L. (1975) Principles in network design for precipitation chemistry measurements. *Proceedings to First Symposium on Atmospheric Contribution to the Chemistry of Lake Waters. Internat. Assoc. Great Lakes Res. 1975*.
- [9] Bott, A. (1989a) *Mon. Wea. Rew.* 117, 1006 - 1015.
- [10] Bott, A. (1989b) *Mon. Wea. Rew.* 117, 2633 - 2626.
- [11] Eliassen, A., Hov, Ø., Iversen, T., Saltbones, J., and Simpson, D. (1988) Estimates of airborne transboundary transport of sulphur and nitrogen over Europe. *EMEP/MSC-W. Report 1/88*.

Bilaga 1

Förklaringar till några fackuttryck

Blandningshöjd	=	höjden på den nedersta delen av atmosfären, som är väl blandad
Deposition	=	nedfall av föroreningar till mark, vatten och vegetation (omräkning: $1 \text{ mg/m}^2 = 0,01 \text{ kg/ha}$)
Diffusion	=	turbulent (spridning) transport
Emission	=	föroreningsutsläpp
g/s	=	gram per sekund
Gänsskikt	=	atmosfären under blandningshöjden
Klimatologi	=	genomsnittlig fördelning (under t ex 30 år) av olika väderförhållanden för ett område
Linjekälla	=	föroreningsutsläpp, som beräknas komma från en linje (t ex väg)
N	=	kväve
NH _x -kväve	=	reducerat kväve (omräkning: $\text{NH}_3\text{-N} = 0,824 * \text{NH}_3$)
NO ₂	=	kvävedioxid (omräkning: $\text{NO}_2\text{-N} = 0,304 * \text{NO}_2$)
NO _x -kväve	=	oxiderat kväve
Parametrisering	=	(ungefär) förenklad beskrivning med hjälp av värden på olika parametrar
Punktkälla	=	föroreningsutsläpp, som beräknas komma från en skorsten
Topografi	=	här använt för beskrivning av fördelningen land/hav samt markytans höjd över havet
S	=	svavel
SO ₂	=	svaveldioxid (omräkning: $\text{SO}_2\text{-S} = 0,5 * \text{SO}_2$)
Similaritetsteori	=	(ungefär) modern teori för att beskriva turbulensen i de lägsta delarna av atmosfären
Uttvättningskoefficient	=	parameter, som används för att beskriva nederbördens förmåga att fånga in luftföroreningar
Ytkälla	=	diffusa föroreningsutsläpp nära marken, som beräknas komma från en viss yta, t ex 5 x 5 km ruta
Ytskiktet	=	lägsta ca 30-100m av atmosfären.

SMHI's publications

SMHI publishes six report series. Three of these, the R-series, are intended for international readers and are in most cases written in English. For the others the Swedish language is used.

Names of the Series	Published since
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

Earlier issues published in serie RMK

- | | |
|---|---|
| <p>1 Thompson, T., Udin, I., and Omstedt, A. (1974)
Sea surface temperatures in waters surrounding Sweden.</p> <p>2 Bodin, S. (1974)
Development on an unsteady atmospheric boundary layer model.</p> <p>3 Moen, L. (1975)
A multi-level quasi-geostrophic model for short range weather predictions.</p> <p>4 Holmström, I. (1976)
Optimization of atmospheric models.</p> <p>5 Collins, W.G. (1976)
A parameterization model for calculation of vertical fluxes of momentum due to terrain induced gravity waves.</p> <p>6 Nyberg, A. (1976)
On transport of sulphur over the North Atlantic.</p> <p>7 Lundqvist, J.-E., and Udin, I. (1977)
Ice accretion on ships with special emphasis on Baltic conditions.</p> <p>8 Eriksson, B. (1977)
Den dagliga och årliga variationen av temperatur, fuktighet och vindhastighet vid några orter i Sverige.</p> | <p>9 Holmström, I., and Stokes, J. (1978)
Statistical forecasting of sea level changes in the Baltic.</p> <p>10 Omstedt, A., and Sahlberg, J. (1978)
Some results from a joint Swedish-Finnish sea ice experiment, March, 1977.</p> <p>11 Haag, T. (1978)
Byggnadsindustrins väderberoende, seminarieuppsats i företagsekonomi, B-nivå.</p> <p>12 Eriksson, B. (1978)
Vegetationsperioden i Sverige beräknad från temperaturobservationer.</p> <p>13 Bodin, S. (1979)
En numerisk prognosmodell för det atmosfäriska gränsskiktet, grundad på den turbulenta energiekvationen.</p> <p>14 Eriksson, B. (1979)
Temperaturfluktuationer under senaste 100 åren.</p> <p>15 Udin, I., och Mattisson, I. (1979)
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata - en modellstudie.</p> <p>16 Eriksson, B. (1979)
Statistisk analys av nederbördsdata. Del I. Arealnederbörd.</p> <p>17 Eriksson, B. (1980)
Statistisk analys av nederbördsdata. Del II. Frekvensanalys av månadsnederbörd.</p> |
|---|---|

- 18 Eriksson, B. (1980)
Årsmedelvärden (1931-60) av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 19 Omstedt, A. (1980)
A sensitivity analysis of steady, free floating ice.
- 20 Persson, C., och Omstedt, G. (1980)
En modell för beräkning av luftföroreningars spridning och deposition på mesoskala.
- 21 Jansson, D. (1980)
Studier av temperaturinversioner och vertikal vindskjuvning vid Sundsvall-Härnösands flygplats.
- 22 Sahlberg, J., and Törnevik, H. (1980)
A study of large scale cooling in the Bay of Bothnia.
- 23 Ericson, K., and Hårsmar, P.-O. (1980)
Boundary layer measurements at Klockrike. Oct. 1977.
- 24 Bringfelt, B. (1980)
A comparison of forest evapotranspiration determined by some independent methods.
- 25 Bodin, S., and Fredriksson, U. (1980)
Uncertainty in wind forecasting for wind power networks.
- 26 Eriksson, B. (1980)
Graddagsstatistik för Sverige.
- 27 Eriksson, B. (1981)
Statistisk analys av nederbördsdata. Del III. 200-åriga nederbördsserier.
- 28 Eriksson, B. (1981)
Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige.
- 29 Pershagen, H. (1981)
Maximisnödjun i Sverige (perioden 1905-70).
- 30 Lönnqvist, O. (1981)
Nederbördsstatistik med praktiska tillämpningar. (Precipitation statistics with practical applications.)
- 31 Melgarejo, J.W. (1981)
Similarity theory and resistance laws for the atmospheric boundary layer.
- 32 Liljas, E. (1981)
Analys av moln och nederbörd genom automatisk klassning av AVHRR-data.
- 33 Ericson, K. (1982)
Atmospheric boundary layer field experiment in Sweden 1980, GOTEX II, part I.
- 34 Schoeffler, P. (1982)
Dissipation, dispersion and stability of numerical schemes for advection and diffusion.
- 35 Undén, P. (1982)
The Swedish Limited Area Model. Part A. Formulation.
- 36 Bringfelt, B. (1982)
A forest evapotranspiration model using synoptic data.
- 37 Omstedt, G. (1982)
Spridning av luftförorening från skorsten i konvektiva gränsskikt.
- 38 Törnevik, H. (1982)
An aerobiological model for operational forecasts of pollen concentration in the air.
- 39 Eriksson, B. (1982)
Data rörande Sveriges temperaturklimat.
- 40 Omstedt, G. (1984)
An operational air pollution model using routine meteorological data.
- 41 Persson, C., and Funkquist, L. (1984)
Local scale plume model for nitrogen oxides. Model description.
- 42 Gollvik, S. (1984)
Estimation of orographic precipitation by dynamical interpretation of synoptic model data.
- 43 Lönnqvist, O. (1984)
Congression - A fast regression technique with a great number of functions of all predictors.
- 44 Laurin, S. (1984)
Population exposure to SO_2 and NO_x from different sources in Stockholm.
- 45 Svensson, J. (1985)
Remote sensing of atmospheric temperature profiles by TIROS Operational Vertical Sounder.

- 46 Eriksson, B. (1986)
Nederbörds- och humiditetsklimat i Sverige under vegetationsperioden.
- 47 Taesler, R. (1986)
Köldperioden av olika längd och förekomst.
- 48 Wu Zengmao (1986)
Numerical study of lake-land breeze over Lake Vättern, Sweden.
- 49 Wu Zengmao (1986)
Numerical analysis of initialization procedure in a two-dimensional lake breeze model.
- 50 Persson, C. (1986)
Local scale plume model for nitrogen oxides. Verification.
- 51 Melgarejo, J.W. (1986)
An analytical model of the boundary layer above sloping terrain with an application to observations in Antarctica.
- 52 Bringfelt, B. (1986)
Test of a forest evapotranspiration model.
- 53 Josefsson, W. (1986)
Solar ultraviolet radiation in Sweden.
- 54 Dahlström, B. (1986)
Determination of areal precipitation for the Baltic Sea.
- 55 Persson, C. (SMHI), Rodhe, H. (MISU), De Geer, L.-E. (FOA) (1986)
The Chernobyl accident - A meteorological analysis of how radionuclides reached Sweden.
- 56 Persson, C., Robertson, L. (SMHI), Grennfelt, P., Kindbom, K., Lövblad, G., och Svanberg, P.-A. (IVL) (1987)
Luftföroreningsepisoden över södra Sverige 2 - 4 februari 1987.
- 57 Omstedt, G. (1988)
An operational air pollution model.
- 58 Alexandersson, H., Eriksson, B. (1989)
Climate fluctuations in Sweden 1860 - 1987.
- 59 Eriksson, B. (1989)
Snödjupsförhållanden i Sverige - Säsongerna 1950/51 - 1979/80.
- 60 Omstedt, G., Szegö, J. (1990)
Människors exponering för luftföroreningar.
- 61 Mueller, L., Robertson, L., Andersson, E., Gustafsson, N. (1990)
Meso- γ scale objective analysis of near surface temperature, humidity and wind, and its application in air pollution modelling.
- 62 Andersson, T., Mattisson, I. (1991)
A field test of thermometer screens.
- 63 Alexandersson, H., Gollvik, S., Meuller, L. (1991)
An energy balance model for prediction of surface temperatures.
- 64 Alexandersson, H., Dahlström, B. (1992)
Future climate in the Nordic region - survey and synthesis for the next century.
- 65 Persson, C., Langner, J., Robertson, L. (1994)
Regional spridningsmodell för Göteborgs och Bohus, Hallands och Älvsborgs län. (A mesoscale air pollution dispersion model for the Swedish west-coast region. In Swedish with captions also in English.)
- 66 Karlsson, K.-G. (1994)
Satellite-estimated cloudiness from NOAA AVHRR data in the Nordic area during 1993.
- 67 Karlsson, K.-G. (1996)
Cloud classifications with the SCANDIA model.
- 68 Persson, C., Ullerstig, A. (1996)
Model calculations of dispersion of lindane over Europe. Pilot study with comparisons to measurements around the Baltic Sea and the Kattegat.
- 69 Langner, J., Persson, C., Robertson, L., and Ullerstig, A. (1996)
Air pollution Assessment Study Using the MATCH Modelling System. Application to sulfur and nitrogen compounds over Sweden 1994.
- 70 Robertson, L., Langner, J., Engardt, M. (1996)
MATCH - Meso-scale Atmospheric Transport and Chemistry modelling system.
- 71 Josefsson W. (1996)
Five years of solar UV-radiation monitoring in Sweden.

- 72 Persson, C., Ullerstig, A., Robertson, L., Kindbom, K., Sjöberg, K. (1996)
The Swedish Precipitation Chemistry Network. Studies in network design using the MATCH modelling system and statistical methods.
- 73 Robertson, L. (1996)
Modelling of anthropogenic sulfur deposition to the African and South American continents.
- 74 Josefsson, W. (1996)
Solar UV-radiation monitoring 1996.
- 75 Häggmark, L., Ivarsson, K.-I. (SMHI), Olofsson, P.-O. (Militära vädertjänsten). (1996)
MESAN - Mesoskalig analys.
- 76 Bringfelt, B., Backström, H., Kindell, S., Omstedt, G., Persson, C., Ullerstig, A. (1997)
Calculations of PM-10 concentrations in Swedish cities- Modelling of inhalable particles
- 77 Gollvik, S. (1997)
The Teleflood project, estimation of precipitation over drainage basins.



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING. Tel 011-15 80 00. Telefax 011-17 02 07

ISSN 0347-2116