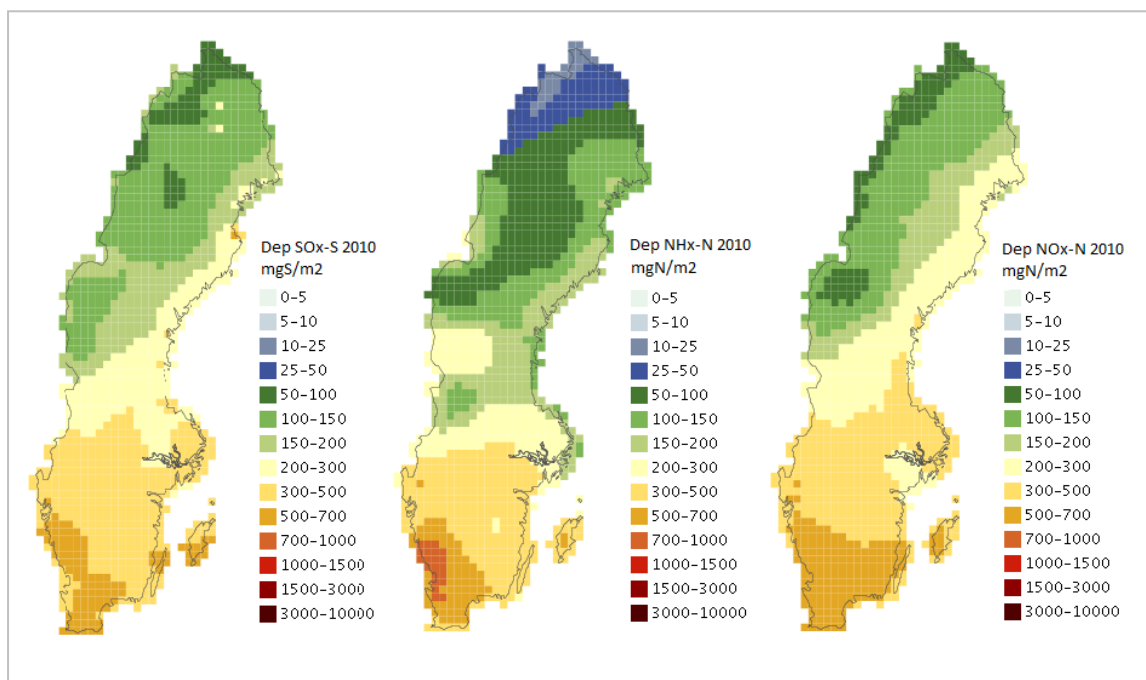


Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverige systemet - metodik och resultat för åren 1998-2011

Rapport Nr 2013-35



Helena Södergren, Sofi Holmin-Fridell, Camilla Andersson och Christer Persson

Bilden visar total deposition av oxiderat svavel, oxiderat kväve och reducerat kväve för 2010.



RAPPORT NR 2013-35

Författare:

Anna Forsgren

Uppdragsgivare:

Naturvårdsverket

Granskningsdatum:

2013-06-20

Granskare:

Marina Verbova

Dnr:

2013/1354/10.3

Version:

1.0

Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverige systemet - metodik och resultat för åren 1998-2011

Uppdragstagare

SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Helena Södergren
011-4958634
helena.sodergren@gmail.com

Uppdragsgivare

Naturvårdsverket
Valhallavägen 195
SE-106 48 Stockholm

Kontaktperson

Anna Forsgren
+ 46 10 698 11 18
Anna.Forsgren@naturvardsverket.se

Distribution

Klassificering

(x) Allmän

Nyckelord

MATCH Sverige modellen, försurande nedfall, frisk luft, atmosfärskemi

Övrigt

Denna sida är avsiktligt blank

Innehållsförteckning

1	SAMMANFATTNING	0
2	BAKGRUND	1
3	SYFTE	1
4	METODIK	1
4.1	MATCH som bakgrundsfält i dataassimilation	2
4.2	Dataassimilation av halter i luft och nederbörd	3
4.3	Våtdepositionsberäkningar	4
4.4	Torrdepositionsberäkningar	4
4.5	Bidrag från Sverige respektive övriga Europa	5
4.6	Emissionsdata	5
4.7	Atmosfärskemiska data uppmätta vid Svenska och Norska mätstationer	8
5	RESULTAT	10
5.1	Väderåren 2003-2011	10
5.2	Luftkoncentration 1998-2011	10
5.3	Deposition 1998-2011	14
5.4	Deposition av oxiderat kväve	14
5.5	Deposition av reducerat kväve	17
5.6	Deposition av svavel	19
5.7	Våtdeposition av baskatjoner	21
6	DISKUSSION AV FELKÄLLOR	24
6.1	Meteorologiska indata	24
6.2	Modeller	24
6.3	Emissionsdata	25
6.4	Atmosfärskemiska indata	25
7	SLUTSATSER	25
8	REFERENSER	26
8.1	Figurer och tabeller	27
9	BILAGOR	28
9.1	Published material related to the MATCH modeling system	28

Denna sida är avsiktligt blank

1 Sammanfattning

MATCH-Sverige systemet är en operativ atmosfärskemisk spridningsmodell som med hjälp av modellberäkningar och atmosfärskemiska mätdata på regional skala skall kartlägga aktuella förhållanden och följa förändringar i tiden av såväl luftkoncentrationer som deposition av svavel, kväve och baskatjoner över Sverige samt närliggande delar av Östersjön och Västerhavet. De nationella miljömål som berörs är försurning, övergödning och frisk luft. Uppdraget omfattar modellering baserad på emissionsdata från SMED (Svenska miljöemissionsdata) och detaljerade tredimensionella meteorologiska data med tre timmars tidsupplösning som finns tillgängliga vid SMHI. Dessutom ingår som en viktig del dataassimilation av atmosfärskemiska mätdata från svenska och norska EMEP-stationer (European Monitoring and Evaluation Programme), svenska LNKN (Luft- och Nederbördschemiska Nätet) samt en höghöjds station.

Deposition till mark och halter i luft presenteras här för svavel, kväve och baskatjoner för åren 1998-2011. Åren 1998-2002 presenterades redan i SMHI rapporten Meteorologi nr 13 (ref. 1) men visas även här för jämförelse med senare år.

De största lufthalter och depositionsvärden erhålles i de sydvästra delarna av Sverige för alla år och alla ämnen, och minskar norrut. Norrlands inland visar de lägsta värdena.

Då det gäller deposition står det långtransporten för det största bidraget av reducerat kväve i Skåne-Blekingeområdet. Torrdepositionen är relativt svår att fastställa då inga mätvärden finns att tillgå. För beräkning av torrdeposition har endast modellerade värden använts. Både då det gäller oxiderat och reducerat kväve står våtdepositionen för den största delen men torrdepositionen är ibland så stor som 50 % av det totala nedfallet. Som väntat är bidraget från havssalt till deposition av baskatjoner och svavel störst vid västkusten.

I denna rapport presenteras tidsserier för deposition för åren 1998-2011. Läsaren måste vara väl medveten om att metodiken under åren inte är konsistent och att inga egentliga slutsatser om trender kan dras i nuläget. För en ordentlig trendanalys är en återanalys där man använder samma metodik och samma typ av indata nödvändig.

2 Bakgrund

MATCH-Sverige är ett system som integrerar mätningar (observationer) av atmosfärskemisk data med resultat från den fysikaliska modellen MATCH som hanterar spridning, luftkemi och nedfall (deposition) dels på Europainivå och dels på nationell nivå. På nationell (svensk) nivå används en version speciellt anpassad för beräkningar baserade på bidrag från svenska emissioner. Därutöver utnyttjas mesoskalig analyserad meteorologi.

Delprogrammet startade som ett forskningsprojekt med stöd från Naturvårdsverkets forskningskommitté för luft 1993-1994. MATCH-Sverige systemet har använts till nationell miljöövervakning sedan övervakningsåret 1991, vilket presenteras i Persson et al. (1995, ref. 2). Ett antal studier har genomförts tidigare, och presenteras bl.a. i rapporterna Persson et al. (2004, ref. 1) där MATCH-Sverige systemet beskrivs utförligt, och Lövblad et al. (1991, ref. 3) där en studie av baskatjoner gjordes med MATCH-Sverige systemets metodik. Denna rapport täcker beräkningsåren 1998-2011.

Systemet MATCH-Sverige genomgick en omfattande utveckling mellan övervakningsåren 2004 och 2005. Åren 1998-2004 ingick inte beräkningar med MATCH över hela Europa som en del i MATCH-Sverige systemet. Metodiken där MATCH-Europa som första gissningsfält används introducerades för beräkningsåret 2005 (för beskrivning se nedan). För närvarande finns beräkningsåren 1998-2011 tillgängliga på nätet.

Då en stor del av förurning och övergödning i Sverige kan härledas till långdistanstransport från övriga Europa finns det ett intresse av att dela upp övervakningen i bidrag från Sverige och bidrag från övriga Europa. Denna åtskillnad finns för alla år som nu är utlagda på nätet, 1998-2010. Vidare så redovisas svavel och baskatjoner exklusive såväl som inklusive havssalt (för nederbörd).

Nedan ges en översiktlig beskrivning av den metodik som infördes i och med 2005 års beräkningar och som nu används inom miljöövervakningen samt en kort diskussion om de osäkerheter som är förknippade med den slutgiltiga produkten. Resultat presenteras på nätet för deposition av kväve, svavel och baskatjoner, samt halter i luft för kväve och svavelämnena.

3 Syfte

Studien har utförts och finansierats inom ramen för Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning. Denna rapport presenterar resultat för åren 1998-2011. För en trendstudie är det nödvändigt att göra en återanalys där man använder samma typ av indata och samma metodik för alla år.

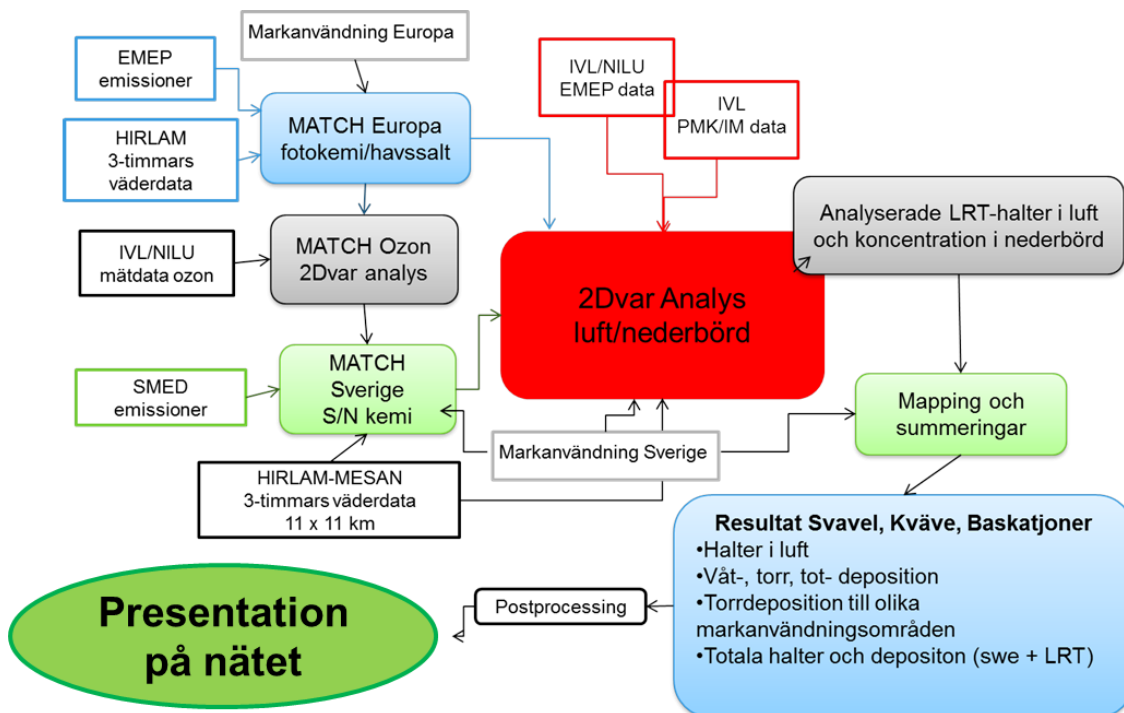
4 Metodik

Både modellerade data och uppmätta data innehåller fel och osäkerheter. Det är omöjligt att uppnå det perfekta värdet vare sig det gäller mätningar eller modeller. Dock strävar man alltid efter att få så exakta resultat som möjligt. Metodiken att kombinera mätningar och modellering ger därför ett kraftfullt verktyg där man får möjlighet att utnyttja de bästa egenskaperna hos såväl observationer som modeller. Med dataassimilation menas att man anpassar modellerade data till mätdata med hjälp av statistik som bygger på en uppskattning av osäkerheten i mätningar och modell. Man får då en analys, d.v.s. en approximation av det "sanna" värdet, av modell och mätningar. För att erhålla en bra analys är det mycket viktigt att både mätdata och modellerade data håller en hög kvalitet.

Startpunkten för att göra en analys av deposition eller halter i luft för ett visst år är att skapa en så kallad första gissning av det modellerade bakgrundsältet. Detta bakgrundsält jämförs mot mätdata och behandlas matematiskt med dataassimilation. Genom algoritmer förändras fältet så att det på bästa sätt överensstämmer med mätningarna. I MATCH-Sverige systemet förutsätter vi att mätdata håller hög kvalitet, och förändrar därför snarare bakgrundsältet än observationsdata under dataassimilationsalgoritmen.

Nedan beskrivs övergripande framtagningen av första gissning, samt genomförande av dataassimilation av halter i luft och nederbörd som infördes fr.o.m. 2005 års data. (Dessförinnan gjordes dataassimilationen med hjälp av s.k. Optimum Interpolation och ett förenklat bakgrundsfält). Därutöver kommer indata till systemet i form av meteorologiska data, emissionsdata och mätdata att beskrivas. Slutligen beskrivs efterbehandlingsprocesser såsom beräkning av torrdeposition till olika marktyper, exempelvis åkerjord och lövträd samt beräkning av våtdeposition. Indata till systemet är dels atmosfärskemiska observationer, vilka tillhandahållits av IVL (Svenska miljöinstitutet) och NILU (Norsk Institutt for luftforskning), dels utsläppsdata från EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), representerande hela Europa, och SMED (Svenska miljöemissionsdata) och dels meteorologiska data. Utsläppsdata från SMED är av högre upplösning än EMEP, och representerar Sveriges utsläpp. Nedan visas en översikt i form av ett flödesschema över MATCH-Sverigesystemet och dess beroenden av indata. Indata till MATCH-Europa är främst HIRLAM väderdata, EMEP emissionsdata samt markanvändningsinformation. Ozonet som beräknas med MATCH fotokemi dataassimileras innan det används som indata i Sverigeversionen av MATCH. Uppmätta ozondata erhålls från IVL och NILU. Som indata till Sverigeversionen av MATCH används förutom det analyserade ozonet markanvändningsdata, SMEDs emissioner samt HIRLAM-MESAN väderdata. Därefter subtraheras de halter beräknade med Sverigeversionen av MATCH från de halter beräknade med MATCH-Europa, samt från de uppmätta halterna. En analys görs på det långväga transportbidrag av halter i luft och koncentration i nederbörd som fås efter subtraktionen. Därefter mappas resultaten från analysen (konverteras till depositioner och anpassas till olika markanvändningsområden). Innan slutresultaten läggs ut på nätet så måste de bearbetas (postprocessas) för att få rätt format.

Översikt över MATCH-Sverigesystemet. Beskrivning av indata till och flöden inom MATCH-Sverigesystemet samt modeller som ingår i systemet. Indata är markerat som rektanglar med vit fyllning. Modeller är färglagda rektanglar med rundade hörn.



4.1 MATCH som bakgrundsfält i dataassimilation

Den första gissningen är en modellerad första skattning av halten av en viss förorening i luft och nederbörd. Denna kan åstadkommas på flera olika sätt. I systemet MATCH-Sverige utnyttjas den fullskaliga fotokemimodellen MATCH för att skapa en första gissning. De ämnen som beräknas med MATCH fotokemimodell är halter i luft och nederbörd av svavel, kväveämnen och ozon. En variationell analys görs på ozonhalter i luft och dessa resultat används sedan som indata till Sverigeversionen av MATCH.

Den s.k. excess-delen (icke havssalt) för baskatjonerna kalium, magnesium och kalcium saknas dock i MATCH-Europa p.g.a. bristande tillgång på emissionsdata, varför en enklare variant av interpolation används som bakgrundsfält för dessa ämnen.

I MATCH fullskaliga fotokemimodell ingår ett kemischema med ca 70 kemiska komponenter och 130 kemiska reaktioner, som beskriver marknära ozonbildning samt svavel- och kvävekemi där bl.a. inorganiska sekundära partiklar bildas. Transport och deposition av ämnen i såväl gasfas som partikelfas ingår. För en noggrannare beskrivning av MATCH-modell se t.ex. Robertson et al. (1999, ref. 4). Den version av MATCH som behandlar svenska emissioner innehåller endast svavel och kväve kemi, alltså ingen fullskalig fotokemi.

MATCH partikelmodell beräknar naturliga emissioner av havssalt (NaCl), baserat på meteorologiska parametrar som vindfält och havstemperatur, se Foltescu et al. (2005, ref. 12). Havssaltspartiklar och primära antropogena partiklar transporteras och deponeras (våtdeponeras; d.v.s. ”tvättas ur” och torrdeponeras; d.v.s. rör sig ner till markytan) i modellen.

För halter i nederbörd av vissa kemiska komponenter krävs specialbehandling. Havssalt bidrar med icke försumbara halter av svavel, kalium, magnesium och kalcium. Som första gissning av havssaltsbidrag till halt i nederbörd används därför MATCH partikelmodells havssaltskoncentration i nederbörd. För oxiderat svavel och kväve samt reducerat kväve framtagna med MATCH fotokemimodell ingår inte havssaltbidraget för respektive komponenter, de beräknas alltså exklusive havssalt.

För lufthalter kan inte havssaltsbidrag och övrigt bidrag särskiljas. Detta orsakas av att mätningar av havssaltskoncentration i luft över Sverige från 2000 till 2010 helt har saknats eller utförts på alltför få platser.

I Sverige-systemet görs dataassimilation av LRT-bidrag (långväga transportbidrag, eller Long Range Transport). För att erhålla LRT från MATCH-Europa beräkningar så subtraheras det svenska bidraget framtagna med Sverige versionen av MATCH från de totala halterna. De uppmätta stationsvärdena behandlas på samma sätt. Det svenska bidraget, framräknat med den svenska versionen av MATCH subtraheras från det totala uppmätta värdet. Därefter används LRT fälten från MATCH-Europa respektive observationer i dataassimilationen som beskrivs i nästa sektion. För att i slutresultatet få fram de totala halterna i luft och nederbörd adderas slutligen det svenska bidraget till det analyserade LRT-bidraget. Detta förutsätter mycket hög kvalitet hos både den svenska versionen av MATCH och hos de observerade värdena. Det finns dock brister hos båda vilka diskuteras senare.

4.2 Dataassimilation av halter i luft och nederbörd

För att på bästa möjliga sätt utnyttja de mätstationer som finns spridda över Sverige och Norge kombineras mätdata med storskalig information från första gissningen genom så kallad dataassimilation. Dataassimilation är, som nämnts tidigare, en benämning på metoder som kombinerar observationer av variabler, såsom halten av ett ämne i luft, med informationen från en modell i syfte att skapa en analys, d.v.s. en uppskattning av det rätta värdet av det aktuella tillståndet hos atmosfären. Inom miljöövervakningen används för närvarande en dataassimileringsmetod som kallas variationell analys. Syftet med den variationella analysen är att försöka hitta den analys som med minsta möjliga avvikelse överensstämmer med både mätdata och modell genom att ta hänsyn till osäkerheterna. En känd och önskvärd egenskap hos en modellsimulering är att osäkerheterna är korrelerade i rummet. Därför kommer en avvikelse mellan mätdata och modell spridas till omkringliggande platser. I och med detta kan informationen från en mätstation, som endast representerar en plats, utnyttjas för att även beskriva ett större omkringliggande område. Hur långt informationen sprids (är korrelerad) beror på vilken typ av variabel som assimileras.

Den variationella analysen i systemet MATCH-Sverige sker för närvarande på bidraget från långväga transport från resten av Europa (alltså utan Sveriges bidrag) och i två dimensioner (i horisontalplanet, förkortat 2dvar). Som nämnts ovan, för att erhålla långtransportbidraget hos mätvärdena subtraheras det modellerade MATCH-Sverigevärdet med det observerade värdet. Den totala halten kommer dock innehålla både ett bidrag från Svenska emissioner, naturliga utsläpp (beror på ämne men kommer bl.a. från hav) samt bidraget från långväga transport från resten av Europa. För att särskilja mellan LRT och svenska bidrag används data från MATCH-Sverige där endast svenska emissioner finns

representerade. Från analysen av de långväga koncentrationerna läggs sedan denna information från MATCH-Sverige till för att erhålla de totala halterna. Anledningen till att denna metodik används är att man vill bevara den höga upplösning som MATCH-Sverige körs på. MATCH-Europa och själva 2dvar-analysen körs på 44x44 km upplösning och de tillgängliga atmosfärskemiska stationerna ligger glest, medan MATCH-Sverige körs på 11x11 km upplösning. Denna uppskattning är förknippad med en viss osäkerhet. En noggrann särskiljning mellan det svenska och långväga bidraget förutsätter att uppskattningen av de svenska emissionerna, modellen i sig samt den meteorologiska information som driver modellen innehåller mycket små osäkerheter. De ovan nämnda osäkerheterna kan generellt inte anses försumbara.

För lufthalter sker dygnsvis assimilation av mätvärden och första gissningsfält. För lufthalter antas isotropa korrelationer: förändringen av bakgrunds-fältet sker enbart baserat på avstånd från mätstation och på skillnaden mellan mätning och bakgrunds-fält. För halt i nederbörd sker månadsvis assimilation av mätvärden och första gissningsfält. Orsaken till den grövre tidsupplösningen är att det inte finns rikstäckande observationer av halt i nederbörd på dygnsbasis, utan enbart med grövre tidsupplösning. Halter i nederbörd som är från icke-havssaltsbidrag antas ha isotropa, avståndsberoende, korrelationer. Havssaltsbidraget assimileras däremot med anisotropa korrelationer, då gradienten av havssaltsfältet är skarp utmed kusterna. En beskrivning av metodiken för havssaltberäkningar står att läsa om i Foltescu et al. (2005, ref. 12).

4.3 Våtdepositionsberäkningar

Som grund till de våtdepositionsberäkningar som görs i MATCH-Sverige systemet utnyttjas rutinmässig objektiv analys var 3:e timma av nederbördsmängder över Sverige. Dessa analyser utförs inom SMHI's basverksamhet och baseras på all tillgänglig information i form av manuella och automatiska nederbördsmätningar (totalt ca 800 stationer), radarinformation, satellitdata, vindobservationer etc. Viss efterbearbetning rörande korrigering av nederbördsmängder med hänsyn till vindförluster i nederbördsmätare samt topografiska effekter har gjorts. 3-timmars nederbördsfält används i MATCH-Sverigemodellen och interpoleras till timvärden i modellen inför beräkning av våtdeposition av svenska emissioner.

De analyserade resultaten från dataassimilationen av modellerade och observerade data fås i form av koncentration i nederbörd. Det är naturligt eftersom mätdata anges i koncentration i nederbörd. Våtdepositionen beräknas därefter fram genom att den analyserade koncentrationen multipliceras med ovan beskrivna nederbördsdata. Kvaliteten på nederbördsdata är avgörande för kvaliteten på våtdepositionsberäkningarna.

4.4 Torrdepositionsberäkningar

Som underlag för torrdepositionsberäkningar används de analyserade lufthalter som erhållits med hjälp av dataassimilationen. Beräkningar av torrdeposition är förenat med vissa svårigheter jämfört med beräkning av våtdeposition eftersom torrdepositionen beror på många olika faktorer. Bland annat beror den på vilket ämne som deponeras, gas eller partikel, partikelstorlek, depositionsytans beskaffenhet samt rådande meteorologiska förhållanden.

Förenklat sker torrdepositionen i tre steg. I det första steget transporteras den atmosfärskemiska komponenten i det turbulenta atmosfäriska gränsskiktet ner till gränsytan till det laminära gränsskiktet. Det laminära gränsskiktet är ett millimetertunt skikt ovanför mark-, vatten- eller vegetationsytan. Därefter transporteras komponenten genom detta. I det tredje steget deponeras komponenten på ytan.

Torrdepositionen beräknas i MATCH modellen med hjälp av en resistensmodell där resistensen för gaser och partiklars deposition till underlaget parameteriseras, se Chamberlain and Chadwick (1965, ref. 5). Torrdepositionsflödet kan beskrivas av följande samband (jämför Ohm's lag inom elläran),

$$F_i(z) = C_i(z) \frac{1}{r_i(z)}$$

där F_i är flödet för ett ämne i på höjden z och $C_i(z)$ är den aktuella koncentrationen. Resistensen r_i bestämmer depositions hastigheten v_d genom följande uttryck:

$$v_d = \frac{1}{r_a + r_b + r_c}$$

där r_a , r_b och r_s är den aerodynamiska resistansen, det laminära ytskiktets resistans respektive ytresistansen. Storleken hos resistenserna varierar på ett komplicerat sätt beroende på egenskaper hos ämnet som deponeras, meteorologiska förhållanden och ytans beskaffenhet. I MATCH modellen är dessa tre resistenser parametriserade. Resistensen beräknas för varje gridruta, för varje timma med aktuell väderdata, för varje markanvändningstyp och för varje gas eller partikelfraktion. För en utförligare beskrivning av metodiken för torrdepositions beräkningar i MATCH-Sverige modellen hänvisas läsaren till Klein et al. (2002, ref. 6).

4.5 Bidrag från Sverige respektive övriga Europa

Analysen från dataassimilationen ger en relativt tillförlitlig bild av den långväga koncentrationen av ämnen i luft över Sverige, alltså den del av den totala koncentrationen som kommer från övriga Europa. Den totala mängden kommer dock både innehålla ett bidrag från Svenska emissioner, naturliga utsläpp (beroende av ämne men bl.a. från hav) samt ett bidrag från långväga transport från resten av Europa.

För att särskilja mellan bidrag från långväga transport och bidrag från Sverige används data från MATCH-Sverige där det svenska bidraget beräknas genom att enbart beräkna med svenska emissioner. Från de modellerade MATCH-Europa resultaten dras sedan sverigebidraget bort för ett erhålla den långväga transporten (bidrag från övriga Europa). Även de uppmätta mätvärdena behandlas på detta sätt, genom subtraktion av sverigebidrag från MATCH-Sverige för att erhålla uppmätt bidrag från långväga transport. Därefter görs analysen på bidraget från övriga Europa. För att få fram de totala koncentrationerna i luft och nederbörd adderas slutligen det Svenska bidraget framtaget med MATCH-Sverige till det analyserade värdet. En noggrann särskiljning mellan det svenska och långväga bidraget förutsätter att uppskattningen av de svenska emissionerna, modellen i sig, samt den meteorologiska information som driver modellen, innehåller mycket små osäkerheter.

4.6 Emissionsdata

De europeiska emissioner som används i MATCH Europa körningarna inom Sverige systemet baseras på EMEPs griddade data med en geografisk upplösning på 50x50 km. I MATCH Sverige används de svenska emissioner som sammanställs av SMED och rapporteras av Sverige till UNFCCC, CLRTAP och EU. EMEPs emissioner över Sverige baseras i sin tur på SMEDs internationellt rapporterade emissioner.

SMED tar på uppdrag av Naturvårdsverket årligen fram Sveriges emissioner för internationell rapportering. Emissionerna beräknas på ett antal sektorer och undersektorer enligt internationell rapporteringsstandard för totalt 25 ämnen.

De beräknade totalemissionerna för varje ämne fördelas geografiskt efter åtta huvudsektorer och mer än 150 undersektorer. Fördelningen görs med en upplösning på 1x1 km. Emissionerna fördelas först på punktkällor (industrier) vars emissioner erhålls från svenska miljörapporteringsportalen (SMP) och handelssystemet med utsläppsrätter. Övriga emissioner fördelas med hjälp av en kombination av aktivitetsdata och geografiska data. De geografiskt fördelade emissionerna redovisas genom Regional utveckling och samverkan i miljömålssystemet

(<http://projektwebbar.lansstyrelsen.se/rus/Sv/Pages/default.aspx>), genom Naturvårdsverkets Utsläpp i Siffror (<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/>) samt var femte år till CLRTAP.

I Tabell 1, Tabell 2 och Tabell 3 listas emissionsdata för åren 2005-2010 för svavel (som SO₂), kväve (som NO₂) och ammoniak (NH₃). I tabellerna presenteras internationellt rapporterad emissionsdata från SMED, emissionsdata använd i MATCH-Sverige samt svensk emissionsdata som använts i EMEP modellen och därigenom som indata till MATCH-Europa. All data i tabellerna är exklusive sjöfartsemissioner. Sjöfartsemissioner ingår i MATCH-modellens indata, men den har behandlats olika i SMED genom åren, och för att göra emissionerna mer överskådliga och jämförbara över åren så visas endast emissioner exklusive sjöfart i denna rapport. Emissioner för åren 1998-2002 diskuteras i tidigare rapport (se ref. 1).

Vid tidpunkten för rapporteringen av den nationella miljöövervakningen har svenska emissionsdata från SMED fortfarande inte rapporterats internationellt. Av den anledningen baseras MATCH-Sverige beräkningarna normalt på emissionsdata från föregående år. Detta är av mindre betydelse eftersom olika väderförhållanden för olika år påverkar föroreningsituationen mer än den årliga variationen av utsläpp. Detsamma gäller EMEPs emissioner vilka inte uppdateras varje år i MATCH Europa. Arbete har lagts ned på omberäkningar av 2005-2008 års data, och för alla beräkningsår från 2005 till 2010 har EMEPs emissioner från 2007 använts, och för 2011 års beräkningar har 211 års emissioner använts. De emissioner som utnyttjats finns listade i Tabell 1 till Tabell 3. SMEDs emissioner räknas om varje år, därför skiljer de i sig något från de emissioner som använts i MATCH.

Tabell 1. Emissionsdata för svaveldioxid för åren 2005-2010. a) Internationellt rapporterade emissionsdata via SMED, b) emissionsdata utnyttjad i MATCH, c) emissionsdata som utnyttjats i EMEP-modellen och därmed i MATCH-Europa. Emissionerna visar totalemissioner för Sverige, men inkluderar inte sjöfart. Svensk sjöfart är inkluderad i EMEPs emissioner som används i MATCH-Europa och behandlas därför inte i MATCH-Sverige beräkningarna.

År	Emission av svavel (kton/år som SO ₂)		
	a) SMED	b) MATCH Sverige	c) EMEP
	Sverige inrikes	Sverige inrikes	Sverige inrikes
2005	31991	34015	31177
2006	32898	35885	
2007	31177	31620	
2008	29287	29884	
2009	27363	27914	
2010	30545	30245	

Tabell 2. Emissionsdata för kvävedioxid för åren 2005-2011. a) Internationellt rapporterade emissionsdata via SMED, b) emissionsdata utnyttjad i MATCH, c) emissionsdata som utnyttjats i EMEP-modellen och därmed i MATCH-Europa. Emissionerna visar totalemissioner för Sverige, men inkluderar inte sjöfart. Svensk sjöfart är inkluderad i EMEP's emissioner som används i MATCH-Europa och behandlas därför inte i MATCH-Sverige beräkningarna.

År	Emission av oxiderat kväve (ton/år som NO ₂)		
	a) SMED	b) MATCH Sverige	c) EMEP
	Sverige inrikes	Sverige inrikes	Sverige inrikes
2005	167073	186873	161654
2006	166644	160474	
2007	161654	156626	
2008	154182	155767	
2009	145738	150034	
2010	150796	158392	

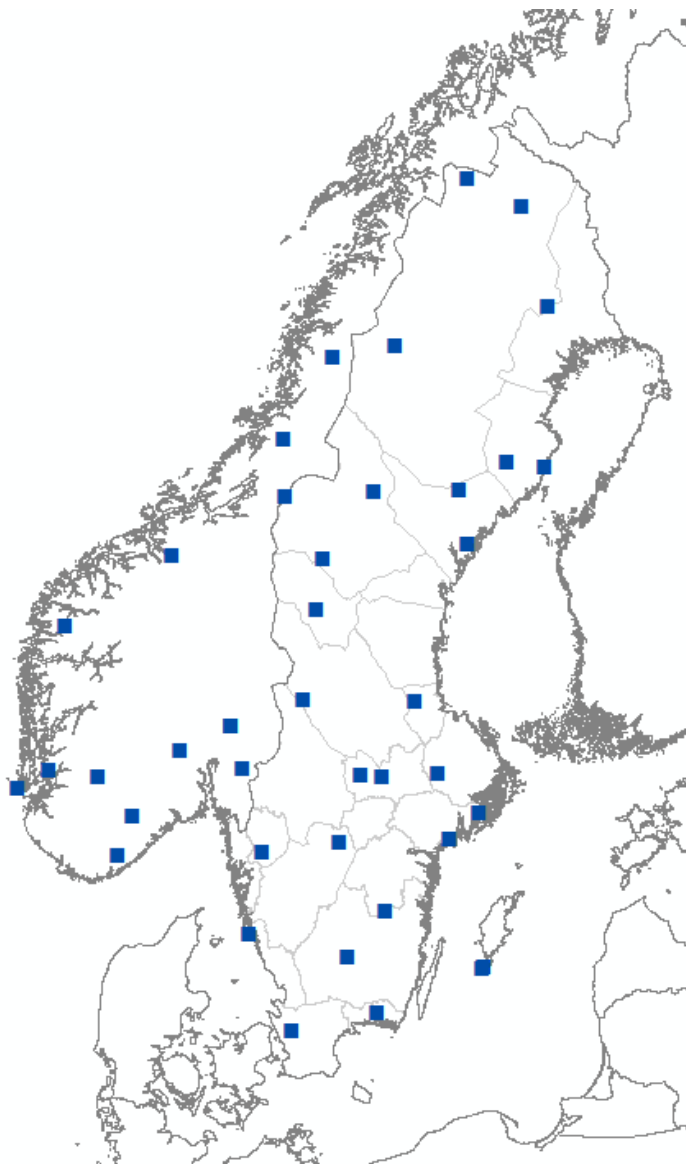
Tabell 3. Emissionsdata för ammoniumkväve för åren 2005-2011. a) Internationellt rapporterade emissionsdata via SMED, b) emissionsdata utnyttjad i MATCH, c) emissionsdata som utnyttjats i EMEP-modellen och därmed i MATCH-Europa. Emissionerna visar totalemissioner för Sverige, men inkluderar inte sjöfart. Svensk sjöfart är inkluderad i EMEP's emissioner som används i MATCH-Europa och behandlas därför inte i MATCH-Sverige beräkningarna.

År	Emission av reducerat kväve (ton/år som NH ₃)		
	a) SMED	b) MATCH Sverige	c) EMEP
	Sverige inrikes	Sverige inrikes	Sverige inrikes
2005	55144	52213	52705
2006	54465	51956	
2007	52705	50369	
2008	52026	49700	
2009	50061	47965	
2010	51674	51671	

4.7 Atmosfärskemiska data uppmätta vid svenska och norska mätstationer

De uppmätta atmosfärskemiska data som utnyttjas i MATCH-Sverige systemet fås från IVL som tillhandahåller de svenska stationerna, och NILU som sköter de norska. De svenska stationerna omfattar LNKN, EMEP, IM (Integrerad miljöövervakning i naturekosystem) samt en höghöjdstation.

De vid dataassimilationen utnyttjade atmosfärskemiska mätstationerna för bakgrundsluft inom Norden framgår dels av Figur 1 där mätstationernas lokalisering finns utmärkta, och dels av Tabell 4 nedan.



Figur 1. De atmosfärskemiska mätstationer som använts i Sverige modellen.

I Tabell 4 visas även vilket atmosfärskemiskt nät respektive station tillhör (EMEP, LNKN eller IM), uppmätta variabler, frekvens för mätning samt stationsnamn. För beräkningsåret 2011 utnyttjades 20 stationer för mätning av svavel och kväve i luft, varav fyra svenska EMEP stationer (dygnsvisa mätningar), sex norska EMEP stationer (dygnsvisa mätningar) och nio stationer från LNKN (månadsvisa mätningar). För ozon användes nio svenska EMEP stationer och sex norska (timvisa mätningar).

Tabell 4. Atmosfärskemiska mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för luft.

	Atmosfärs kemiskt nät	Frekvens	Uppmätta Variabler	Stationer
Luft	Svenska EMEP	Dygn	SO ₂ , SO ₄ , NO ₃ +HNO ₃ , NO ₂ , NH ₄ +NH ₃	Aspvreten, Bredkålen, Vavihill, Råö
Luft	Norska EMEP	Dygn	SO ₂ , SO ₄ , NO ₃ +HNO ₃ , NO ₂ , NH ₄ +NH ₃	Birkenes, Karvatn, Hurdal, Tustervatn, Karasjok, Soegne
Luft	Svenska EMEP	Timma	O ₃	Aspvreten, Bredkålen, Esrange, Grimsö, Norra Kville, Prästbodarna, Råö, Vavihill, Vindeln
Luft	Norska EMEP	Timma	O ₃	Birkenes, Karvatn, Hurdal, Karasjok Sandve, Spitsbergen
Luft	LNKN	Månad	SO ₂ , NO ₂	Djursvallen, Docksta, Granan, Hoburgen, Jädraås, Pålkem, Rickleå, Sjöängen, Sannen,
Luft	LNKN/Höghöjd	Månad	SO ₂ , SO ₄ , NO ₃ +HNO ₃ , NO ₂ , NH ₄ +NH ₃	Prästbodarna

Då det gäller nederbörd användes totalt 23 stationer, varav fyra svenska EMEP (två dygnsvisa och två månadsvisa), 15 norska EMEP (sex dygnsvisa och nio veckovisa), 18 LNKN (månadsvisa), fyra IM (månadsvisa) samt en höghöjd (månadsvis) (se Tabell 5).

Tabell 5. Atmosfärskemiska mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för nederbörd.

	Atmosfärs kemiskt nät	Frekvens	Uppmätta Variabler	Stationer
Nederbörd	Svenska EMEP	Dygn	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Bredkålen, Råö
Nederbörd	Norska EMEP	Dygn	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Birkenes, Karvatn, Loeken, Hurdal, Tustervatn, Karasjok
Nederbörd	Norska EMEP	Vecka	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Brekkebygda, Karpukt, Haukland, Hoylandet, Nausta, Treungen, Vatnedalen, Vikedal, Soegne
Nederbörd	Svenska EMEP	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Aspvreten, Vavihill
Nederbörd	Svenska IM	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Aneboda, Kindlahöjden, Gammtratten, Gårdsjön
Nederbörd	LNKN	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Abisko, Ammarnäs, Djursvallen nedre, Docksta, Esrange, Granan, Hoburgen, Jädraås, Majstre, Norra Kville, Prästbodarna, Pålkem, Rickleå, Ryda Kungsgård, Sandnäset, Sjöängen, Sannen, Tandövala, Tyresta
Nederbörd	LNKN/Höghöjd	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Hundshögen

5 Resultat

Som diskuterades tidigare så förändras inte emissionerna i Europa drastiskt från år till år (se Tabell 1 till Tabell 3). Däremot kan vädret variera mycket från ett år till ett annat, vilket orsakar variationer i halter i luft och nederbörd. Detta gör att föroreningsförhållandena i Sverige varierar mer med årliga avvikelser i väder än med årliga skillnader i föroreningsutsläpp i Sverige och övriga Europa. Inledningsvis görs därför en övergripande studie av temperatur och nederbörd för respektive år. De år som diskuteras är främst 2003-2011. I en tidigare rapport (se ref. 1) diskuterades de tidigare åren 1991, 1993-2002. Därefter presenteras och diskuteras resultaten från MATCH-Sverige modellens beräkningar av lufthalter och deposition till mark. Ett tidigare försök till trendanalys presenterades redan 2004 i (ref. 1) för åren 1991-2002 och detta görs även i denna rapport, för åren 1998 till 2011.

5.1 Väderåren 2003-2011

För ökad förståelse för föroreningsförhållandena i Sverige från år till år kan det vara till hjälp att studera väderförhållandena för respektive år. Kartor för temperatur, vind och nederbörd finns på SMHI's hemsida, <http://www.smhi.se/klimatdata>. Där finns kartor som visar avvikelser från normalvärden i årsmedel för temperaturer respektive nederbörd. Normalvärden används för att olika sorters klimatuppgifter ska kunna jämföras. Den nu gällande normalperioden är av Världsmeteorologiska organisationen fastställt till 1961-1990. Väderåren för 1998-2002 diskuterades i tidigare rapport (ref. 1) och tas inte upp igen här. För åren 2003-2011 var temperaturen över det normala för samtliga år utom 2010 som avvek kraftigt från övriga år och var ett kallt år. Speciellt åren 2006 och 2011 var varma i hela landet.

Åren 2006 och 2011 var också relativt blöta år med nederbördsmängder över det normala, speciellt i de norra och västra delarna av Sverige 2011. Åren 2007 och 2008 har också nederbördsmängder över det normala i såväl södra som norra Sverige. Större nederbördsmängder medför ofta ökad våtdeposition. Första kvartalet 2008 kan nämnas som exempel. Då rörde sig en rad lågtryck från Atlanten in över södra Sverige och kopplat till dessa lågtryck med åtföljande nederbördsområden transporterades förorenad luft söderifrån, främst i lägsta ca 1500 m av atmosfären, från europeiska kontinenten upp över landet och gav stora föroreningsdepositioner.

År 2003 hade mindre mängd nederbörd i stora delar av landet och 2009 och 2010 låg runt det normala, dock något under i fjällkedjan och längs väst- och östkusten, vilket också visar sig i minskade mängder våtdeposition för dessa områden.

5.2 Luftkoncentration 1998-2011

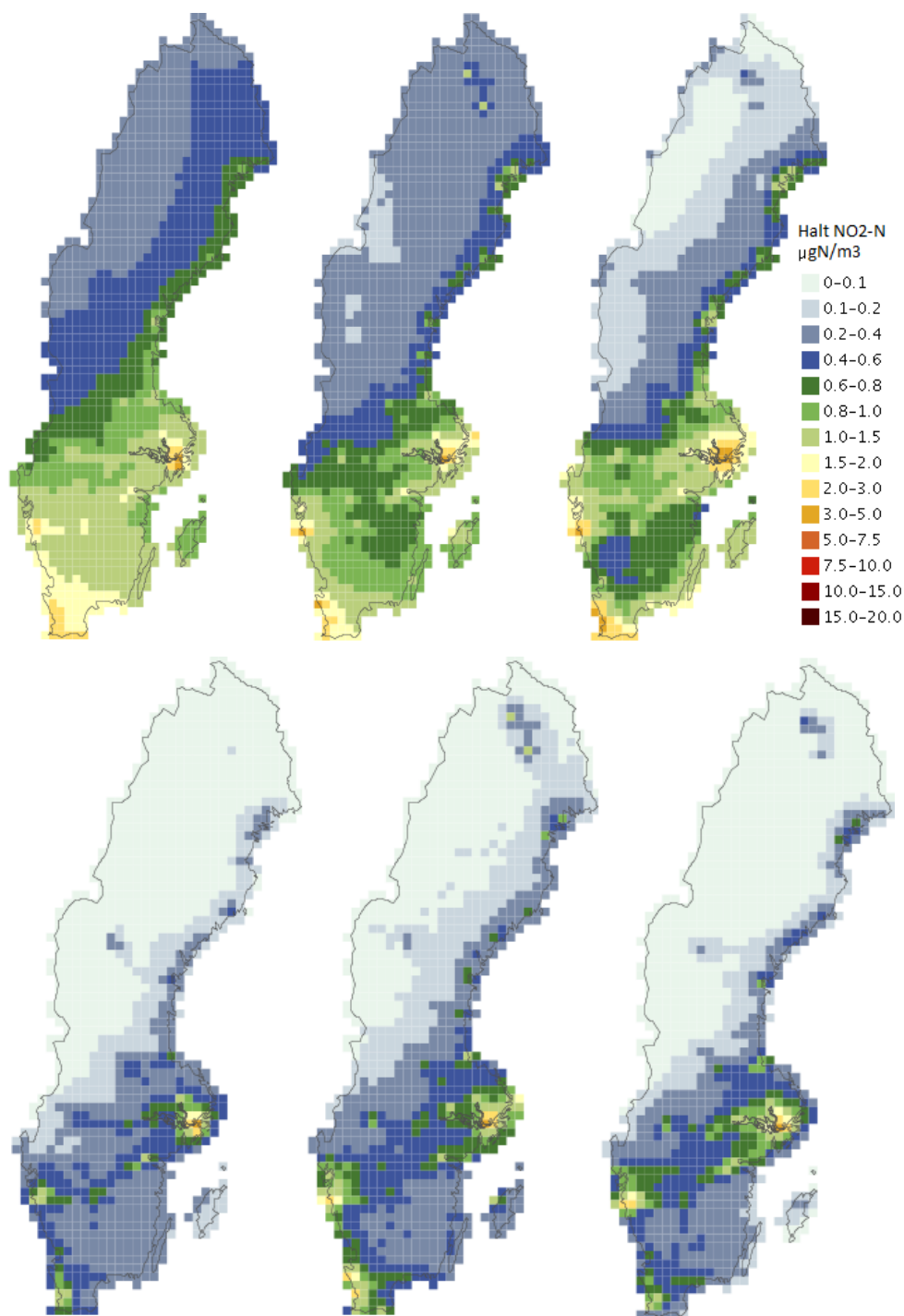
I Figur 2, Figur 3 och Figur 4 presenteras lufthalter för kvävedioxid (som kväve), reducerat kväve (som kväve) respektive svaveldioxid (som svavel) över Sverige för åren 1998 (till vänster i varje figur), 2004 (i mitten) och 2010 (till höger). Den övre raden i varje figur visar de totala halterna, d.v.s. Sveriges bidrag och halter intransporterade från Europa, medan den nedre raden visar endast Sveriges bidrag till luftföroreningarna. Skillnaden mellan de totala lufthalterna och Sveriges bidrag utgörs av den del av den totala lufthalten som kommer från övriga Europa, d.v.s. det ”importerade” eller långtransporterade bidraget. Det måste dock noteras att metodiken uppdaterades mellan åren 2004 och 2005. Kartorna måste därför jämföras med största försiktighet och det vore önskvärt med en och samma metodik för en fullständig jämförelse. Resultaten för åren 1991-2002 diskuterades i tidigare rapport (ref. 1).

I figurerna visas kvävedioxid, reducerat kväve och svavel i kartform så som de presenteras på nätet. Kartor för alla år hittas på SMHI's hemsida (<http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi>).

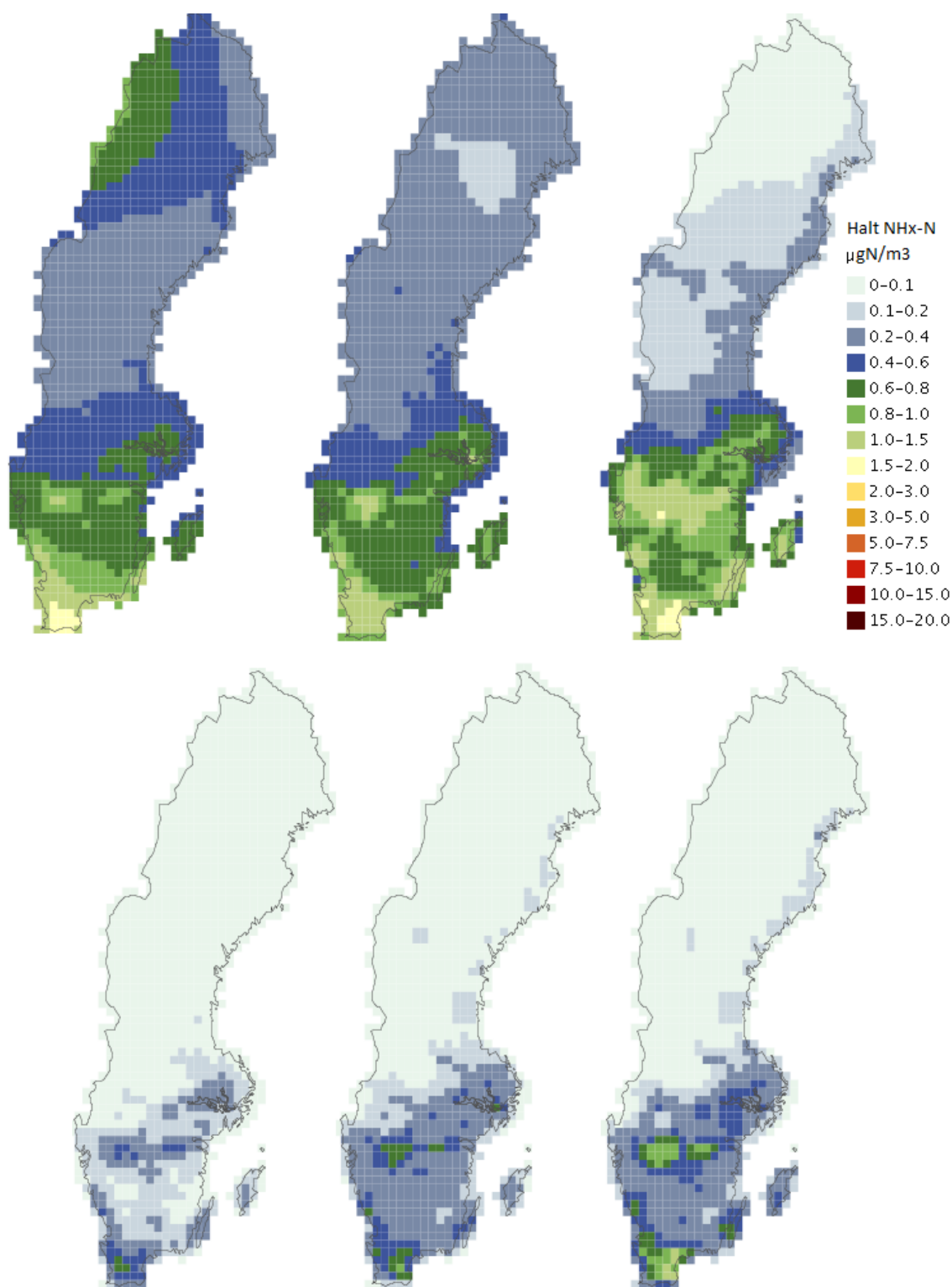
Enligt Figur 2 har halterna av kvävedioxid minskat både i de norra och södra delarna av landet, även om det ser ut att vara en ökning av halter i de stora städerna, t.ex. Stockholm och även i sydvästra Skåne, för 2010. Även det Svenska bidraget ser ut att ha ökat runt städerna. 2010 var ett kallt år vilket kan påverka lufthalterna t.ex. i samband med fler inversionstillfällen. Återigen, man måste här vara medveten om att det förekommer inkonsistens i metodiken, både vad gäller MATCH-Sverigesystemet och framtagning av indata såsom SMEDs griddade emissioner.

Av Figur 3 framgår att de totala halterna av reducerat kväve i luft har minskat i de norra delarna av Sverige och har ökat något i södra delarna. Högre halter förekommer i t.ex. Östergötland för 2010 än för 1998 och 2004. Även de svenska lufthalterna av reducerat kväve har enligt beräkningarna ökat i dessa områden.

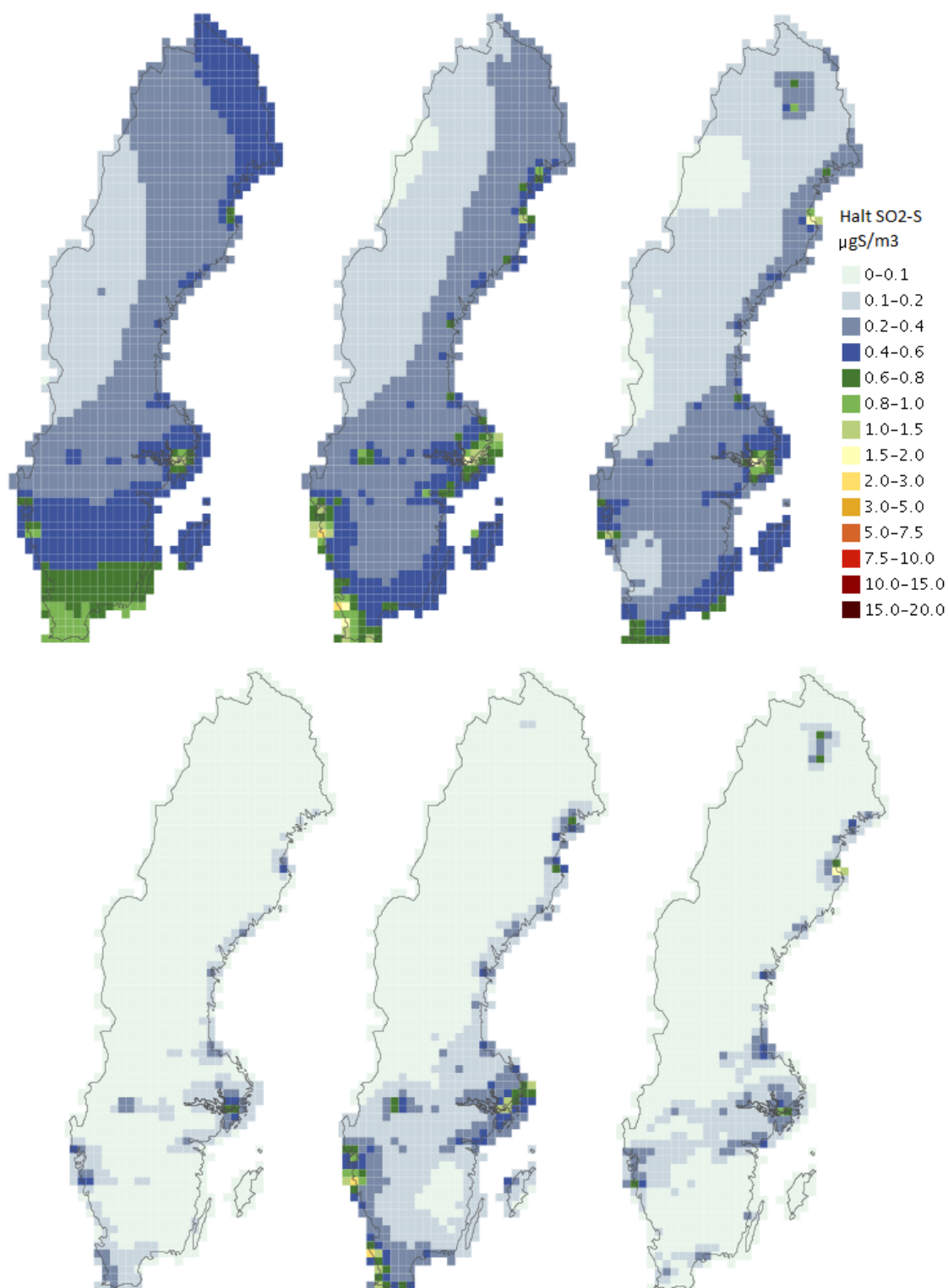
Figur 4 visar halter i luft för svaveldioxid, och kartorna indikerar att både de totala halterna och Sveriges bidrag har minskat i hela landet under åren, även om en ökning kan ses för 2004. De högsta halterna återfanns i södra Sverige samt runt Stockholm 1998, och de lägsta halterna i nordvästra Sverige, långt från svavel källorna. Samma mönster ses för 2004 och 2010. Högre halter kan ses i Kiruna och längs Sveriges östkust för 2010. Återigen, man måste här vara medveten om att olika metodiker har använts. Även metodiken för framtagning av SMEDs griddade emissionsdata skiljer sig från år till år.



Figur 2. Halter i luft för kvävedioxid (som kväve), åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Totala halter (Sveriges halter plus halter från övriga Europa) visas i översta raden och endast Sveriges bidrag i nedersta.



Figur 3. Halter i luft för reducerat kväve, åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Totala halter (Sveriges halter plus halter från övriga Europa) visas i översta raden och endast Sveriges bidrag i nedersta.



Figur 4. Halter i luft för svaveldioxid (som svavel), åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Totala halter (Sveriges halter plus halter från övriga Europa) visas i översta raden och endast Sveriges bidrag i nedersta.

5.3 Deposition 1998-2011

Figur 6 visar deposition till blandad markanvändning uppdelad på sju områden i Sverige, för åren 1998-2011. Varje område representeras av ett medelvärde av depositionen. För oxiderat och reducerat kväve visas den totala depositionen och staplarna delats upp i torrdeposition och våtdeposition, för att man ska kunna uppskatta hur mycket av depositionen som kommer från respektive depositionstyp. I Figur 10 visas våtdeposition av svavel där staplarna är uppdelat på svavel utan havssalt samt den del av svavel som kommer från havssalt. I Figur 5, Figur 7 och Figur 9 visas de totala depositionsvärdena (Sveriges bidrag plus bidraget som transporterats in till Sverige från övriga Europa) samt det svenska bidraget. Baskatjoner presenteras i Figur 11 till Figur 13.

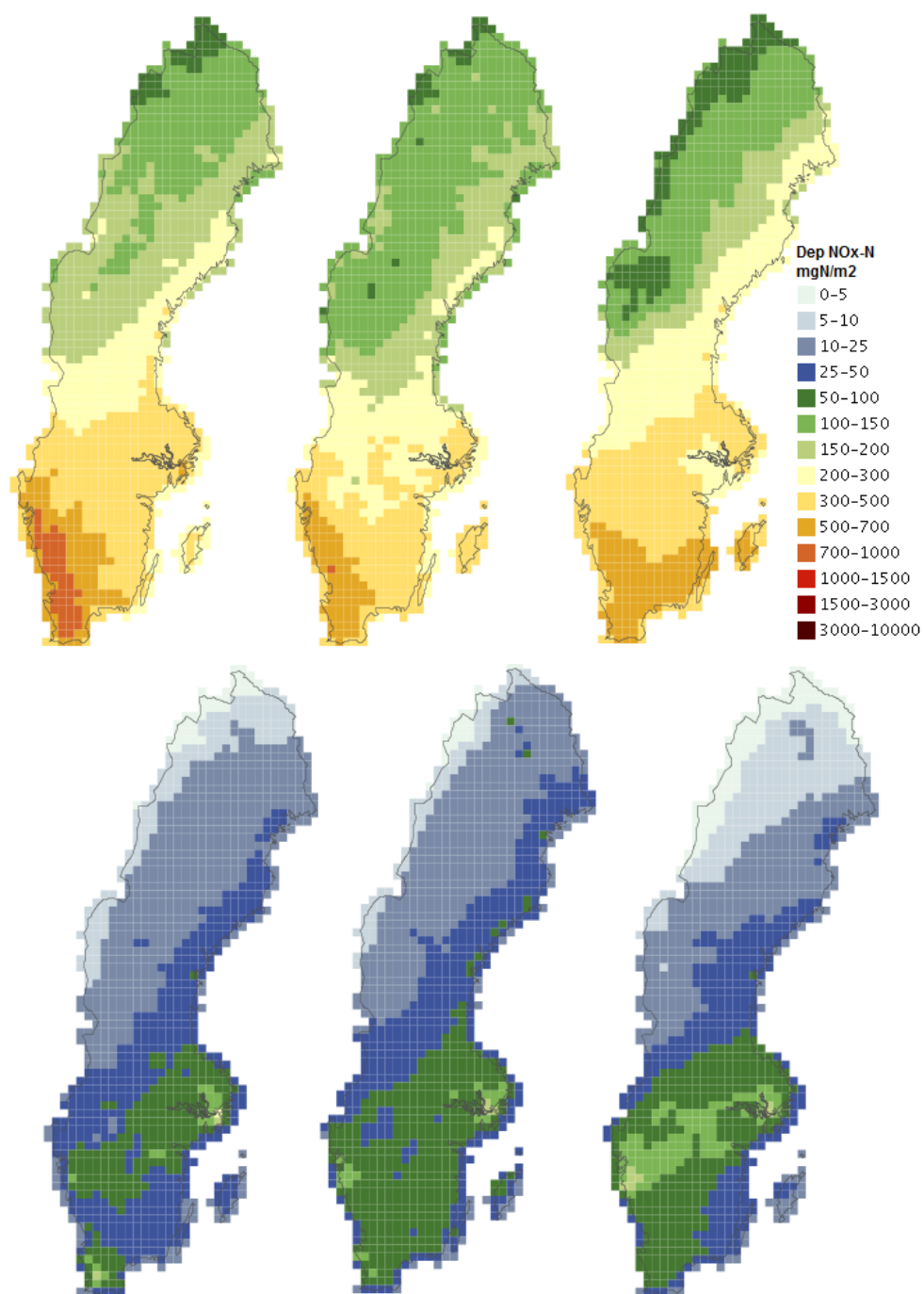
Torrdeposition av svavel presenteras i kartform på nätet (<http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi>). Då det gäller baskatjonerna natrium, kalcium, kalium och magnesium finns endast våtdepositionsberäkningar, eftersom lufthaltmätningar saknades för dessa ämnen. Här har staplarna istället indelats i havssalts-respektive icke-havssaltsbidrag.

Det är viktigt att notera att metodiken som använts under åren inte är konsistent. Metodiken där man använder två dimensionell variationell analys med MATCH Europa som bakgrundsfält infördes 2005. Den metodik som användes för tidigare år, 1991-2004, finns utförligt beskriven i tidigare rapport (ref. 1). I denna rapport från 2004 finns också resultat redovisning för åren 1999-2002.

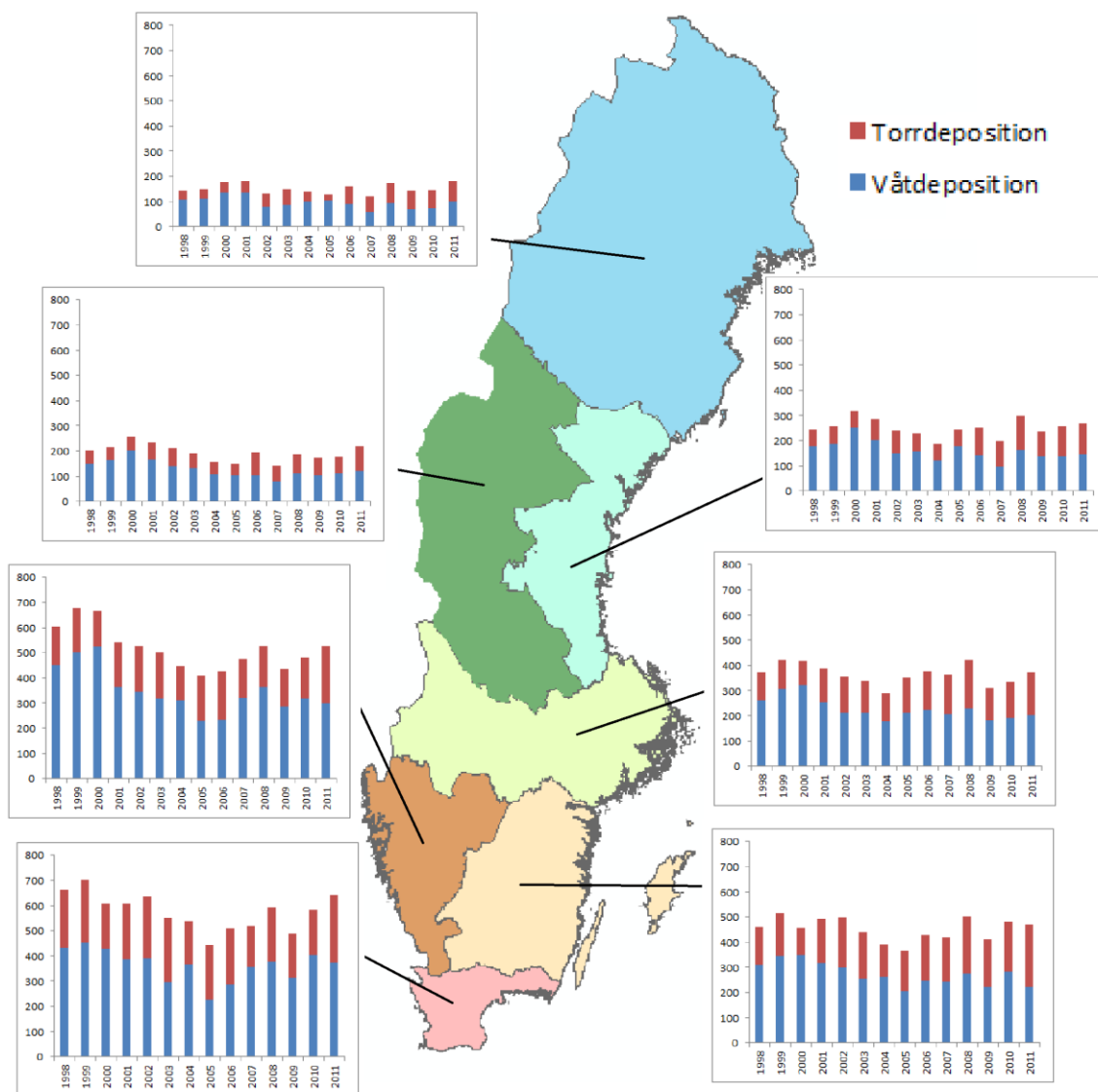
5.4 Deposition av oxiderat kväve

Figur 5 nedan visar kartor för totaldeposition av oxiderat kväve för åren 1998, 2004 och 2010. Övre raden visar den totala depositionen, alltså Sveriges bidrag och det bidrag som transporterats in från övriga Europa, och nedre raden visar Sveriges bidrag. Man kan se att de största depositionsvärdena återfinns i södra Sverige samt runt de stora städerna som t.ex. Stockholm. En stor del av oxiderat kväve transporteras in från Europa. I Figur 6 visas stapeldiagram som delats upp på våt- och torrdeposition för åren 1998-2011. I Figur 6 är Sverige uppdelat på sju olika områden, där depositionsvärdet för respektive område representeras av ett medelvärde över ytan.

I Figur 6 kan man se att våtdepositionen utgör det största bidraget till det totala nedfallet i hela landet, även om torrdepositionen ibland utgör så mycket som runt 50 % i de nordvästra delarna. Den största andelen torrdeposition ser ut att finnas i norra Sverige, men då de totala depositionsvärdena är små där så är också osäkerheten större. Trendstudier bör även här göras med största försiktighet då metodiken varierar genom åren. Det svenska bidraget till den totala depositionen är litet jämfört med det som transporterats in från övriga Europa (se Figur 5).



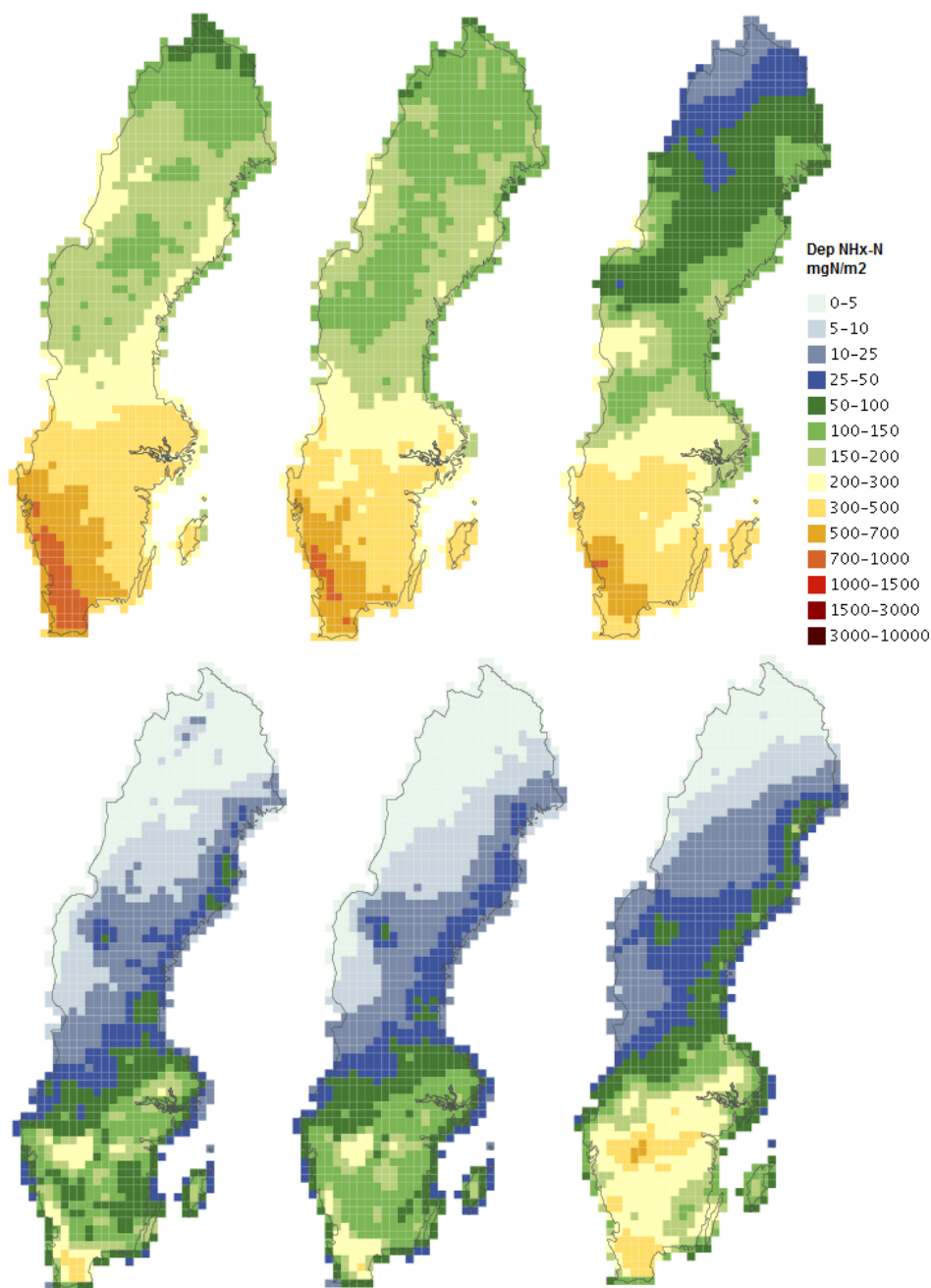
Figur 5. Kartor över deposition av oxiderat kväve för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger) avseende totaldeposition (övre raden) respektive Sveriges bidrag (nedre raden).



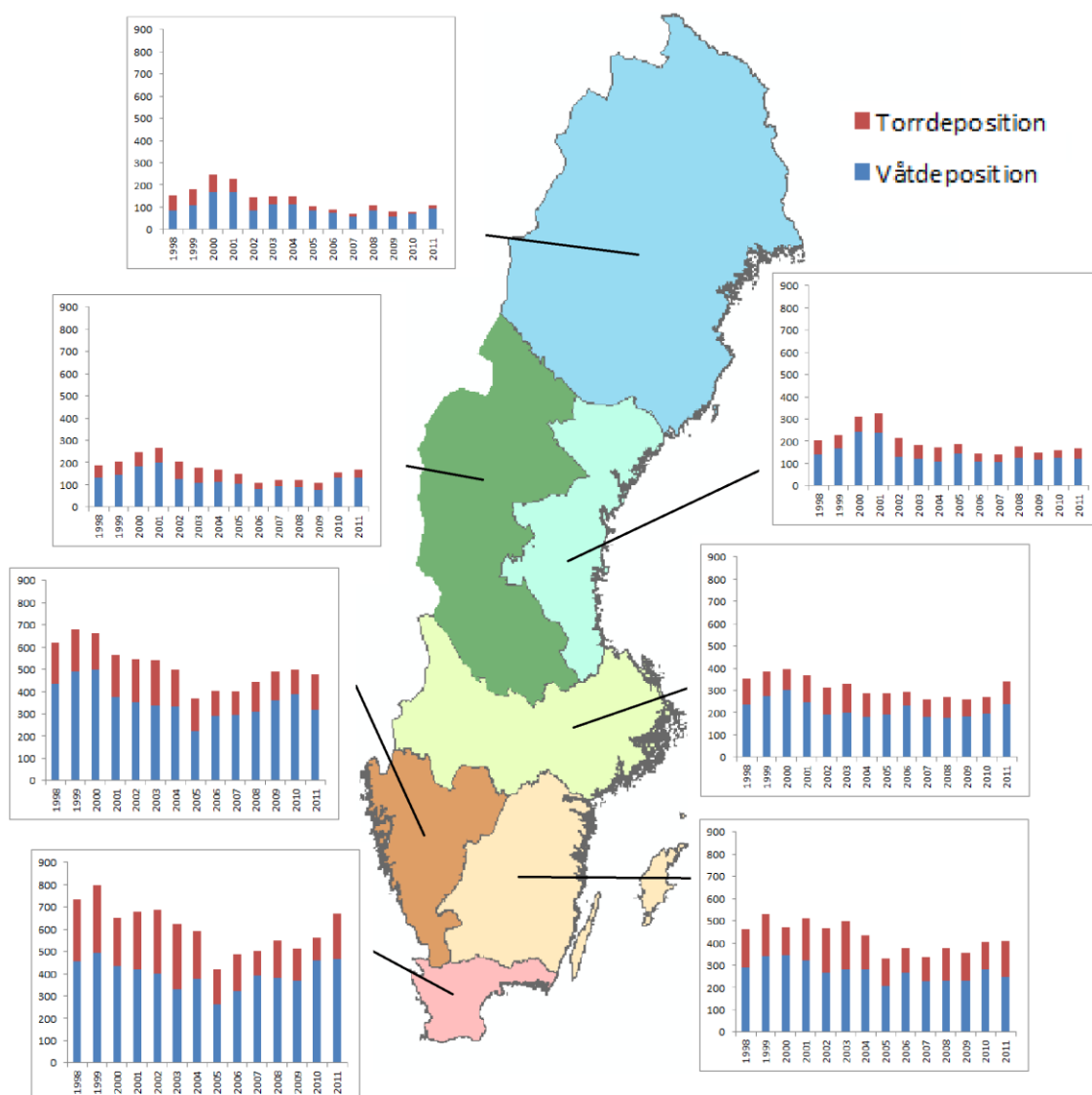
Figur 6. Tidsserier för totaldeposition av oxiderat kväve för olika regioner av Sverige uppdelat på våt- och torrdeposition för åren 1998-2011.

5.5 Deposition av reducerat kväve

Beräkningar av deposition för reducerat kväve presenteras i Figur 7 och Figur 8. Figur 7 visar totaldeposition, d.v.s. Sveriges bidrag och det som transporterats in från övriga Europa (översta raden) och Sveriges bidrag (nedersta raden) för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Även för reducerat kväve återfinns de högsta depositionsvärdena i de södra och sydvästra delarna av Sverige och visar en ökning för 2008 (se Figur 8). Denna ökning härrör antagligen från det långtransporterade bidraget från övriga Europa och de västliga vindar som drog in över Sverige det året. Depositionen för 2011 var relativt hög i sydvästra Sverige, till följd av de stora nederbördsmängder som uppmättes då (se Figur 8). Som nämnts tidigare måste jämförelser mellan år dock göras med största försiktighet. I de norra delarna av Sverige är det svenska bidraget av reducerat kväve mycket lågt relativt de totala halterna. Sveriges bidrag är störst i södra Sverige, vilket är väntat eftersom de största jordbruksmarkerna finns runt Öst- och Västgötaslätterna samt i Skåne. Kartorna som visas i Figur 7 indikerar också att det svenska bidraget av reducerat kväve har ökat, speciellt i de områden där depositionsvärdena redan är som högst.



Figur 7. Kartor över deposition av reducerat kväve för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger) avseende totaldeposition (övre raden) respektive Sveriges bidrag (nedre raden).

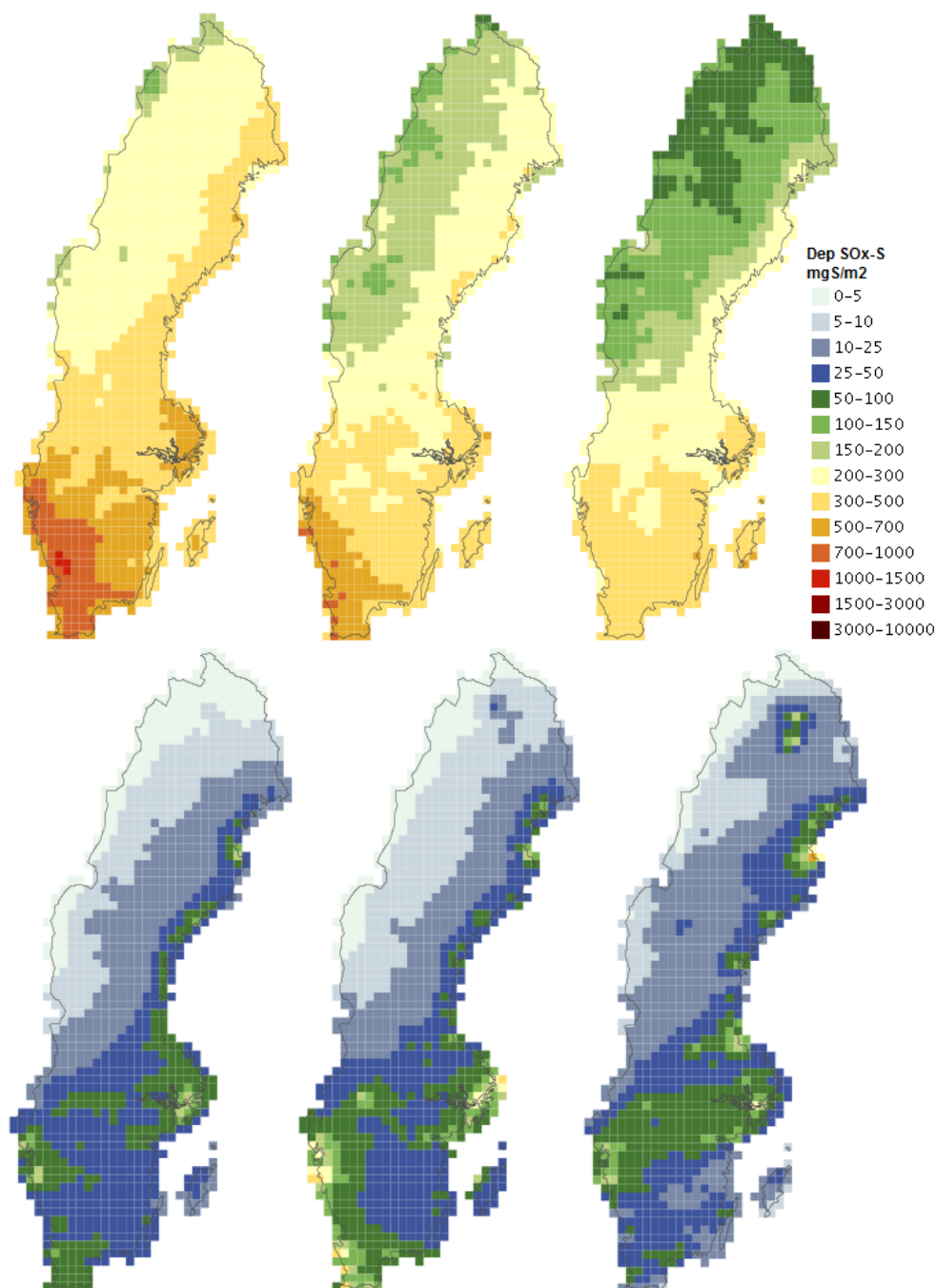


Figur 8. Tidsserier för totaldeposition av reducerat kväve inom olika regioner av Sverige uppdelat på våt- och torrdeposition för åren 1998-2011.

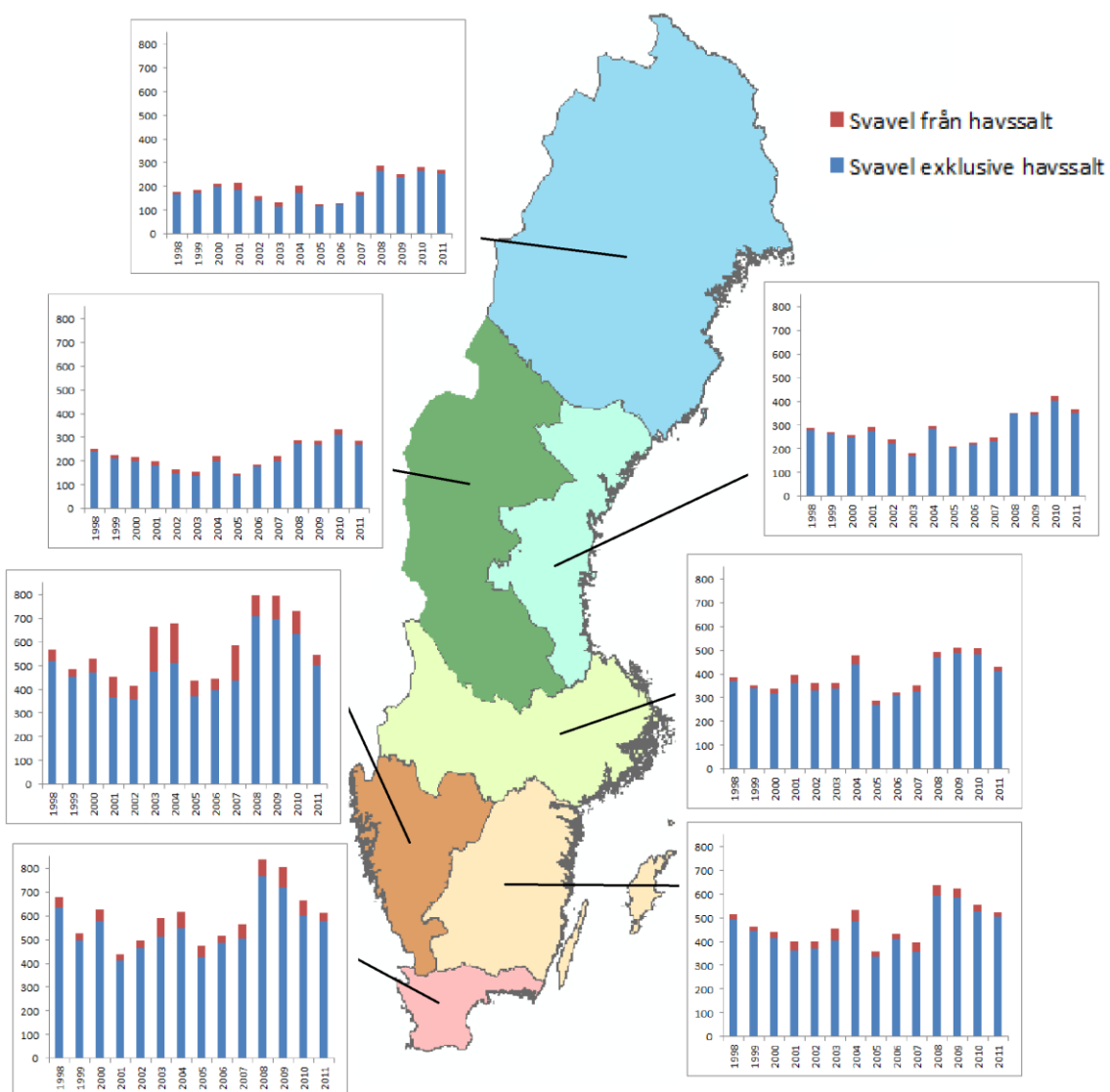
5.6 Deposition av svavel

I Figur 9 visas geografisk kartläggning av totaldeposition (våt plus torr) av svavel för åren 1998 (panelen till vänster), 2004 (mitten) och 2010 (panelen till höger). Den övre raden visar Sveriges bidrag plus det bidrag som transporterats in från övriga Europa, och den nedre raden visar den del som endast Sverige bidrar med. Precis som för kväve är det svenska bidraget litet i jämförelse med de totala halterna.

I Figur 10 presenteras våtdeposition av svavel (både Sveriges bidrag och intransporterat bidrag) för åren 1998-2011. Staplarna är uppdelade på den del av svavel som kommer från havssalt och den del av svavel som inte innehåller havssalt. Som väntat är havssaltdelen liten i norra Sverige och störst i de sydvästra delarna samt i de nordvästra delarna, längs gränsen till Norge, där de västliga vindarna tar med salt från havet. Det måste återigen noteras att metodiken inte är konsistent genom åren och att även metodiken i framtagningen av emissioner varierar och att det därför är svårt att dra några slutsatser om trender.



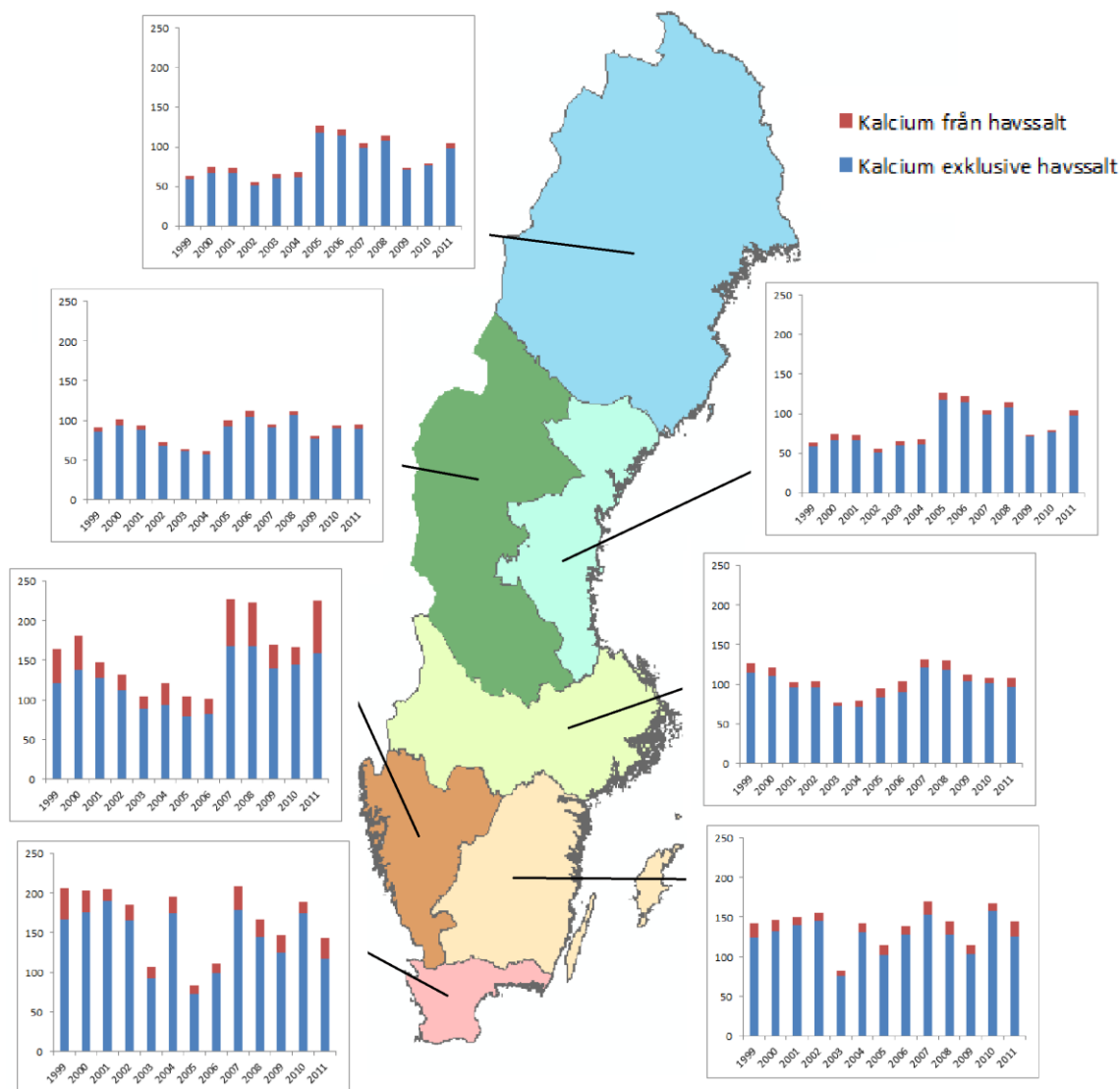
Figur 9. Deposition av svavel (exklusive havssaltdelen) för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger) avseende totaldeposition (övre raden) respektive Sveriges bidrag (nedre raden).



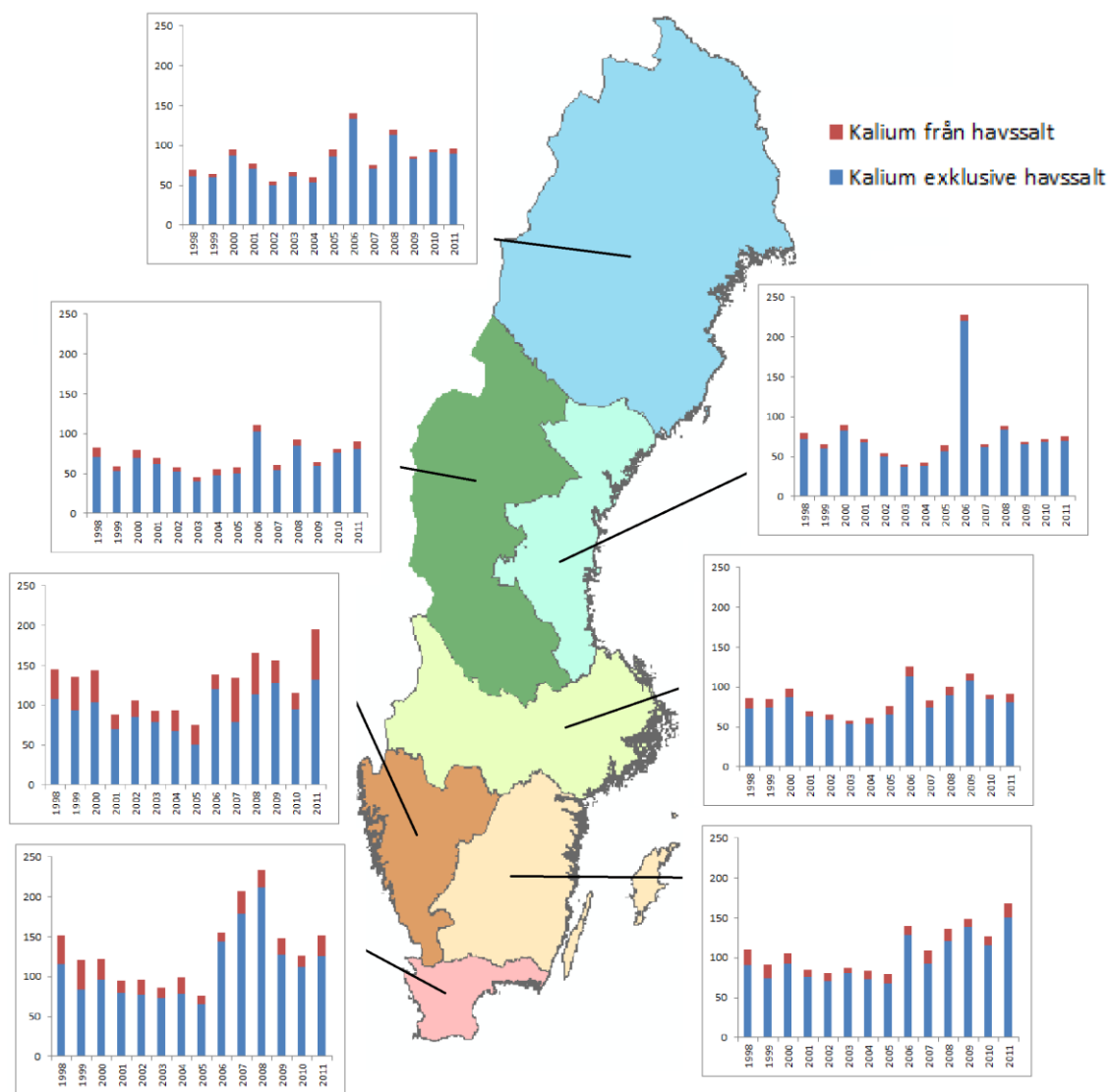
Figur 10. Tidsserier för totaldeposition av svavel inom olika regioner av Sverige uppdelat på bidraget från havssalt (rött) och den del av svavel som inte innehåller havssalt (blått).

5.7 Våtdeposition av baskatjoner

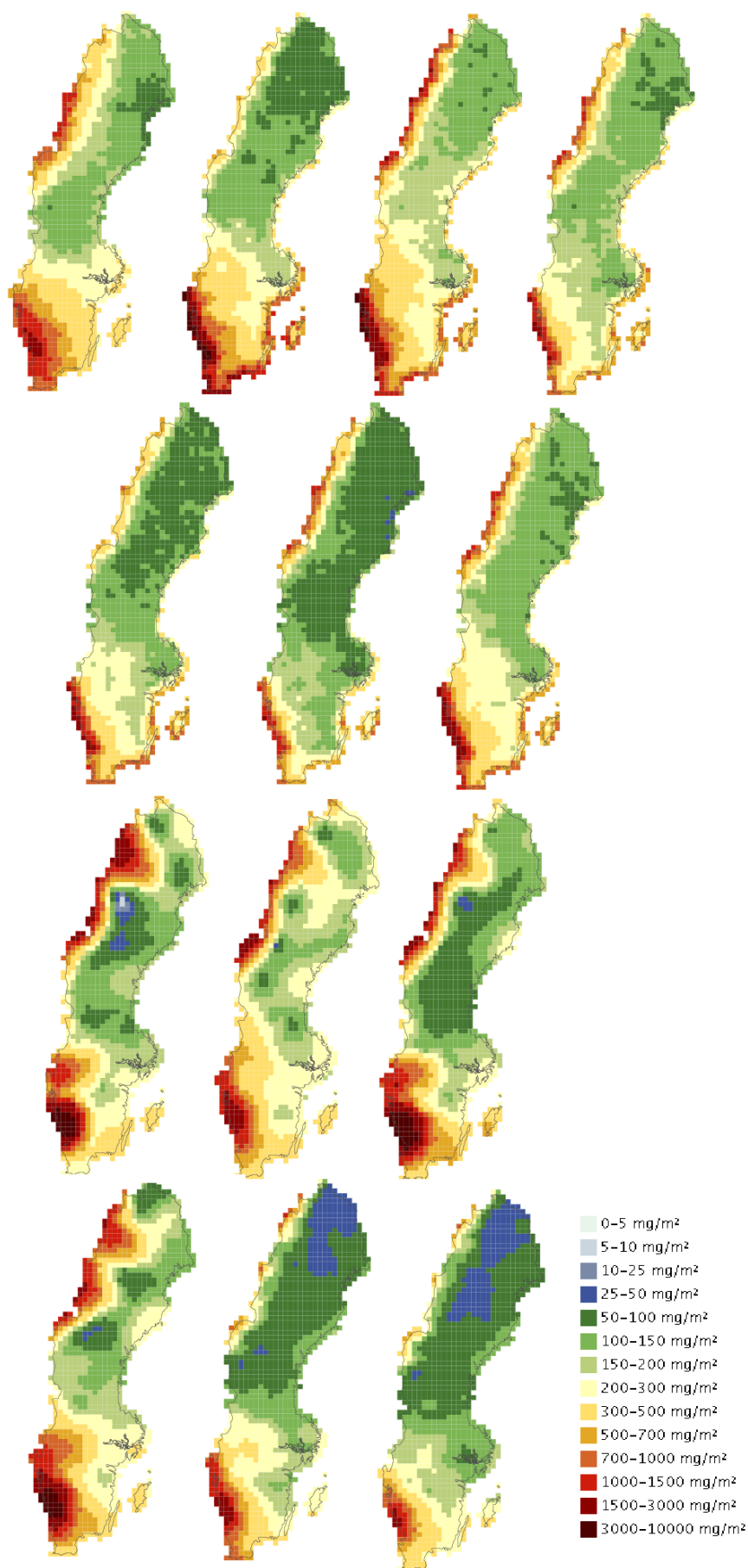
Figur 11 och Figur 12 nedan visar våtdeposition av baskatjonerna kalcium och kalium uppdelade på bidraget av respektive baskatjon från havssalt och den del som inte innehåller havssalt. En relativt liten del av baskatjonerna kommer från havssalt i de norra delarna av Sverige. Det största bidraget från havssalt finns på västkusten, vilket kan ses i figuren nedan. Som jämförelse visas kartor för våtdeposition av natrium i Figur 13. Där kan man tydligt se att de högsta halterna av havssalt finns längs västkusten. Det är väntat eftersom de västliga vindarna från havet tar med sig havssaltet in över land. Till exempel kan man se att det var höga halter av havssalt vid västkusten 2007, och det visar sig också i det förhöjda havssaltbidraget för kalcium, kalium och magnesium detta år. 2007 var ett blött år, speciellt vid västkusten, vilket orsakar relativt stora depositions mängder.



Figur 11. Tidsserier för våtdeposition av kalcium inom olika regioner av Sverige uppdelat på bidraget från havssalt och den del av kalcium som inte innehåller havssalt.



Figur 12. Tidsserier för våtdeposition av kalium inom olika regioner av Sverige uppdelat på bidraget från havssalt och den del av kalium som inte innehåller havssalt.



Figur 13. Våtdeposition av natrium (havssalt) för åren 1998 (högst upp till vänster) till 2010 (längst ner till höger).

6 Diskussion av felkällor

Metodiker där atmosfärskemiska mätdata kombineras med modeller på det sätt som görs i Sverige modellen förutsätter god kvalitet hos både uppmätta och modellerade värden. Dock är både mätvärden och modellerade värden behäftade med osäkerheter. Det är i stort sett omöjligt att uppnå det perfekta resultatet vare sig det gäller mätvärden eller modellerade värden, men intentionen borde alltid vara att sträva efter kvalitetshöjande åtgärder och utveckling med de verktyg man har, för att på så sätt komma så nära det perfekta resultatet som möjligt.

De indata som används i Sverige modellen är emissionsdata från SMED och EMEP, meteorologiska data samt atmosfärskemiska mätdata. Förutom osäkerheter i själva modellformuleringarna för de modeller som används är var och en av behäftade med fel och osäkerheter.

Dataassimilationen som görs inom Sverige modellen är mycket känslig för fel både i modellvärden och i uppmätta data. Det är därför av största vikt att kritiskt granska såväl modeller som all indata som används. Genom att jämföra modeller och mätdata kan dessa komplettera varandra och arbetet med att höja kvaliteten underlättas och effektiviseras.

I följande underavsnitt diskuteras de mest betydelsefulla osäkerheterna i framtagandet av resultaten från Sverige modellen.

6.1 Meteorologiska indata

Omfattande insamling av mätdata görs på SMHI med meteorologiska indata som bygger på ca 800 mätstationer, samt radar- och satellitinformation. Även ett omfattande korrigeringsarbete görs av uppmätta nederbördsmängder med hänsyn till vindförluster samt avdunstning från mätkärnen, samt med hänsyn till topografiska effekter, t.ex. större nederbörsmängder i lovartdelen av bergsområden än över slätter.

Då det gäller kartläggning av våtdeposition över Sverige är nederbördsdata av hög kvalitet av största vikt medan den beräknade torrdepositionens kvalitet främst är beroende av kvaliteten på kartläggningen av vindhastighet och turbulens nära marken. Trots de noggranna korrigeringar som görs i meteorologiska indata är det ändå viktigt att nämna de osäkerheter som fortfarande är behäftade med den geografiska kartläggningen av nederbördsmängder över Sverige. På sommaren är denna mer småskalig och bidrar därför till större osäkerheter än vintertid. Vidare har kartläggningen av såväl nederbördsmängder som dimma betydande osäkerheter i fjälltrakterna där topografin är komplex.

Kvaliteten på meteorologiska data är överlag av så god kvalitet att de kan anses försumbara jämfört med osäkerheten i övriga indata samt modeller.

6.2 Modeller

Sverige systemet, eller Sverige modellen, består i stora drag av tre olika modeller. Dessa är MATCH Europa, 2dvar analys samt MATCH Sverige. MATCH Europa och MATCH Sverige har samma modell som utgångspunkt men har ändå vissa fundamentala skillnader, vilket försvårar en jämförelse, även om kvaliteten kan anses jämförbar.

MATCH-Sverige systemet har vidareutvecklats mellan åren 2004 och 2005. Tidigare år användes inte MATCH Europa som bakgrundsfält utan man använde sig av en enklare variant av dataassimilation. Trendstudier bör därför göras med försiktighet. Även om kvaliteten på resultaten kan anses jämförbar så vore trender med en konsistent metodik önskvärd.

Då det gäller baskatjoner (exklusive havssalt) så finns i nuläget inget bakgrundsfält beräknat med MATCH Europa. Istället används den gamla metodiken, som finns beskriven i ref.(1). Det vore förstås önskvärt att utveckla modellerade bakgrundsfält även för baskatjoner, för att kunna använda det kraftfulla verktyget som används för övriga ämnen, i form av 2dvaranalys där ett modellerat bakgrundsfält kombineras med uppmätta värden.

Som nämndes i tidigare (avsnitt 4.4) så är torrdepositionsberäkningar fortfarande behäftade med vissa osäkerheter. Dessa osäkerheter diskuteras i rapporten från Klein et. al (2002), och har inte uppdaterats sedan dess. Det är önskvärt att titta närmare på de olika meteorologiska parametrar som

torrdepositionen bygger på. Våtdepositionen står för den största delen av den totala depositionen, så osäkerheten i torrdepositions beräkningar är av underordnad betydelse. Dock med ett ökat intresse för deposition av baskatjoner, både då det gäller torr- och våtdeposition borde de meteorologiska parametrar som påverkar torrdepositionen ses över.

6.3 Emissionsdata

Som nämndes tidigare så har emissionsdata från SMED ett års eftersläpning eftersom data inte levereras innan Sverige modellen körs. Dessa griddade emissionsdata är också behäftade med vissa osäkerheter, men då Sveriges bidrag är små i förhållande till den totala depositionen så är också dessa av underordnad betydelse. Då det gäller EMEPs emissionsdata så används de endast till bakgrundsfältet i form av det långtransporterade bidraget av den totala föroreningsbudgeten, vilket förväntas variera relativt lite geografiskt över Sverige. Därmed är även EMEPs emissioner av mindre betydelse än vad t.ex. väderdata är för det slutliga resultatet.

6.4 Atmosfärskemiska indata

Kvalitet på mätdata, tillsammans med bakgrundsfältet samt nederbördsdata, är av allra högsta betydelse för kvaliteten på det slutgiltiga resultatet. Kvaliteten på den analys som görs med den 2-dimensionella variationella analysen avgörs mestadels utifrån kvaliteten på dessa parametrar. Tidigare har detaljerade studier gjorts av kvaliteten på nederbördsuppsamlingen i olika nederbördskemiska stationsnät, se t.ex. Persson (2002, ref. 8), Persson och Magnusson (2003, ref. 11) och Hellsten et. al (2010, ref. 10).

Vid användandet av Sverige modellen behövs uppmätta mängder av koncentration i nederbörd då de nederbördsfält som utnyttjas kommer från SMHIs egna stationer, är objektivt analyserade, av god kvalitet och med relativt hög upplösning. För att erhålla uppmätta halter i nederbörd som är så korrekta som möjligt krävs emellertid att högkvalitativt uppmätta nederbördsmängder vid varje nederbördstillfälle. Det har visat sig i studier att atmosfären succesivt tvättas ur under ett kraftigt nederbördstillfälle. Detta gör att föroreningshalten är störst i början av ett nederbördstillfälle. Om uppsamlingseffekten varierar under nederbördstillfället så betyder detta att koncentrationen i nederbörd inte blir korrekt. Därmed blir inte heller den beräknade våtdepositionen korrekt. Det modellerade bakgrundsfältet som används i analysen kan inte korrigera för sådana systematiska mätfel. Uppsamlingseffekten hos de nederbördskemiska provtagarna är alltså avgörande för kvaliteten hos de uppmätta föroreningskoncentrationerna i nederbörd.

Det har visat sig att flera av EMEP stationerna har brister då det gäller uppsamlingseffektiviteten för nederbörd. Jämförelser mellan SMHIs nederbördsmängder och de nederbördsmängder som uppmätts vid de svenska EMEP stationerna visar en betydande underskattning i uppsamlingsförmåga hos EMEPs mätstationer. Misstanke finns att locken inte öppnas omedelbart när nederbörden börjar falla och därmed missa att fånga upp nederbörd när föroreningskoncentrationerna är relativt höga. Detta betyder att koncentrationerna av föroreningar i nederbörd systematiskt skulle underskattas. Avvikelsen för norska EMEP stationer har visat sig vara mindre.

7 Slutsatser

1. Halter i luft och deposition till mark, både som våt- och torrdeposition, finns nu tillgängliga för åren 1998-2011.
2. Olika metodik har använts genom åren, både vad gäller indata och modell. Detta gör att några detaljerade slutsatser gällande trender inte kan dras. För 1998-2004 års data användes optimal interpolation för beräkning av långtransportdelen, och fr.o.m. 2005 års data introducerades MATCH Europa fotokemi modell som bakgrundsfält vid dataassimileringen.
3. Väderförhållandena över Sverige och Europa påverkar föroreningsbelastningen på Sverige. Första kvartalet 2008 kan nämnas som exempel. Då rörde sig en rad lågtryck från Atlanten in över södra Sverige och kopplat till dessa lågtryck med åtföljande nederbördsområden transporterades förorenad luft söderifrån, främst i lägsta ca 1500 m av atmosfären, från

europiska kontinenten upp över landet och medförde stora föroreningsdepositioner. Stora nederbörds mängder ger på detta sätt ofta ökad föroreningsdeposition över Sverige.

4. En ordentlig återanalys där konsistent indata och metodik används vore intressant för att säkrare kunna genomföra trendanalyser.
5. De högsta värdena av svavel och kväve både vad gäller halter i luft och deposition till mark återfinns i södra och framför allt sydvästra Sverige.
6. De största våtdepositions värdena för baskatjoner återfinns i södra och sydvästra Sverige, och det största bidraget från havssalt till baskatjoner finns som väntat i sydvästra Sverige där de västliga vindarna tar med sig havssalt från havet.

8 Referenser

- 1) Persson, C., Ressner, E. och Klein, T., 2004. "Nationell miljöövervakning- MATCH-Sverige modellen". SMHI Meteorologi rapport nr 113.
- 2) Persson, C., Langner, J. och Robertson, L., 1995. "Regional spridningsmodell för Sverige. Regional luftmiljöanalys för år 1991". Naturvårdsverket Rapport 4386.
- 3) Lövblad, G., Persson, C., Klein, T., Ruoho-Airola, T., Hovmand, M., Tarrason, L., Törseth, K., Moldan, F., Larssen, T. och Rapp, L. 2004. "The deposition of base cations in the Nordic countries". Technical Report B 1583, IVL, Stockholm.
- 4) Robertsson, L., Langner, J. och Engardt, M., 1999. "An Eulerian limited-area atmospheric transport model". J. Appl. Meteor., 38, 190-120.
- 5) Chamberlain, A. C. och Chadwick, R. C., 1965. "Transport of iodine from atmosphere to ground". Tellus, 18, 226-237.
- 6) Klein, T., Bergström, R., och Persson, C., 2002. "Parametrization of dry deposition in MATCH". SMHI Rapport Meteorologi nr 100.
- 7) Persson, C., Jansson A. och Andersson, C., 2009. "MESAN-data för Miljöövervakningen. Förstudie". SMHI Rapport nr 31.
- 8) Persson, C., 2002. "Kvaliteten hos nederbörds kemiska mätdata som dataassimileras i MATCH-Sverige modellen". SMHI Rapport Meteorologi nr 105.
- 9) Persson, C., Ferm, M. och Westling, O., 2004. "Förbättrad mätning och beräkning av belastningen av försurande och övergödande luftföroreningar". SMHI Rapport nr 2004-62.
- 10) Hellsten, S., Persson, C., Phil Karlsson, G., Akselsson, C., Karlsson, P. E. och Södergren, H. 2010. "Förbättrad modellering och mätning av belastning från luftföroreningar". IVL Publikation B 1951.
- 11) Persson, C. och Magnusson, M., 2003. "Kvaliteten i uppmätta nederbörds mängder inom Svenska nederbörds kemiska stationsnätet". SMHI Rapport Meteorologi nr 108.
- 12) Foltescu, V. L., Pryor, S. C., and Bennet, C., 2005 "Seasalt generation, dispersion and removal on the regional scale". Atmos. Environ. 39, 2123-2133.

8.1 Figurer och tabeller

Tabell 1. Emissionsdata för svaveldioxid för åren 2005-2010.

Tabell 2. Emissionsdata för kvävedioxid för åren 2005-2010.

Tabell 3. Emissionsdata för ammoniumkväve för åren 2005-2010.

Tabell 4. Atmosfärskemiska mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för luft.

Tabell 5. Atmosfärskemiska mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för nederbörd.

Figur 1. De atmosfärskemiska mätstationer som använts i Sverige modellen.

Figur 2. Halter i luft för kvävedioxid (som kväve), åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Totala halter (Sveriges halter plus halter från övriga Europa) visas i översta raden och endast Sveriges bidrag i nedersta.

Figur 3. Halter i luft för reducerat kväve, åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Totala halter (Sveriges halter plus halter från övriga Europa) visas i översta raden och endast Sveriges bidrag i nedersta.

Figur 4. Halter i luft för svaveldioxid (som svavel), åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger). Totala halter (Sveriges halter plus halter från övriga Europa) visas i översta raden och endast Sveriges bidrag i nedersta.

Figur 5. Kartor över deposition av oxiderat kväve för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger) avseende totaldeposition (övre raden) respektive Sveriges bidrag (nedre raden).

Figur 6. Tidsserier för totaldeposition av oxiderat kväve för olika regioner av Sverige uppdelat på våt- och torrdeposition för åren 1998-2011.

Figur 7. Kartor över deposition av reducerat kväve för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger) avseende totaldeposition (övre raden) respektive Sveriges bidrag (nedre raden). Figur 8. Tidsserier för totaldeposition av reducerat kväve inom olika regioner av Sverige uppdelat på våt- och torrdeposition för åren 1998-2011.

Figur 9. Deposition av svavel (exklusive havssaltdelen) för åren 1998 (vänster), 2004 (mitten) och 2010 (höger) avseende totaldeposition (övre raden) respektive Sveriges bidrag (nedre raden). Figur 10. Tidsserier för totaldeposition av svavel inom olika regioner av Sverige uppdelat på bidraget från havssalt (rött) och den del av svavel som inte innehåller havssalt (blått).

Figur 11. Tidsserier för våtdeposition av kalcium inom olika regioner av Sverige uppdelat på bidraget från havssalt och den del av kalcium som inte innehåller havssalt.

Figur 12. Tidsserier för våtdeposition av kalium inom olika regioner av Sverige uppdelat på bidraget från havssalt och den del av kalium som inte innehåller havssalt.

Figur 13. Våtdeposition av natrium (havssalt) för åren 1998 (högst upp till vänster) till 2010 (längst ner till höger).

9 Bilagor

9.1 Published material related to the MATCH modeling system

Within different categories: newest publication first; within each year: sorted alphabetically after author.

Last updated: 2012-08-24 (Magnuz Engardt)

Peer reviewed articles:

2012

Gidhagen, L., Engardt, M., Lövenheim, B. and Johansson, C. 2012. Modeling effects of climate change on air quality and population exposure in urban planning scenarios. *Advances in Meteorology*. In press.

Langner, J., Engardt, M. and Andersson, C. 2012. European summer surface ozone 1990–2100. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **12**, 7705–7726. doi:10.5194/acpd-12-7705-2012

Langner, J., Engardt, M., Baklanov, A., Christensen, J. H., Gauss, M., Geels, C., Hedegaard, G. B., Nuterman, R., Simpson, D., Soares, J., Sofiev, M., Wind, P. and Zakey, A. 2012. A multi-model study of impacts of climate change on surface ozone in Europe. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **12**, 4901–4939. doi:10.5194/acpd-12-4901-2012

Kukkonen, J. *et al.* 2012. A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, **12**, 1–87. doi:10.5194/acp-12-1-2012

2011

Omstedt, G., Andersson, S., Gidhagen, L. and Robertson, L. 2011. Evaluation of new model tools for meeting the targets of the EU Air Quality Directive: a case study on the studded tyre use in Sweden. *Int. J. Environ. Pollution*, **47**, 79–96. DOI: 10.1504/11.47328

Kahnert M. and Devasthale A. 2011. Black carbon fractal morphology and short-wave radiative impact: a modelling study. *Atmos. Chem. Phys.* **11**, 11745–11759. doi: 10.5194/acp-11-11745-2011

Klingberg J., Engardt M., Uddling J., Karlsson P.E. and Pleijel H. 2011. Ozone risk for vegetation in the future climate of Europe based on stomatal ozone uptake calculations. *Tellus* **63A**, 174–187. DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00465.x

2010

Andersson, C. and Engardt, M. 2010. European ozone in a future climate: Importance of changes in dry deposition and isoprene emissions. *J. Geophys. Res.*, **115**, D02303. doi:10.1029/2008JD011690

Huijnen, V. *et al.* 2010. Comparison of OMI NO₂ tropospheric columns with an ensemble of global and European regional air quality models *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 3273–3296. doi:10.5194/acp-10-3273-2010

Kahnert, M. 2010. Modelling the optical and radiative properties of freshly emitted light absorbing carbon within an atmospheric chemical transport model, *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 1403–1416. doi:10.5194/acp-10-1403-2010

Kahnert, M. 2010. Numerically exact computation of the optical properties of light absorbing carbon aggregates for wavelength of 200 nm–12.2µm. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 8319–8329. doi:10.5194/acp-10-8319-2010

2009

- Andersson, C., Bergström, R. and Johansson, C. 2009. Population exposure and mortality due to regional background PM in Europe – Long-term simulations of source region and shipping contributions. *Atmos. Environ.* **43**, 3614-3620. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.03.040
- Emberson, L.D., Büker, P., Ashmore, M.R., Mills, G., Jackson, L.S., Agrawal, M., Atikuzzaman, M.D., Cinderby, S., Engardt, M., Jamir, C., Kobayashi, K., Oanh, N.T.K., Quadir, Q.F. and Wahid, A. 2009. A comparison of North American and Asian exposure–response data for ozone effects on crop yields. *Atmos. Environ.* **43**, 1945-1953. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.01.005
- Engardt, M., Bergström, R. and Andersson, C. 2009. Climate and emission changes contributing to changes in near-surface ozone in Europe over the coming decades: Results from model studies. *Ambio* **38**, 452–458. DOI: 10.1579/0044-7447-38.8.452
- Gidhagen, L., Johansson, H. and Omstedt, G. 2009. SIMAIR - Evaluation tool for meeting the EU directive on air pollution limits. *Atmos. Environ.* **43**, 1029–1036. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.01.056
- Kahnert, M. 2009. On the observability of chemical and physical aerosol properties by optical observations: Inverse modelling with variational data assimilation. *Tellus* **61B**, 747-755. DOI: 10.1111/j.1600-0889.2009.00436.x
- Langner, J., Andersson, C. and Engardt, M. 2009. Atmospheric input of nitrogen to the Baltic Sea basin: present situation, variability due to meteorology and impact of climate change. *Boreal Environ. Res.* **14**, 226-237.
- Vautard, R. et al. 2009. Skill and uncertainty of a regional air quality model ensemble. *Atmos Environ.* **43**, 4822-4832. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.083

2008

- Bennet, C. and Engardt, M. 2008. A regional model for surface ozone in Southeast Asia. *Tellus* **60B**, 718-728. DOI: 10.1111/j.1600-0889.2008.00378.x
- Carmichael, G.R., Sakurai, T., Streets, D., Hozumi, Y., Ueda, H., Park, S.U., Fung, C., Han, Z., Kajino, M., Engardt, M., Bennet, C., Hayami, H., Sartelet, K., Holloway, T., Wang, Z., Kannari, A., Fu, J., Matsuda, K., Thongboonchoo, N. and Amann M. 2008. MICS-Asia II: The model intercomparison study for Asia Phase II methodology and overview of findings. *Atmos. Environ.* **42**, 3468-3490. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.04.007
- Engardt, M. 2008. Modelling of near-surface ozone over South Asia. *J. Atmos. Chem.* **59**, 61-80. DOI:10.1007/s10874-008-9096-z.
- Han, Z., Sakurai, T., Ueda, H., Carmichael, G.R., Streets, D., Hayami, H., Wang, Z., Holloway, T., Engardt, M., Hozumi, Y., Park, S.U., Kajino, M., Sartelet, K., Fung, C., Bennet, C., Thongboonchoo, N., Tang, Y., Chang, A., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model Intercomparison and evaluation of ozone and relevant species. *Atmos. Environ.* **42**, 3491-3509. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.07.031
- Hayami, H., Sakurai, T., Han, Z., Ueda, H., Carmichael, G.R., Streets, D., Holloway, T., Wang, Z., Thongboonchoo, N., Engardt, M., Bennet, C., Fung, C., Chang, A., Park, S.U., Kajino, M., Sartelet, K., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model intercomparison and evaluation of particulate sulfate, nitrate and ammonium. *Atmos. Environ.* **42**, 3510-3527. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.08.057
- Hole, L. and Engardt, M. 2008. Climate change impact on atmospheric nitrogen deposition in Northwestern Europe: A model study. *Ambio* **37**, 9-17.
- Holloway, T., Sakurai, T., Han, Z., Ehlers, S., Spak, S.N., Horowitz, L.W., Carmichael, G.R., Streets, D.G., Hozumi, Y., Ueda, H., Park, S.U., Fung, C., Kajino, M., Thongboonchoo, N., Engardt, M., Bennet, C., Hayami, H., Sartelet, K., Wang, Z., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Impact of global emissions on regional Air Quality in Asia. *Atmos. Environ.* **42**, 3543-3561. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.022
- Kahnert, M. 2008. Variational data analysis of aerosol species in a regional CTM: Background error covariance constraint and aerosol optical observation operators. *Tellus* **60B**, 753–770.

Wang, Z., Xie, F., Sakurai, T., Ueda, H., Han, Z., Carmichael, G.R., Streets, D., Engardt, M., Holloway, T., Hayami, H., Kajino, M., Thongboonchoo, N., Bennet, C., Park, S.U., Fung, C., Chang, A., Sartelet, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model inter-comparison and evaluation of acid deposition. *Atmos. Environ.* **42**, 3528-3542. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.12.071

2007

- Andersson, C. and Langner, J. 2007. Inter-annual variations of ozone and nitrogen dioxide over Europe during 1958–2003 simulated with a regional CTM. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* **7**, 15-23. doi:10.1007/s11267-006-9088-4.
- Andersson, C., Langner, J. and Bergström, R. 2007. Interannual variation and trends in air pollution over Europe due to climate variability during 1958-2001 simulated with a regional CTM coupled to the ERA40 reanalysis. *Tellus* **59B**, 77-98. doi: 10.1111/j.1600-0889.2006.00196.x
- Saipunkaew, W., Wolseley, P.A., Chimonides, P.J. and Boonpragob K. 2007. Epiphytic macrolichens as indicators of environmental alteration in northern Thailand. *Environmental Pollution* **146**, 366-374.
- van Loon, M., Vautard, R., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J., Cuvelier, K., Jonson, J.E., Krol, M., Langner, J., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrasón, L., Thunis, P., Vignati, E., White, L. and Wind, P. 2007. Evaluation of long-term ozone simulations from seven regional air quality models and their ensemble. *Atmos. Environ.* **41**, 2083-2097.

2006

- Huneus, N., Gallardo, L. and Rutllant, J.A. 2006. Offshore transport episodes of anthropogenic sulfur in northern Chile: Potential impact on the stratocumulus cloud deck. *Geophys. Res. Lett.* **33**, L19819, 10.1029/2006GL026921.
- Vautard, R., van Loon, M., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J., Cuvelier, K., Jonson, J.E., Krol, M., Langner, J., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrasón, L., Thunis, P., Vignati, E., White, L. and Wind, P. 2006. Is regional air quality model diversity representative of uncertainty for ozone simulation? *Geophys. Res. Lett.* **33**, L24818, doi:10.1029/2006GL027610.

2005

- Engardt, M., Siniarovina, U., Khairul, N.I. and Leong, C.P. 2005. Country to country transport of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. *Atmos. Environ.* **39**, 5137–5148.
- Foltescu, V.L., Pryor, S.C. and Bennet C. 2005. Sea salt generation, dispersion and removal on the regional scale *Atmos. Environ.* **39**, 2123–2133.
- Gidhagen, L., Johansson, C., Langner J. and, Foltescu, V.L. 2005. Urban scale modeling of particle number concentration in Stockholm. *Atmos. Environ.* **39**, 1711–1725.
- Hedberg, E., Gidhagen, L. and Johansson, C. 2005. Source contributions to PM10 and arsenic concentrations in Central Chile using positive matrix factorization. *Atmos. Environ.* **39**, 549–561.
- Kulshrestha, U.C., Granat, L., Engardt, M. and Rodhe, H. 2005. Review of precipitation monitoring studies in India—a search for regional patterns. *Atmos. Environ.* **39**, 7403-7419.
- Langner, J., Bergström, R. and Foltescu, V. 2005. Impact of climate change on surface ozone and deposition of sulphur and nitrogen in Europe. *Atmos. Environ.* **39**, 1129-1141.
- Siniarovina, U. and Engardt, M. 2005. High resolution model simulations of anthropogenic sulphate and sulphur dioxide in Southeast Asia. *Atmos. Environ.* **39**, 2021-2034.
- Solberg, S., Bergström, R., Langner, J., Laurila, T. and Lindskog, A. 2005. Changes in Nordic surface ozone episodes due to European emission reductions in the 1990s. *Atmos. Environ.* **39**, 179-192.
- Solberg, S., Derwent, R.G., Hov, Ø., Langner, J. and Lindskog, A. 2005. European abatement of surface ozone in a global perspective. *Ambio* **34**, 47-53.
- Warner, S., Platt, N. and Heagy, J.F. 2005. Comparisons of transport and dispersion model predictions of the european tracer experiment: area- and population-based user-oriented measures of effectiveness. *Atmos. Environ.* **39**, 4425–4437.

2004

- Politis, K and Robertson, L. 2004. Bayesian updating of atmospheric dispersion after a nuclear accident. *Appl. Statist.* **53**, 583-600.
- Warner, S., Platt, N. and Heagy, J.F. 2004. Application of user-oriented measure of effectiveness to transport and dispersion model predictions of the European tracer experiment. *Atmos. Environ.* **38**, 6789–6801.

2003

- Eneroth, K., Kjellström, E. and Holmén, H. 2003. A trajectory climatology for Svalbard; investigating how atmospheric flow patterns influence observed tracers concentrations. *Physics and Chemistry of the Earth* **28**, 1191-1203.
- Eneroth, K., Kjellström, E. and Holmén, H. 2003. Interannual and seasonal variations in transport to a measuring site in western Siberia and their impact on the observed atmospheric CO₂ mixing ratio. *J. Geophys. Res.* **108 (D21)**, 4660, doi:10.1029/2002JD002730.

2002

- Carmichael, G.R., Calori, G., Hayami, H., Uno, I., Cho, S.Y., Engardt, M., Kim, S.-B., Ichikawa, Y., Ikeda, Y., Woo, J.-H., Ueda, H. and Amann, M. 2002. The MICS-Asia study: model intercomparison of long-range transport and sulfur deposition in East Asia. *Atmos. Environ.* **36**, 175-199.
- Gallardo, L., Olivares, G., Langner, J. and Aarhus, B., 2002. Coastal lows and sulfur air pollution in Central Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 3829-3841.
- Gidhagen, L., Kahelin, H., Schmidt-Thomé, P. and Johansson, C., 2002. Anthropogenic and natural levels of arsenic in PM₁₀ in Central and Northern Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 8303-3817.
- Kjellström, E., Holmén, K., Eneroth, K. and Engardt, M., 2002, Summertime Siberian CO₂ simulations with the regional transport model MATCH: A feasibility study of carbon uptake calculations from EUROSIB data. *Tellus* **54B**, 834-849.
- Lövblad, G., Persson, C., Staaf, H. and Wilander, A. 2002. Nationella dataunderlag för karteringarna. In: *Kritisk belastning för svavel och kväve*. (Eds: U. Bertills and G. Lövblad). Naturvårdsverket **Rapport 5174**, pp. 28-38. (In Swedish).
- Olivares, G., Gallardo, L., Langner, J. and Aarhus, B., 2002. Regional dispersion of oxidized sulfur in Central Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 3819-3828.
- Tilmes, S., Brandt, J., Flatøy, F., Bergström, R., Flemming, J., Langner, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Hov, Ø., Jacobsen, I., Reimer, E., Stern, R. and Zimmermann, J. 2002. Comparison of five Eulerian air pollution forecasting systems for the summer of 1999 using the German Ozone monitoring data. *J. Atmos. Chem.* **42**, 91-121.

2001

- Brandefelt, J. and Holmén, K. 2001. Anthropogenic and biogenic winter sources of Arctic CO₂ – a model study. *Tellus* **53B**, 10-21.
- Carmichael, G.R., Hayami, H., Calori, G., Uno, I., Cho, S.Y., Engardt, M., Kim, S.-B., Ichikawa, Y., Ikeda, Y., Ueda, H. and Amann, M. 2001. Model intercomparison study of long range transport and sulfur deposition in East Asia (MICS-Asia). *Water, Air, and Soil Pollution* **130**, 51-62.
- Engardt, M. 2001. Sulphur simulations for East Asia using the MATCH model with meteorological data from ECMWF. *Water, Air, and Soil Pollution* **130**, 289-294.
- Engardt, M. and Leong, C.P. 2001. Regional modelling of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. *Atmos. Environ.* **35**, 5935-5947.
- Kuylensstierna, J.C.I., Hicks, W.K., Cinderby, S., Vallack, H.W. and Engardt, M. 2001. Variability in mapping acidification risk scenarios for terrestrial ecosystems in Asian countries. *Water, Air, and Soil Pollution* **130**, 1175-1180.

2000

Zunckel, M., Robertson, L., Tyson, P.D. and Rodhe, H. 2000. Modelled transport and deposition of sulphur over Southern Africa. *Atmos. Environ.* **34**, 2797-2808.

1999

Engardt, M. and Holmén, K. 1999. Model simulations of anthropogenic-CO₂ transport to an Arctic monitoring station during winter. *Tellus* **51B**, 194-209.

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

1998

Langner, J., Robertson, L., Persson, C. and Ullerstig, A. 1998. Validation of the operational emergency response model at the Swedish meteorological and hydrological institute using data from ETEX and the Chernobyl accident. *Atmos. Environ.* **32**, 4325-4333.

Robertson, L. and Langner, J. 1998. Source function estimate by means of variational data assimilation applied to the ETEX-1 tracer experiment. *Atmos. Environ.* **32**, 4219-4225.

1996

Engardt, M. and Holmén, K. 1996. Towards deducing regional sources and sinks from atmospheric CO₂ measurements at Spitsbergen. *Physics and Chemistry of the Earth* **21**, 523-528.

1995

Langner, J., Persson, C. and Robertson, L. 1995. Concentration and deposition of acidifying air pollutants over Sweden: Estimates for 1991 based on the MATCH model and observations. *Water Air and Soil Pollution* **85**, 2021-2026.

Robertson, L., Rodhe H. and Granat, L. 1995. Modelling of sulfur deposition in the southern Asian region. *Water, Air and Soil Pollution* **85**, 2337-2343.

1993

Robertson, L. and Persson, C. 1993. Attempts to apply four dimensional data assimilation of radiological data using the adjoint technique. *Radiation Protection Dosimetry* **50**, 333 - 337.

1987

Persson, C., Rodhe, H and De Geer, L.-E. 1987. The Chernobyl accident – A meteorological analysis of how radionuclides reached and were deposited in Sweden. *Ambio* **16**, 20-31.

Book chapters:

2011

Robertson, L. and Foltescu, V. 2011. A note on using the non-hydrostatic model AROME as a driver for the MATCH model. In: *Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models*. (Eds: A. Baklanov, A. Maura and R.S. Sokhi). pp. 155-157. Springer. ISBN 978-3-642-13979-6. DOI 10.1007/978-3-642-13980-2

2010

Emberson, L.D., Büker, P., Engardt, M., van Tienhoven, A.M., Agrawal, M., Zunckel, M., Hicks, K., Pleijel, H., Oanh, N.T.K., Amgain, L.P., Islam, T., Shamsi, S.R.A., Perera, G.A.D., Krüger, G.H.J. and Smit, P.R. 2010. Assessing ground-level ozone (O₃) impacts to crops in parts of Asia and southern Africa: The Regional Air Pollution in Developing Countries (RAPIDC) Crops Project. In: *Air Pollution. Health and environmental impacts*. (Eds: B.R. Gurjar, L.T. Molina and C.S.P. Ojha). pp. 421-446. CRC Press. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4398-0962-4.

2009

Andersson, C., Engardt, M. and Klingberg, J. 2009. Climate change modifies air quality. In: *Air pollution & Climate change. Two sides of the same coin?* (Ed: H. Pleijel). pp. 79-87. Swedish Environmental Protection Agency. ISBN 978-91-620-1278-6

van Pul, A., Hertel, O., Geels, C., Dore, A.J., Vieno, M., van Jaarsveld, H.A., Bergström, R., Schaap, M. and Fagerli, H. 2009. Modelling of the atmospheric transport and deposition of ammonia at a national and regional scale. In: *Atmospheric Ammonia. Detecting emission changes and environmental impacts*. (Eds: M.A. Sutton, S. Reis, S.M.H. Baker). pp. 301-358. Springer Science + Business Media B.V.

2007

Bergström, S. 2007. Images as tools in SMHI's research on climate, weather and the environment. In: *Images in Arts and Sciences*. (Eds: L. Johannesson, U. Eliasson, P. Hallberg, B. Karlsson) pp. 61-73. Royal Soc. of Arts and Sciences in Göteborg, ISBN/ISSN: 978-91-85252-68-8.

2003

Emberson, L., Kuylenstierna, J. and Ashmore, M. 2003. Assessing the extent of air pollution impacts in developing country regions. In: *Air Pollution Impacts on crops and forests. A global assessment*. (Eds: L. Emberson, M. Ashmore and F. Murray) pp. 309-335. Imperial College Press, London.

Technical reports:

2011

- Andersson, C., Andersson, S., Langner, J. and Segersson, D. 2011. *Halter och deposition av luftföroreningar. Förändring över Sverige från 2010 till 2020 i bidrag från Sverige, Europa och internationell sjöfart*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 147**, 32 pp. (In Swedish).
- Klein, T., Karlsson, P.E., Andersson, S., Engardt, M. and Sjöberg, K. 2011. *Assessing and improving the Swedish forecast and information capabilities for ground-level ozone*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 114**, 95 pp.

2010

- Engardt, M., Andersson, C. and Bergström, R. 2010. *Modellering av marknära ozon. Regionala och högupplösta tillämpningar av MATCH*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 145**, 27 pp. (In Swedish).
- Omstedt, G., Andersson, S., Bennet, C., Bergström, R., Gidhagen, L., Johansson, C. and Persson, K. 2010. *Kartläggning av partiklar i Sverige –halter, källbidrag och kunskapsluckor*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 144**, 102 pp. (In Swedish).
- Omstedt, G., Andersson, S. and Bergström, R. 2010. *Dagens och framtidens luftkvalitet i Sverige. Haltberäkningar av NO₂, PM₁₀ och PM_{2.5} i svenska trafikmiljöer för framtidsscenarier med minskade europeiska emissioner*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 140**, 56 pp. (In Swedish).

2009

...

2008

- Andersson, S., Bergström, R., Omstedt, G. and Engardt, M. 2008. *Dagens och framtidens partikelhalter i Sverige. Utredning av exponeringsminskningsmål för PM_{2.5} enligt nytt luftdirektiv*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 133**, 35 pp. (In Swedish).
- Bergström, R. 2008. *TESS - Traffic Emissions, Socioeconomic valuation and Socioeconomic measures Part 2: Exposure of the European population to atmospheric particles (PM) caused by emissions in Stockholm*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 132**, 35 pp.
- JRC 2008. *EURODELTA II. Evaluation of a sectoral approach to integrated assessment modelling including the Mediterranean Sea*. (Eds: P. Thunis and C. Cuvelier). JRC Scientific and Technical Reports, **EUR 23444 EN**. DOI 10.2788/87066.

2007

- Engardt, M. and Foltescu, V. 2007. *Luftföroreningar i Europa under framtida klimat*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr. 125**, 62 pp. (In Swedish).
- Marmefelt, E., Sahlberg, J. and Bergstrand, M. 2007. *HOME Vatten i södra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Oceanografi Nr. 87**, 77 pp. (In Swedish).

2006

- Nettelbladt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A. and Hellsten, S. 2006. *Luftföroreningar i skogliga provytor – Resultat till och med september 2005*. **IVL Rapport B 1682**. 50 pp. (In Swedish).
- Persson, C. and Kahnert, M. 2006. *Återanalys av föroreningsdepositionen till Sverige 2002-2004*. **SMHI Rapport 2006 Nr. 8**, 8 pp. (In Swedish).

2005

- Derwent, R.G., Grennfelt, P., Hov, Ø., Langner, J., Lindskog, A. and Solberg, S. 2005. *The development of European surface ozone. Implications for a revised abatement policy. A contribution from the EU research project NEPAP*. EMEP/CCC-Report 1/2005.
- Langner, J., Bergström, R., Nerhagen, L. and Forsberg, B. 2005. *Final report: Economic valuation of environmental effects of NO_x-emissions from air traffic at different altitudes*. SMHI Dnr 2004/2071/1934.
- Marmefelt, E. and Olsson, H. 2005. *Integrerat kustzonssystem för Hallandskusten*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Oceanografi Nr. 80**. 42pp. (In Swedish).
- Tarrasón, L., Benedictow, A., Fagerli, H., Jonson, J.E., Klein, H., van Loon, M., Simpson, D., Tsyro, S., Vestreng, V., Wind, P., Forster, C., Stohl, A., Amann, M., Cofala, J., Langner, J., Andersson, A. and Bergström, R. 2005. *Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2003*. **EMEP Report 1/2005**, Norwegian Meteorological Institute.

2004

- Langner, J., Bergström, R., Klein, T. and Skagerström, M. 2004. *Nuläge och scenarier för inverkan på marknära ozon av emissioner från västra Götalands län. Beräkningar för 1999*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr. 117** (Länsstyrelsen Västra Götalands län. **Rapport 2004:55**), 47 pp. (In Swedish).
- Laurila, T., Jonson, J.E., Langner, J., Sundet, J., Tuovinen, J.-P., Bergström, R., Foltescu, V., Tarvainen, V. and Isaksen, I.S.A. 2004. *Ozone exposure scenarios in the Nordic countries during the 21st century*. **EMEP/MSC-W Technical Report 2/2004**. Norwegian Meteorological Institute, Oslo. 41 pp.
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Hallands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1618**. 26 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Blekinge län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1621**. 21 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Jönköpings län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1622**. 21 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Östergötlands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1623**. 22 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Södermanlands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1624**. 22 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Västra Götalands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1625**. 31 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Örebro län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1626**. 18 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Stockholms län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1627**. 36 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i norra Sverige. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1628**. 41 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Dalarna och Gävleborgs län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1629**. 12 pp. (In Swedish).
- Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Skåne. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1631**. 31 pp. (In Swedish).

- van Loon, M., Roemer, M.G.M., Builtjes, P.J.H., Bessagnet, B., Rouil, L., Christensen, J., Brandt, J., Fagerli, H., Tarrason, L., Rodgers, I., Teasdale, I., Stern, R., Bergström, R., Langner, J. and Foltescu, V. 2004. *MODEL INTER-COMPARISON In the framework of the review of the Unified EMEP model*. **TNO-report R2004/282**, 53 pp. Available at www.mep.tno.nl.
- Lövblad, G., Persson, C., Klein, T., Ruoho-Airola, T., Hovmand, M., Tarrason, L., Tørseth, K., Moldan, F., Larssen, T. and Rapp, L. 2004. *The deposition of base cations in the Nordic countries*. **IVL report B1583**. 36 pp.
- Persson, C., Ressner, E. and Klein, T. 2004. *Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverige modellen. Metod- och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål*. **SMHI Meteorologi Nr. 113**, 32 pp. (In Swedish).
- Robertson, L. 2004. *Extended back-trajectories by means of adjoint equations*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 105**, 37 pp.

2003

- Hass, H., van Loon, M., Kessler, C., Stern, R., Matthijsen, J., Sauter, F., Zlatev, Z., Langner, J., Foltescu, V. and Schaap, M. 2003. *Aerosol modelling: Results and intercomparison from European regional-scale modelling systems*. A contribution to the EUROTRAC-2 subproject GLOREAM. International Scientific Secretariat (ISS), GSF – National Research Center for Environment and Health, Munich, Germany.
(Available at www.trumf.fu-berlin.de/veranstaltungen/events/gloream/GLOREAM_PMmodel-comparison.pdf or www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/GLOREAM_PMmodel-comparison.pdf)
- Iverfeldt, Å., Sjöberg, K., Engardt, M., Garivait, H., Robertson, L., Andersson, I., Peterson, K. and Ferm, M. 2003. *Study of Possible Acidification in Thailand. Technical Report*. IVL Swedish Environmental Research Institute, **U 857**.
- Näs, A., Moldanová, J., Lindskog, A., Bergström, R. and Langner, J. 2003. *Identification and management of critical environmental impacts from air transportation over north Europe*. Final Report, **LIFE Project Number LIFE99 ENV/S/000631**. 122 pp. (Available at www.eiatne.se/internt/FOI-S--1041--SE-EIATNE.pdf)
- Roemer, M., Beekmann, M., Bergström, R., Boersen, G., Feldmann, H., Flatøy, F., Honore, C., Langner, J., Jonson, J.E., Matthijsen, J., Memmesheimer, M., Simpson, D., Smeets, P., Solberg, S., Stern, R., Stevenson, D., Zandveld P. and Zlatev, Z. 2003. *Ozone trends according to ten dispersion models*. EUROTRAC-2 Special Report, ISS Munich.
- Uggla, E., Hallgren Larsson, E., Knulst, J. and Westling, O. 2003. *Jämförelse mellan uppmätt och modellberäknad deposition av svavel och kväve i Sverige* **IVL Rapport/report B 1530**, 40 pp. (In Swedish).

2002

- Engardt, M., Omstedt, G., Langner, J. och Häggkvist, K. 2002. *Spridningsberäkningar för Östergötlands län. Analys av 1998 års data*. **SMHI Rapport 2002 Nr. 51**, 45 pp. (In Swedish).
- Johansson, C. 2002. *Nedfall av kväve och svavel. Beräkningar för 1998. Länsstyrelsen i Stockholms län*. **Rapport 2002:9**. 55 pp. (In Swedish).
- Klein, T., Bergström, R. and Persson, C. 2002. *Parameterization of dry deposition in MATCH*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 100**, 45 pp.
- Persson, C. 2002. *Kvaliteten hos nederbördskemiska mätdata som dataassimileras i MATCH-Sverige modellen. Rapport till Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning, delprogram Luft*. **SMHI Meteorologi Nr. 105**, 17 pp. (In Swedish).
- Solberg, S., Bergström, R., Langner, J., Laurila, T., Sjöberg, K. and Lindskog, K. 2002. *Changes in ozone episodes due to emission reductions. A Nordic study*. EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants, **EMEP/CCC-Report 10/2002**, 72 pp. (Available at www.emep.int/emep2002_publications.html.)

2001

- Engardt, M., Langner, J. och Häggkvist, K. *Effekt på luftkvalitet och deposition av försurande ämnen i Skåne vid ersättning motsvarande en av reaktorerna vid Barsebäcks kärnkraftverk med dansk fossilbaserad kraftproduktion*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Rapport 2001 Nr. 24**, 17 pp. (in Swedish).
- Foltescu, V.L. and Persson, C. 2001. *Beräkning av moln- och dimdepositionen i Sverigemodellen. Resultat för 1997 och 1998*. **SMHI Meteorologi Nr. 98**, 36 pp. (In Swedish, with English abstract).
- Kindbom, K., Svensson, A., Sjöberg, K. and Persson, C. 2001. *Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi 1997, 1998 och 1999*. **SMHI Meteorologi Nr. 96 (IVL Rapport B 1420)**, 96 pp. (In Swedish).
- Zlatev, Z., Bergström, R., Brandt, J., Hongisto, M., Jonson, J. E., Langner, J. and Sofiev, M. 2001. *Studying sensitivity of air pollution levels caused by variations of different key parameters*. TemaNord 2001:569, Nordic Council of Ministers, 47 pp.

2000

- Engardt, M. 2000. *Sulphur simulations for East Asia using the MATCH model with meteorological data from ECMWF*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 88**, 33 pp.
- Gallardo, L., Olivares, G., Aguayo, A., Langner, J., Aarhus, B., Engardt, M. and Gidhagen, L. 2000. *Strengthening of the Air Quality Information System. Working area 2: Application of a regional-scale model over the central part of Chile. Regional dispersion of oxidized sulfur over Central Chile using the HIRLAM-MATCH system*. Final report (in English and Spanish) and Technical Appendix (in English) CONAMA, December 2000.
- Gidhagen, L. 2000. *Determinación de línea base nacional de contenido de arsénico en material particulado respirable*. SMHI final report, November 2000. (in Spanish).
- Graziani, G., Galmarini, S. and Mikkelsen T. 2000. *RTMOD: Real-Time MODel Evaluation*. **Risø-Report-1174(EN)/JRC-Ispra Report TN.I.00.11**. Risø National Laboratory, Roskilde. 47 pp.
- Langner, J., Häggkvist, K., Bergström, R., Engardt, M., Johansson, J., Omstedt, G. and Robertson, L. 2000. *Regional luftmiljöanalys för Skåne län baserad på MATCH modellberäkningar och mätdata. Analys av 1997 års data*. **SMHI Rapport 2000 Nr. 58**, 53 pp. (in Swedish).
- Langner, J. and Bergström, R. 2000. *Bedömning av påverkan på marknära ozon av emissioner från Skåne Län, Själland och Bornholm. Beräkningar för 1997*. **SMHI Rapport 2000 Nr. 67**, 38 pp. (in Swedish).
- Lövblad, G., Persson, C. and Roos, E. 2000. *Deposition of base cations in Sweden*. Swedish Environmental Protection Agency. **Report 5119**, 60 pp.
- Persson, C., Robertson, L. and Thaning, L. 2000. *Model for simulation of air and ground contamination associated with nuclear weapons. An emergency preparedness model*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr. 95**, 42 pp.

1999

...

1998

- Hicks, K., Kuylenstierna, J., Robertson, L. and Granat, L. 1998. *Atmospheric transfer and deposition. In: Regional air pollution in developing countries. Background document for policy dialogue, Bangkok, March 1998*. (Eds: J. Kuylenstierna and K. Hicks). Stockholm Environment Institute, pp. 73-86.
- Kindbom, K., Sjöberg, K., Munthe, J., Peterson, K., Persson, C., Roos, E. and Bergström, R. 1998. *Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi 1996*. **SMHI Meteorologi Nr. 89**.
- Langner, J., Bergström, R. and Pleijel, K. 1998. *European scale modeling of sulfur, oxidised nitrogen and photochemical oxidants. Model development and evaluation for the 1994 growing season*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 82**, 71 pp. (with errata).

1997

- Bringfelt, B., Backström, H., Kindell, S., Omstedt, G., Persson, C. and Ullerstig, A. 1997. *Calculations of PM-10 concentrations in Swedish cities - Modelling of inhalable particles*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 76**, 83 pp.
- Kindbom K., Sjöberg K., Munthe J., Peterson K., Persson C. and Ullerstig, A. 1997. *Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi. Övervakning av svavel- och kväveföreningar, ozon, baskatjoner, tungmetaller och kvicksilver i bakgrundsmiljö. IVL Rapport B 1252*.
- Persson C. and Ullerstig A. 1997. *Regional luftmiljöanalys för Västmanlands län baserad på MATCH modellberäkningar och mätdata - Analys av 1994 års data*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 78**. 53 pp. (in Swedish).

1996

- 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*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 69**. 38 pp.
- Persson, C. and Ullerstig, A. 1996. *Model calculations of dispersion of lindane over Europe. Pilot study with comparisons to measurements around the Baltic Sea and the Kattegat*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 68**. 18 pp.
- Persson, C., Ullerstig, A. Robertson, L., Kindbom, K. And Sjöberg, K. 1996. *The Swedish precipitation chemistry network. Studies in network design using the MATCH modelling system and statistical methods*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 72**. 43 pp.
- Robertson, L. 1996. *Modelling of anthropogenic sulfur deposition to the African and South American continents*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 73**, 10 pp.
- Robertson, L., Langner, J. and Engardt, M. 1996. *MATCH - Meso-scale Atmospheric Transport and Chemistry modelling system. Basic transport model description and control experiments with ²²²Rn*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 70**, 37 pp.

1995

- Persson, C., Langner, J. and Robertson, L. 1995. *Regional spridningsmodell för Sverige. Regional luftmiljöanalys för år 1991*. Naturvårdsverket, **Rapport 4386**, 56 pp. (in Swedish).

1994

- Persson, C., Johansson, M., Lövblad, G., Skärby, L. and Pihl, G. 1994. *Miljökonsekvensbeskrivning för Skåne år 2000. Skånes Luftvårdsförbund, Rapport L 93-126*, 117 pp. (In Swedish).
- Persson, C., Langner, J. and Robertsson, L. 1994. *Regional spridningsmodell för Göteborgs och Bohus, Hallands och Älvsborgs län. Regional luftmiljöanalys för år 1991. (A mesoscale air pollution dispersion model for the Swedish west-coast region - Air pollution assessments for the year 1991.)* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 65**, 76 pp. (in Swedish, with captions also in English).

1993

- Persson, C., Langner, J., Robertson, L. and Luide, T. 1993. *Regional spridningsmodell för Kopparbergs och Gävleborgs län. SMHI, Meteorologi* (In Swedish).

1990

- Persson, C., Robertson, L., Häggkvist, K. and Meuller, L. 1990. *Mesoskalig spridningsmodell. Modellanpassning till Skåneregionen. SMHI, Meteorologi* (In Swedish).

1986

- Persson, C., Rodhe, H. and De Geer, L.-E. 1986. *The Chernobyl accident - A meteorological analysis of how radionuclides reached Sweden*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 55**, 49 pp.

Persson, C., Rodhe, H. and De Geer, L.-E. 1986. *Tjernobylyolockan. En meteorologisk analys av hur radioaktivitet spreds till Sverige*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **METEOROLOGI No. 24**, 45 pp. (In Swedish).

Selected conference proceedings and reports:

2012

Langner, J., Engardt, M. and Andersson, C. 2012. Modelling the impact of climate change on air pollution over Europe using the MATCH CTM linked to an ensemble of regional climate scenarios. In: *Air Pollution Modeling and its application XXI* (Eds. D.G. Steyn and S.T. Castelli). Springer Science+Business Media B.V., pp. 627-635. DOI: 10.1007/978-94-007-1359-8_103

2011

Robertson, L. 2011. Chemical weather forecasting. In: *NSC News 2011:2*, pp 1, 3-5.

Engardt, M., Johansson, C. and Gidhagen, L. 2011. Web Services for Incorporation of Air Quality and Climate Change in Long-Term Urban Planning for Europe. In: *Environmental Software Systems*. (Eds. J. Hřebíček, G. Schimak, and R. Denzer). IFIP Advances in Information and Communication Technology 359, pp. 558–565.

2004

Langner, J. 2004. Spridning av luftföroreningar med MATCH. In: *Nytt från NSC*, Nr 17. Nationellt Superdatorcentrum vid Linköpings universitet. pp. 1,3. (In Swedish).

2003

Engardt, M. 2003. Model simulations of nitrogen and sulphur species over South Asia using meteorological data from ECMWF for the year 2000. In: *5th workshop on the transport of air pollutants in Asia (Model intercomparison study – MICS-Asia) January 20-21, 2003. Workshop proceedings prepared for Acid Deposition and Oxidant Research Center (ADORC), Japan*.

2002

Engardt, M. 2002. Model simulations of nitrogen and sulphur species over South Asia using meteorological data from ECMWF for the year 2000. In: *First Composition of Asian Deposition (CAD) workshop proceedings*, (Eds: C.P. Leong, R. Bala, H. Rodhe and K. Hicks) pp. 153-157. (Workshop held at Malaysian Meteorological Service, Petaling Jaya, 21-23 November 2002).

Ibrahim, K.N., Siniarovina, U. and Engardt, M. 2002. Country to country transport of anthropogenic sulphur in South East Asia. In: *First Composition of Asian Deposition (CAD) workshop proceedings*, (Eds: C.P. Leong, R. Bala, H. Rodhe and K. Hicks) pp. 165-169. (Workshop held at Malaysian Meteorological Service, Petaling Jaya, 21-23 November 2002).

Hass, H., van Loon, M., Matthijsen, J., Stern, R., Zlatev, Z. and Langner, J. 2002. GLOREAM aerosol modelling intercomparison. In: *Global and regional atmospheric modelling* (Eds: C. Borrego, P. Builtjes, A.I. Miranda, P. Santos and A.C. Carvalho). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. pp. 90-94. (Presented at 6th GLOREAM workshop in Aveiro 4-6 September 2002.).

Siniarovina, U., Peng, C.P. and Engardt, M. 2002. High resolution model simulations of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. In: *First Composition of Asian Deposition (CAD) workshop proceedings*, (Eds: C.P. Leong, R. Bala, H. Rodhe and K. Hicks) pp. 159-164. (Workshop held at Malaysian Meteorological Service, Petaling Jaya, 21-23 November 2002).

2001

- Eneroth, K., Kjellström, E., Holmén, K. and Engardt, M. 2001. *How do CO₂ anomalies propagate into the atmosphere? – using trajectories to interpret CO₂ anomalies*. Poster presented at the 6th international CO₂ conference in Sendai, Japan.
- Kjellström, E., Eneroth, K., Holmén, K. and Engardt, M. 2001. *Siberian CO₂ simulations with the regional transport model MATCH: A feasibility study of carbon uptake calculations from observational data*. Poster presented at the 6th international CO₂ conference in Sendai, Japan.
- Langner, J. and Bergström, R. 2001. *Impact of climate change on regional air pollution budgets*. Poster presented at the EUROTRAC Symposium in Garmisch-Partenkirchen, Germany 2000. On CD-ROM included in: *Transport and Chemical transformation in the troposphere. Proceeding of EUROTRAC Symposium 2000* Garmisch-Partenkirchen, Germany 27-31 March 2000, (Eds: P.M. Midgley, M. Reuther and M. Williams). Springer Verlag.
- Persson, C. and Bergström, R. 2001. Atmospheric transport model studies for Sweden – Comparison to EMEP model results and evaluation of precipitation chemistry station networks. In: *Air pollution modeling and its Application XIV*, (Eds: Gryning and Schiermeier). Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. pp. 165-172.

2000

- Engardt, M. 2000. Sulphur simulations for East Asia using the MATCH model with meteorological data from ECMWF. In: *A comprehensive assessment of large-scale environmental problems in East Asia. Proceedings of the workshop on the transport of air pollutants in Asia 22-23 July 1999. Report to the Central Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).* IIASA Contract No. 99-124. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Gallardo, L., Olivares, G., Aguayo, A., Langner, J., Engardt, M., Aarhus, B. and Gidhagen, L., 2000. *Application of a regional scale model over Central Chile*, 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 6th ICSHMO, April 3-7, 2000 Santiago, Chile.
- Persson, C., Lövblad, G. and Roos, E. 2000. Meso-scale modelling of base cation deposition in Sweden. In: *Air pollution modeling and its Application XIII*, (Eds: S.-E. Gryning and E. Batchvarova). Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. pp. 117-125.
- Robertson, L. and Langner, J. 2000. On the issue of quality control in data assimilation. In: *Air pollution modeling and its Application XIII*, (Eds: S.-E. Gryning and E. Batchvarova). Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. pp. 299-309.

1999

- Engardt, M., Rodhe, H., Granat, L. and Kuylenstierna, J. 1999. Preliminary sulphur transport simulations for southern and eastern Asia using the MATCH model with meteorological data from ECMWF. In: *Proceedings of the fourth meeting of the IGAC/DEBITS project: Composition and Acidity of Asian Precipitation (CAAP)*. Chulalongkorn University, Bangkok 9-12 November, 1998. Stockholm Environmental Institute, Stockholm, Sweden, pp. 35-40.

1998

- Engardt, M., Robertson, L. and Lindskog, M. 1998. Sulphur transport in Southeast Asia with the MATCH model. In: *Workshop on transport of air pollutants in Asia 27-29 July 1998. INTERIM REPORT to the Central Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).* International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. pp. 57-66.
- Langner, J., Persson, C. and Robertson, L. 1998. High resolution, long-period modelling of photochemical oxidants over Europe. In: *Air pollution modeling and its Application XII*, (Eds: S.-E. Gryning and N. Chaumerliac). Plenum Press, New York. pp. 71-76.
- Lindskog, M. and Engardt, M. 1998. *The performance of the HIRLAM model in the tropics and sulphur transport studies based on its forecasts*. Poster presented at the 23rd EGS General Assembly in Nice, France.

- Robertson, L. and Langner, J. 1998. Emergency response modelling at the Swedish Meteorological and Hydrological Institute: Results from ETEX and the Chernobyl Accident. In: *Long-Range air pollution: From models to policies*. (Eds: D. Syrakov, E. Batchvarova and B. Wiman). Proceedings from the Swedish-Bulgarian workshop 19-23 October 1997, Sozopol, Bulgaria. pp. 133-142.
- Robertson, L. and Langner, J. 1998. Data assimilation techniques for air pollution assessment studies. In: *Long-Range air pollution: From models to policies*. (Eds: D. Syrakov, E. Batchvarova and B. Wiman) Proceedings from the Swedish-Bulgarian workshop 19-23 October 1997, Sozopol, Bulgaria. Pensoft publishers Sofia, Moscow. pp. 187-199.

1997

- Engardt, M. and Holmén, K. 1997. Flaring of gas in western Siberia, an overlooked source for CO₂ and other anthropogenic species during Arctic haze episodes? In: *Atmospheric research in Ny-Ålesund* (Eds: Fløisand, I., Gernandt, H. Stoltz Larsen, E., Stordal, F. and Wada, M.) Norsk Institutt for luftforskning, Kjeller, Norway. **NILU OR 19/97**, pp. 95-98.
- Langner, J. 1997. Regional scale modelling of photochemical oxidants at the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). In: *Regional Modelling of Air Pollution in Europe*. (Eds: G. Geernaert, A. Walløe Hansen and Z. Zlatev), Proceedings of the first REMAPE Workshop in Copenhagen, Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute, Denmark.
- Langner, J., Robertson, L., Persson, C. and Ullerstig, A. 1997. The operational emergency response model at the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). In: *Proceedings from the ETEX symposium on long-range atmospheric transport, model verification and emergency response, Vienna 1997*, (Ed. K. K. Nodop). **EUR 17346**, European Commission.
- Marmefelt, E., Arheimer, B. and Langner, J. 1997. A biogeochemical model system for the Baltic sea - a pilot study. With rivers to the sea. Interactions of land activities, fresh water and enclosed coastal seas. In: *Proceedings from the joint conference of 7th Stockholm water symposium and 3rd international conference on the environmental management of coastal seas (EMECS), 10-15 Aug. 1997, Stockholm, Sweden*.
- Robertson, L. and Langner, J. 1997. Variational assimilation ETEX-1 data. In: *Proceedings from the ETEX symposium on long-range atmospheric transport, model verification and emergency response, Vienna 1997*, (Ed. K. K. Nodop). **EUR 17346**, European Commission.

1996

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

1994

- Persson, C., Langner, J. and Robertson, L. 1994. MATCH: A mesoscale atmospheric dispersion model and its application to air pollution assessments in Sweden. In: *Air Pollution and its Application*, Vol. X. (Ed. E. Gryning.) Plenum Press, New York.
- Persson, C., Langner, J. and Robertson, L. 1994. Comparison Dispersion Model Results from the BER-1 Emergency Exercise, 21 June 1993

Degree projects:

- Dingwell, A. 2010. *Evaluation of calculated concentrations of air pollution in the Stockholm region – comparison with measurements*. Master Degree Project in Meteorology. 30 ECTS credits. (Supervisor: Christer Johansson. Stockholm University)

- Larsson, A. 2007. *Ensembleprognoser som indata i atmosfärskemiska spridningsberäkningar – en fallstudie vid SMHI*. Examensarbete i Fysik 20 poäng (30 ECTS) vid Lunds universitet med inriktning mot meteorologi i samarbete med Köpenhamns universitet. (Handledare: Aksel Walløe Hansen och Peter Aakjær (DMI), Mikael Magnusson och Lennart Robertson (SMHI)). (In Swedish, abstract in English).
- Andersson, C. 2005. *Inter-annual variations of air pollution due to meteorological variability over Europe during 1958-2003 – simulations using the MATCH-model*. Diploma work. Department of Experimental Physics, Chalmers University of Technology. (supervisor: Joakim Langner, SMHI).
- Bender, F. 2004. *Transboundary transport of acidifying and eutrophying pollutants in Europe*. Degree Project in Meteorology 20p, for Master of Science. (Supervisors: Magnuz Engardt, Joakim Langner, SMHI and Henning Rodhe. Stockholm University).
- Sundkvist, P. 2004. *Polycykliska aromatiska kolväten i stadsluftkällor. Spridning och betydelse för folkhälsan*. 69 pp. Examensarbete (20p) inom magisterutbildningen Miljöskydd och hälsoskydd, 40p. (Handledare Christer Johansson, ITM och Joakim Langner, SMHI). (In Swedish, abstract in English).
- Johnston, S. 2003. *Regional modelling of carbon dioxide isotopes. How the oceanic uptake of CO₂ influences the atmospheric CO₂ concentration*. Degree Project in Meteorology 20p, for Master of Science. (Supervisors: Kim Holmén, Erik Kjellström, Stockholm University and Magnuz Engardt, SMHI).
- Julin, A.-C. 2003. *Atmosfärisk transport av nitrat till Svalbard; En trajektorie- och modellstudie*. Examensarbete meteorologi 20p. (Handledare: Kim Holmén och Erik Kjellström, Stockholms Universitet). (In Swedish).
- Illarzen, A. 2002. *The balance of nitrogen compounds in the Indian atmosphere*. Degree Project in Meteorology 20p, for Master of Science. (Supervisor: Henning Rodhe, Stockholm University).
- Rietz, A. 1999. *Numerisk modell för global transport av spårämnen i atmosfären*. Examensarbete i teknisk fysik och elektroteknik vid Linköpings universitet, 20p. (Handledare: Lennart Robertson, SMHI). (In Swedish).
- Thor, J. 1998. *Anthropogenic and Biogenic Winter Sources of CO₂ – a model study*. Degree Project in Meteorology 20p, for Master of Science. (Supervisor: Kim Holmén, Stockholm Un

Denna sida är avsiktligt blank

Denna sida är avsiktligt blank



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01