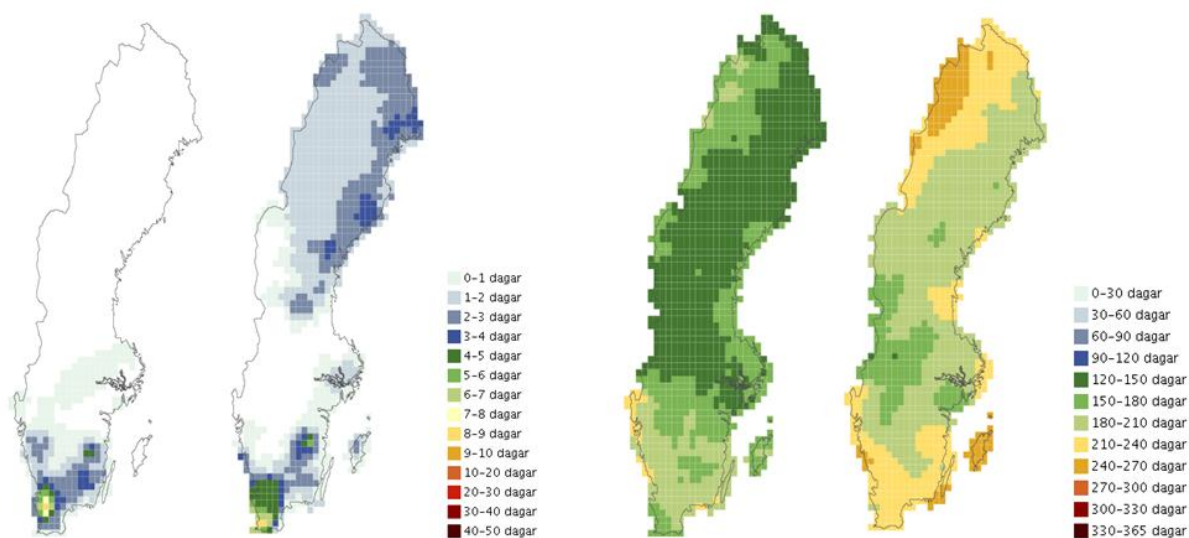


Helene Alpfjord och Camilla Andersson

Nr 2015-7

Nationell miljöövervakning med MATCH Sverige-systemet

- ny metodik, utvärdering och resultat för åren 2012-2013



NATIONELL
MILJÖÖVERVAKNING
PÅ UPPDRAG AV
NATURVÅRDSVERKET

Bilden föreställer antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2012 och 2013 samt antal dagar då halten överstiger $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2012 och 2013.

Nationell miljöövervakning med MATCH Sverige-systemet

Ny metodik, utvärdering och resultat för åren 2012-2013

<p>Rapportförfattare Heléne Alpfjord, SMHI Camilla Andersson, SMHI</p>	<p>Utgivare SMHI</p> <p>Postadress Folkborgsvägen 17, 601 76 Norrköping</p> <p>Telefon +46 (0)11 495 80 00</p>
<p>Rapporttitel och undertitel Nationell miljöövervakning med MATCH Sverige-systemet Ny metodik, utvärdering och resultat för åren 2012-2013</p>	<p>Beställare Naturvårdsverket 106 48 Stockholm</p> <p>Finansiering Nationell Miljöövervakning</p>
<p>Nyckelord för plats Sverige</p>	
<p>Nyckelord för ämne Lufthalt, deposition, svavel, kväve, marknära ozon</p>	
<p>Tidpunkt för insamling av underlagsdata 2012 – 2013</p>	
<p>Sammanfattning MATCH Sverige-systemet är ett operativt system inkluderande en atmosfärkemi spridningsmodell, där regionalskaliga modellberäkningar och mätdata kombineras för att kartlägga aktuella förhållanden och följa förändringar i tiden av såväl luftkoncentrationer som deposition av svavel, kväve och baskatjoner över Sverige. De nationella miljömål som framför allt berörs är försurning, övergödning och luftkvalitet.</p> <p>Halter i luft och deposition till mark och presenteras för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2012-2013. Nytt för 2013 är publicering av marknära ozon. Under 2012-2013 övergick vi till en ny metodik, så totalhalter i luft och deposition presenteras för 2012 med både nya och gamla metodiken i denna rapport. Resultat för 2013 finns bara framtagna med nya metodiken.</p> <p>Den största depositionen sker i de sydvästra delarna av Sverige, och minskar norrut, medan lägst deposition sker i Norrlands inland. Marknära ozon var markant högre under 2013 än 2012. För totaldepositionen av kväve och svavel var skillnaden mellan åren liten.</p> <p>Övergången till ny metodik medför vissa skillnader. För lufthalter och torrdeposition medför övergången minskade värden. Detta orsakas av förbättring av metodik där totalmätningen av lufthalt assimileras. För våtdepositionen är skillnaden mindre med den nya metodiken.</p>	

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

MATCH Sverige-systemet är ett operativt system inkluderande en atmosfärkemisk spridningsmodell, där regionalskaliga modellberäkningar och mätdata kombineras för att kartlägga aktuella förhållanden och följa förändringar i tiden av såväl luftkoncentrationer som deposition av svavel, kväve och baskatjoner över Sverige. De nationella miljömål som framför allt berörs är försurning, övergödning och luftkvalitet i urban miljö. Uppdraget omfattar spridningsmodellering 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 mätdata från svenska och norska EMEP-stationer (European Monitoring and Evaluation Programme), svenska LNKN (Luft- och Nederbördskemiska Nätet) samt en höghöjdsstation.

Halter i luft och deposition till mark och presenteras här för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2012-2013. Nytt för 2013 är publicering av marknära ozon. Under 2012-2013 övergick vi till en ny metodik, så totalhalter i luft och deposition presenteras för 2012 med både nya och gamla metodiken i denna rapport. Resultat för 2013 finns bara framtagna med nya metodiken.

Den största depositionen sker i de sydvästra delarna av Sverige, och minskar norrut, medan lägst deposition sker i Norrlands inland. Marknära ozon var markant högre under 2013 än 2012. För totaldepositionen av kväve och svavel var skillnaden mellan åren liten.

Övergången till ny metodik medför vissa skillnader. För lufthalter och torrdeposition medför övergången minskade värden. Detta orsakas av förbättring av metodik där totalmätningen av lufthalt assimileras. För våtdepositionen är skillnaden mindre med den nya metodiken.

Denna sida är avsiktligt blank

Innehållsförteckning

FÖRORD	1
1 INLEDNING	1
2 METODIK I MATCH SVERIGE-SYSTEMET	1
2.1 Skillnad mellan ny och gammal metodik.....	2
2.2 MATCH som bakgrundsfält i dataassimilation.....	4
2.3 Dataassimilation av halter i luft och nederbörd	4
2.4 Våtdepositionsberäkningar	5
2.5 Torrdepositionsberäkningar.....	5
2.6 Statistiska mått för marknära ozon.....	6
2.7 Emissionsdata.....	6
2.8 Svenska och norska mätstationer	7
3 RESULTAT	10
3.1 Väderåren 2012 och 2013	10
3.2 Luftkoncentration 2012-2013.....	11
3.3 Deposition 2012-2013.....	14
3.3.1 Deposition av oxiderat kväve	14
3.3.2 Deposition av reducerat kväve.....	16
3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan havssalt.....	18
3.3.4 Deposition av oxiderat svavel	20
3.3.5 Våtdeposition av baskatjoner.....	22
3.3.6 Marknära ozon	23
4 UTVÄRDERING AV MODELLSYSTEMET OCH DISKUSSION AV FELKÄLLOR 27	
4.1 Meteorologiska indata	27
4.2 Modeller	27
4.3 Emissionsdata.....	28
4.4 Mätdata	28
5 REFERENSER	29
BILAGA - PUBLICERAT MATERIAL FÖR MATCH-MODELLEN	30

Denna sida är avsiktligt blank

Förord

Studien har utförts och finansierats inom ramen för Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning, men inkluderar även ett utvecklingsprojekt för att implementera ny metodik i den operationella miljöövervakningen. I utvecklingsprojektet har det också ingått att ta fram och publicera ett antal mått på marknära ozon.

Denna rapport presenterar resultat för åren 2012-2013, där resultat från 2012 redovisas med både ny och gammal metodik.

1 Inledning

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 Europnivå och dels på nationell nivå. På nationell (svensk) nivå används en version speciellt anpassad för beräkningar baserade på bidrag från svenska emissioner. Därutöver utnyttjas meso-skalgig, 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). Ett antal studier har genomförts tidigare, och presenteras bl.a. i rapporterna Persson et al. (2004) där MATCH Sverige-systemet beskrivs utförligt, och Lövblad et al. (1991) där en studie av baskatjoner gjordes med MATCH Sverige-systemets metodik. I Södergren et al. (2013) beskrivs metodik och resultat för MATCH Sverige-systemet för åren 1998-2011 och i Andersson et al. (2014) redogörs för den senaste metodikförändringen. Denna rapport redovisar resultat för åren 2012-2013 samt förändringar med ändrad metodik för 2012.

Systemet MATCH-Sverige har genomgått en omfattande utveckling mellan övervakningsåren 2004 och 2005, samt ytterligare utveckling under åren 2009, 2010 och 2013. 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). Från 2013 har metodiken återigen förändrats, där dataassimilationen sker på totalhalter och inte för ett beräknat långtransportbidrag. För närvarande finns beräkningsåren 1998-2013 tillgängliga på nätet.

Då en stor del av försurning 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, 1998-2013. Vidare så redovisas svavel och baskatjoner exklusive såväl som inklusive havssalt (för nederbörd). Ett antal mått för marknära ozon publiceras på webben från och med 2013.

Nedan ges en översiktlig beskrivning av den metodik som infördes i och med 2005 års beräkningar och de skillnader som finns i den nya metodiken som infördes operationellt år 2013. De osäkerheter som är förknippade med den slutgiltiga produkten diskuteras kort.

Resultat presenteras på nätet för deposition av kväve, svavel och baskatjoner, samt halter i luft för marknära ozon, kväve- och svavelämnen.

2 Metodik i MATCH Sverige-systemet

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 erhåller en

analys, d.v.s. en approximation av det ”sanna” värdet, av modell och mätningar. För att uppnå en kvalitativ 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 bakgrundsfältet. Detta bakgrundsfält 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 jämfört med bakgrundsfältet, och förändrar därför snarare bakgrundsfältet än observationsdata under dataassimilationsalgoritmen.

2.1 Skillnad mellan ny och gammal metodik

Förändringen till ny metodik kan i stora drag sammanfattas i följande punkter:

- Dataassimilationen utförs nu på totalhalter istället för på ett extraherat långtransportbidrag.
- De EMEP-emissioner som används i MATCH Europa har nu bearbetats för att sammanfogas med mer högupplösta SMED-emissioner över Sverige. Emissionsdata från ShipAir används för havsområdena kring Sverige.
- Ett antal statistiska mått för marknära ozon tas fram och publiceras.

En mer detaljerad genomgång av nya metodiken finns i Andersson et al. (2014).

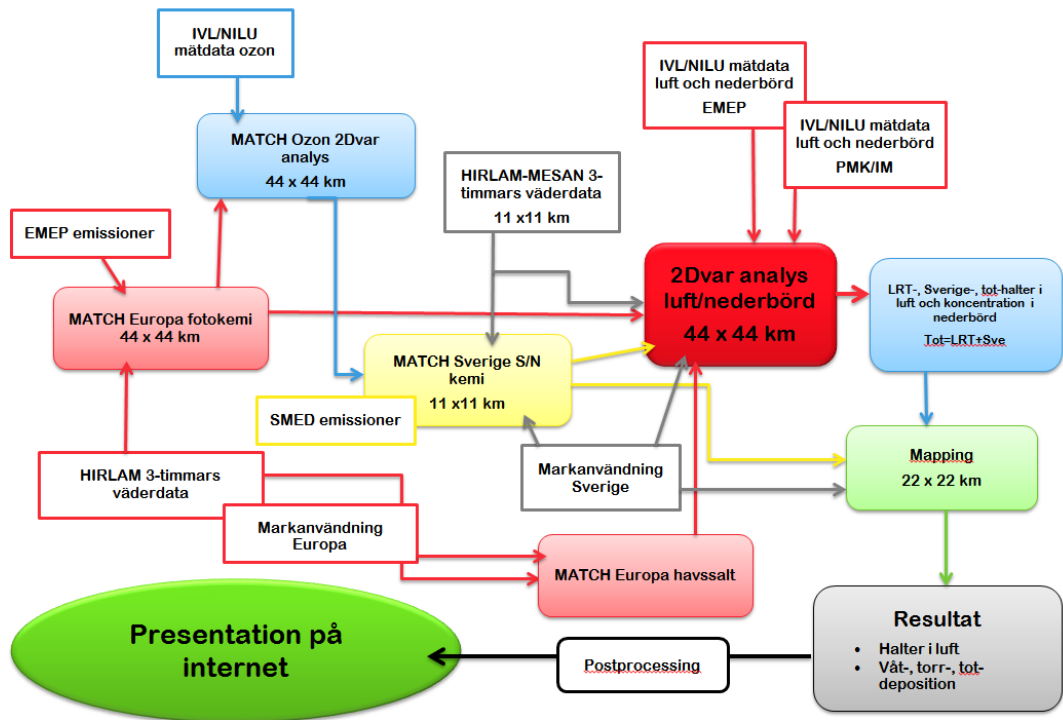
I de två flödesdiagrammen nedan visas schematiskt de olika stegen i den gamla respektive den nya metodiken. Indata till systemet i form av meteorologiska data, emissionsdata och mätdata visas som rutor med vit bakgrund. De sista stegen beskriver efterbehandlingsåtgärder såsom beräkning av torrdeposition till olika marktyper, exempelvis åkerjord och lövskog, 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), och SMED (Svenska miljöemissionsdata) och dels meteorologiska data. Utsläppsdata från SMED är av högre upplösning än EMEP, och representerar Sveriges utsläpp.

Ozonhalter beräknas med MATCH fotokemi och dataassimileras därefter med uppmätta ozonhalter från IVL och NILU. Dessa analyserade ozonhalter används för att beräkna olika statistiska mått i nya metodiken. De används även som indata i modellberäkningen av Sverigebidrag (gammal och ny metodik). Som indata till modellberäkningen av Sverigebidrag används förutom det analyserade ozonet markanvändningsdata, SMEDs emissioner samt HIRLAM-MESAN-PTHBV väderdata.

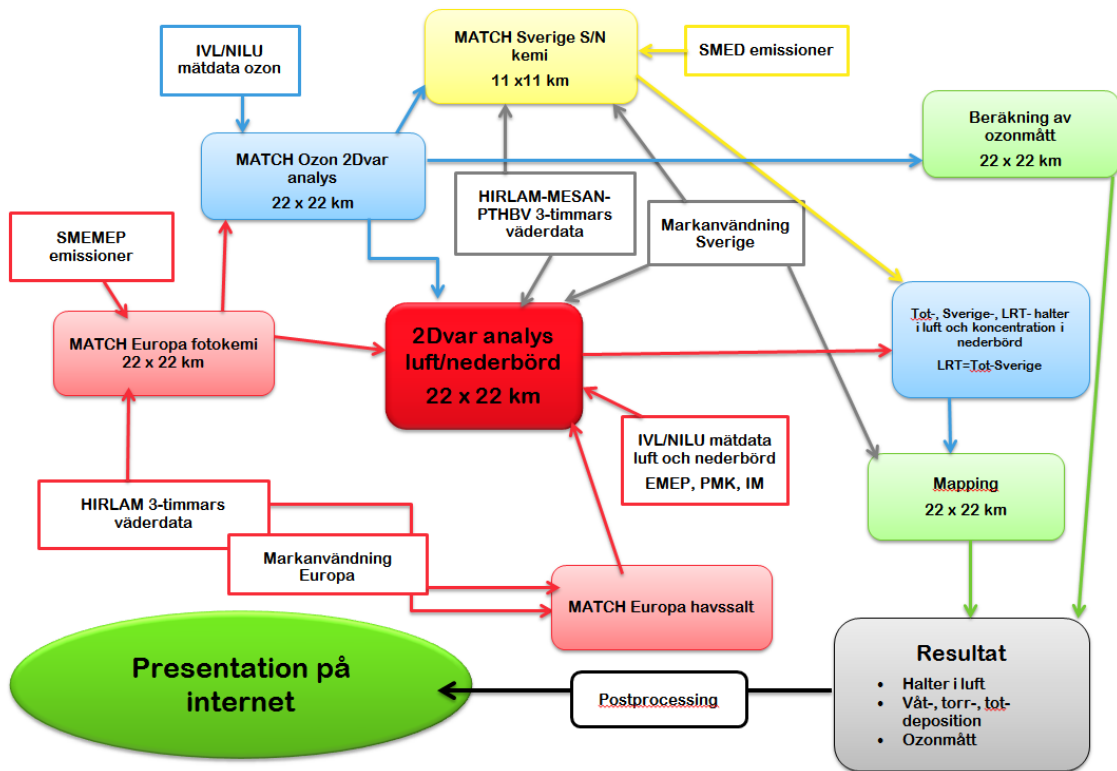
I den gamla metodiken subtraheras därefter Sverigebidraget från de modellberäknade totalhalt och från de uppmätta halterna. En 2dvar-analys gjordes i gamla metodiken på detta långväga transportbidrag av halter i luft och koncentration i nederbörd som fås efter subtraktionen. För att i slutresultatet få fram de totala halterna i luft och nederbörd adderades slutligen det svenska bidraget till det analyserade LRT-bidraget.

I ny metodik görs istället dataassimilationen på totalhalterna från MATCH Europa. Långtransportbidraget beräknas sedan som det assimilerade totalfältet minus Sverigemodellens resultat.

Därefter beräknas depositionen för olika markanvändningstyper utifrån resultaten från analysen (mapping i Figur 1 och 2). Innan slutresultaten läggs ut på nätet så måste de slutbearbetas (postprocessas) för att få rätt format.



Figur 1. Översikt över MATCH-Sverigesystemet med gamla metodiken. Beskrivning av indata till och flöden inom MATCH-Sverigesystemet samt modeller som ingår i systemet.



Figur 2. Översikt över MATCH-Sverigesystemet med nya metodiken. Flödesdiagrammet ger en beskrivning av indata till och flöden inom MATCH-Sverigesystemet samt modeller som ingår i systemet. Lägga märke till SMEMEP-emissionerna, beräkningen av ozonmätt och hanteringen av utdata från 2Dvar analys luft/nederbörd.

2.2 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 MATCH Sverige-systemet 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 Sverigebidragsberäkningen, som också görs med MATCH, men med en förenklad kemibeskrivning.

Vissa ämnen är inte inkluderade i fotokemimodellen MATCH. För dessa ämnen har en enklare variant av interpolation använts.

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. För en noggrannare beskrivning av MATCH fotokemimodell se t.ex. Robertson et al. (1999). Denna modell hanterar förutom fullskalig kemi transport och deposition av ämnen i både gas- och partikelfas. Den version av MATCH som beräknar Sveriges bidrag innehåller endast svavel- och kvävekemi, 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). Havssaltspartiklar och primära antropogena partiklar transporteras och deponeras (våtdeponeras; d.v.s. ”tvättas ur med nederbörd” och torrdeponeras; d.v.s. förlust mot markytan utan inblandning av nederbörd) i modellen.

Till halter i nederbörd av vissa kemiska komponenter särskiljs bidraget från havssalt och bidrag utan havssalt, eftersom havssaltet bidrar med naturliga och icke försumbara halter av svavel, kalium, magnesium och kalcium. Emissionerna av dessa ämnen är däremot inte kända. Som första gissning av havssaltsbidrag till halt i nederbörd används MATCH partikelmodellens havssaltskoncentration i nederbörd. Det går inte att använda någon modelluppskattning som första gissning av kalium, magnesium och kalcium (exklusive havssalt) på grund av avsaknad av emissioner av dessa ämnen och att dessa komponenter ännu inte ingår i MATCH-modellen. Istället används optimal interpolation av uppmätt haltbidrag (utan havssalt) i nederbörd.

För lufthalter kan inte havssaltsbidrag och övrigt bidrag särskiljas. Detta orsakas av att det är för få mätningar av havssaltskoncentration i luft över Sverige.

2.3 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 MATCH Sverige-systemet sker i två dimensioner (i horisontalplanet, förkortat 2dvar). I gamla metodiken utförs den variationella analysen på bidraget från långväga transport från resten av Europa (alltså utan Sveriges bidrag). Som nämnts ovan, i den gamla metodiken erhålls uppmätt och modellerat långtransportbidrag genom att subtrahera det modellerade sverigebidraget (modellerat MATCH-Sverige) från det observerade respektive modellerade totalvärdet. Från analysens resultat av de långväga koncentrationerna läggs i gamla metodiken sedan det svenska bidraget från MATCH-Sverige till för att erhålla de totala halterna. Anledningen till att

denna metodik användes innan var att man vill bevara den höga upplösning som MATCH-Sverige körs på. MATCH-Europa och själva analysen kördes på 44x44 km upplösning i gamla metodiken, medan MATCH-Sverige kördes på 11x11 km upplösning. Denna metodik är förknippad med vissa problem. Metodiken att assimilera LRT-bidrag, där modellerat sverigebidrag subtraheras från uppmätta värden förutsätter att beskrivningen av de svenska emissionerna, spridningsmodellen som beskriver Sverigebidraget, och den meteorologiska information som driver modellen innehåller mycket små osäkerheter. De ovan nämnda osäkerheterna kan generellt inte anses försumbara, varför onödigt stor osäkerhet införs i mätdata, vilket är en nackdel och kan drabba kvaliteten på slutresultaten.

I nya metodiken sker den variationella analysen på totalhalter istället. MATCH Europa körs nu på högre upplösning, 22 km, för att inte försämra upplösningen för de publicerade resultaten. I detta fall införs inte något fel i mätningen, eftersom kvalitetsgranskad originalmätning används i analysen. Nackdelen med den nya metodiken är att vi förlorar delar av den rumsliga variationen, eftersom både mätningen och MATCH-Europa representerar en grövre rumsskala än MATCH-Sverige som beräknar Sverigebidraget. Variationen i totalhalten respektive totaldepositionen minskar därmed med den nya metodiken, men med fördelen att den är av högre kvalitet.

I både nya och gamla metodiken sker dygnsvis assimilation för lufthalter och för dessa antas isotropa korrelationer: förändringen av bakgrundsfältet sker enbart baserat på avstånd från mätstation och på skillnaden mellan mätning och bakgrundsfält. 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 MATCH havssaltberäkningar står att läsa om i Foltescu et al. (2005).

2.4 Våtdepositionsberäkningar

Som grund till de våtdepositionsberäkningar som görs i MATCH Sverige-systemet utnyttjas analyserad meteorologi genom MESAN-data (griddad data baserad på observationer och modell) var 3:e timme av nederbördsmängder över Sverige. MESAN-data kombineras med dygnsvisa PTHBV-data för att ytterligare förbättra kvaliteten. Viss efterbearbetning rörande korrigering av nederbördsmängder med hänsyn till vindförluster i nederbördsräknare samt topografiska effekter har gjorts. 3-timmars nederbördsfält används i MATCH-Sverigemodellen och interpoleras till timvärden i modellen inför beräkning av våtdeposition orsakad 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 och för att denna parameter varierar långsammare spatialt än våtdeposition, som har högre småskalighet eftersom den följer nederbörd som är småskalig. Våtdepositionen beräknas därefter fram genom att den analyserade koncentrationen multipliceras med ovan beskrivna nederbördsdata. Kvaliteten på nederbördsdata är avgörande för kvaliteten på våtdepositionsberäkningarna.

2.5 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 det laminära gränsskiktet. Det laminära gränsskiktet är ett millimetertunt skikt ovanför mark-, vatten- eller vegetationsytan. Därefter transporteras komponenten genom detta. I det tredje steget upptas komponenten av 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). Torrdepositionsflödet kan beskrivas av följande samband (jämför Ohm's lag inom ellära),

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

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

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

där r_a , r_b och r_c 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 parameteriserade. 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 Sverigemodellen hänvisas läsaren till Klein et al. (2002).

2.6 Statistiska mått för marknära ozon

Vi publicerar ett antal statistiska mått för de dataassimilerade ozonfälten inom miljöövervakningen från år 2013. Följande indikatorer/mått beräknas:

- Årsmedelvärde
- Somarmedelvärde (juni till augusti)
- Årsmaximum av dygnets maximala flytande 8h-medelhalt, samt antal dygn med överskridande av $70 \mu\text{g m}^{-3}$ för utvärdering av miljömålet frisk lufts mål och antal dygn med överskridande av $120 \mu\text{g m}^{-3}$ för utvärdering av direktivets mål.
- Årets maximala 1h-medelhalt samt antalet timmar under året med överskridande av halten $80 \mu\text{g m}^{-3}$.
- För utvärdering av påverkan på grödor och skog beräknas AOT40 under maj-juli respektive april-september. AOT40 är den ackumulerade ozonhalten överskridande 40 ppbv ($80 \mu\text{g m}^{-3}$) under denna period, alltså $AOT40 = \sum \max(O_3 - 40, 0)$ under respektive tidsperioder, och enbart under timmarna 8-20 varje dygn.
- SOMO35 är en indikator för ozons hälsopåverkan som rekommenderas av WHO. I denna indikator summeras halter hos dygnets maximala flytande 8h-medelvärde som överskrider 35 ppbv ($70 \mu\text{g m}^{-3}$) under hela året. Alltså $SOMO35 = \sum \max(O_3^d - 35, 0) dt$.

2.7 Emissionsdata

De europeiska emissioner som används i MATCH Europa-körningarna baseras på EMEP:s griddade data med en geografisk upplösning på $50 \times 50 \text{ km}$. I MATCH Sverige används de svenska emissioner som sammanställs av SMED och rapporteras av Sverige till UNFCCC, CLRTAP och EU. EMEP:s emissioner över Sverige baseras i sin tur på SMEDs internationellt rapporterade emissioner.

De EMEP-emissioner som används i MATCH Europa har i nya metodiken bearbetats för att sammanfogas med mer högupplösta SMED-emissioner över Sverige. Emissionsdata från ShipAir används för havsområdena kring Sverige.

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.

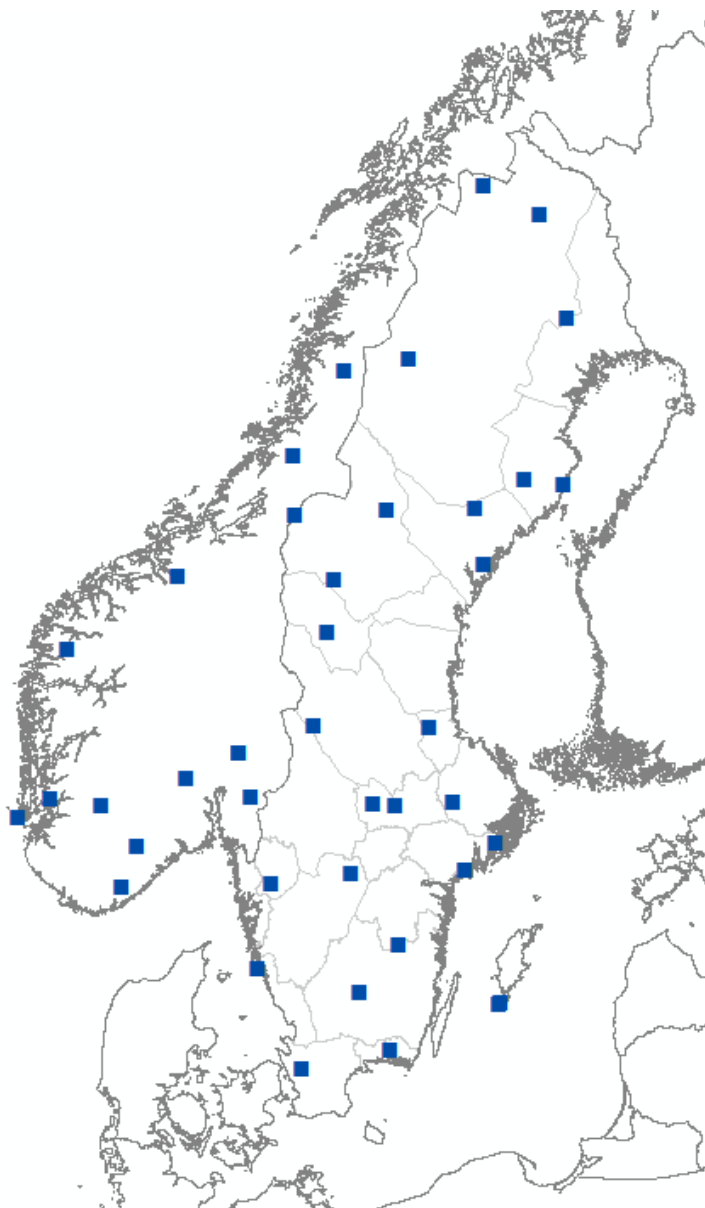
De beräknade totalemmissionerna för varje ämne fördelas geografiskt efter åtta huvudsektorer och mer än 150 undersektorer. Fördelningen görs med en upplösning på $1 \times 1 \text{ km}$. Emissionerna fördelas först

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.

2.8 Svenska och norska mätstationer

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

De vid dataassimilationen utnyttjade mätstationerna för bakgrundsluft inom Norden framgår dels av Figur 3, där mätstationernas lokalisering finns utmärkta, och dels av Tabell 1 nedan.



Figur 3. De mätstationer som använts i MATCH Sverigesystemet.

I Tabell 1 visas även vilket observationsnät respektive station tillhör (EMEP, LNKN eller IM), uppmätta variabler, frekvens för mätning samt stationsnamn. För beräkningsåret 2013 utnyttjades 25 stationer för mätning av svavel och kväve i luft, varav fyra svenska EMEP stationer (dygnsvisa

mätningar), 12 norska EMEP stationer (dygnsvisa mätningar) och nio stationer från LNKN (månadsvisa mätningar). För ozon användes tio svenska EMEP stationer och sex norska (timvisa mätningar).

Tabell 1. Mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för luft.

	Mät nätverk	Frekvens	Uppmätta Variabler	Stationer
Luft	Svenska EMEP	Dygn	SO ₂ , SO ₄ , NO ₃ +HNO ₃ , NO ₂ , NH ₄ +NH ₃	Aspvreten, Bredkälén, 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, Bredkälén, Esrang, Grimsö, Norra Kvill, 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, Granán, Hoburgen, Jädraås, Pålkem, Rickleå, Sjöängen, Sännen,
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 34 stationer, varav fyra svenska EMEP (två månadsvisa och två dygnsvisa), 10 norska EMEP (sex dygnsvisa och fyra veckovisa), 15 LNKN (månadsvisa), fyra IM (månadsvisa) samt en höghöjdsstation (månadsvisa)(se Tabell 2) år 2013.

Tabell 2. Mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för nederbörd.

	Mät nätverk	Frekvens	Uppmätta Variabler	Stationer
Nederbörd	Svenska EMEP	Dygn	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Bredkälén, 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, Granán, Hoburgen, Jädraås, Majstre, Norra Kvill, Prästbodarna,

				Pålkem, Rickleå, Ryda Kungsgård, Sandnäset, Sjöängen, Sännen, Tandövala, Tyresta
Nederbörd	LNKN/Höghöjd	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Hundshögen

3 Resultat

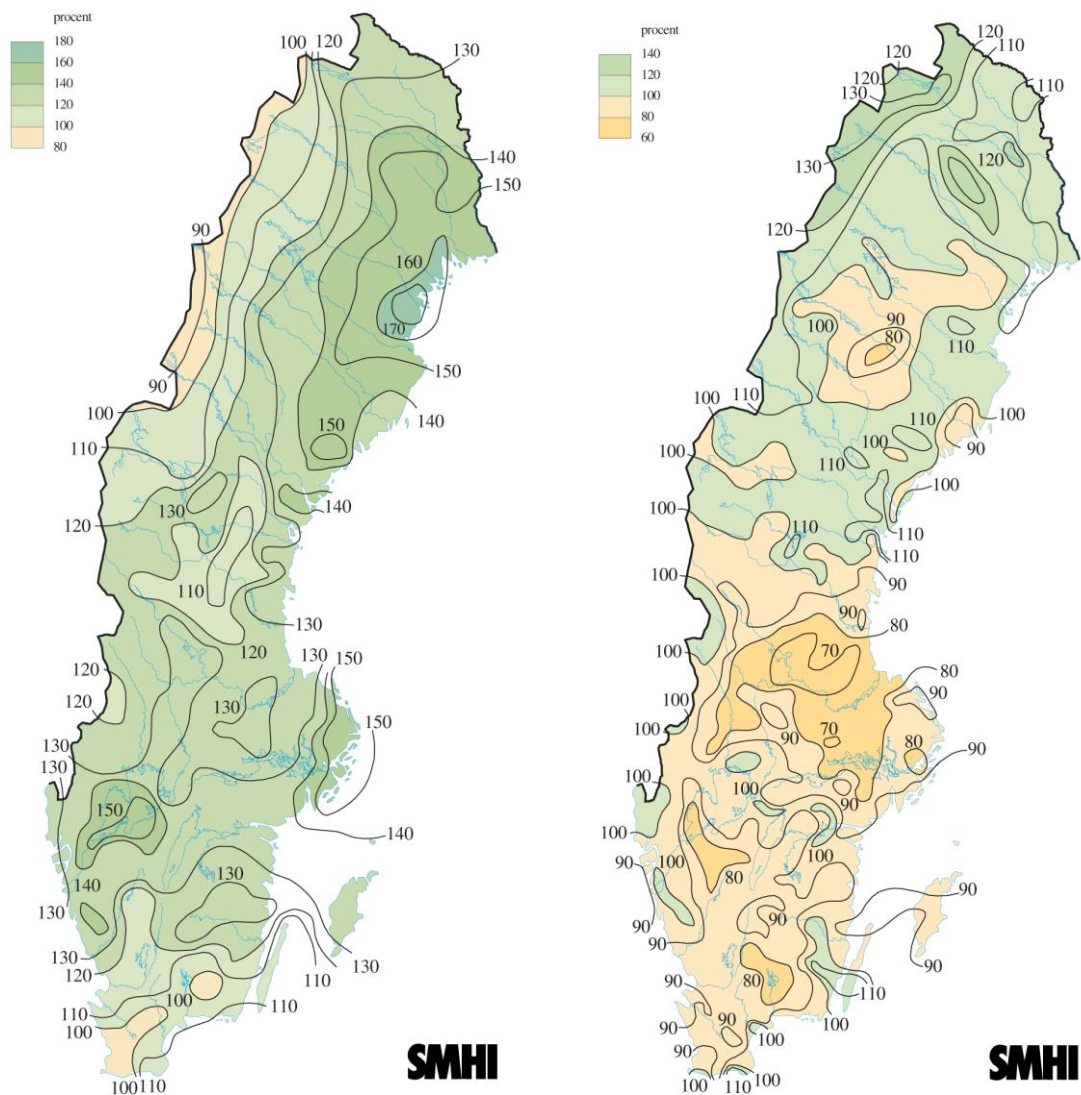
Här presenteras resultat för 2012 och 2013. Eftersom en övergång har gjorts till en ny metodik presenteras resultat för 2012 både med ny och gammal metodik för att tydliggöra hur metodikbytet påverkar resultaten. Även olika statistiska mått på marknära ozon presenteras för 2012 och 2013.

Meteorologin kan variera mycket från ett år till ett annat, vilket orsakar variationer i halter i luft och nederbörd. Emissionerna däremot varierar inte mycket från ett år till nästa. 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. Därefter presenteras och diskuteras resultaten från MATCH Sverige-systemets beräkningar av lufthalter och deposition till mark.

3.1 Väderåren 2012 och 2013

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 SMHIs 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. År 2012 var något över det normala temperaturmässigt medan 2013 var ett mycket varmt år i hela Sverige, med extremast avvikelse i Norrland.

I kartorna i Figur 4 nedan syns nederbördsavvikelsen för 2012 och 2013. År 2012 hade nederbördsmängder över det normala i nästan hela landet och det område som framför allt utmärker sig i det avseendet är nordöstra Norrland. 2013 var ett mycket torrt år i södra och mellersta Sverige och norra Sverige fick mer nederbörd än normalt.



Figur 4. Årsnederbörd i procent av den normala år 2012 och 2013.

3.2 Luftkoncentration 2012-2013

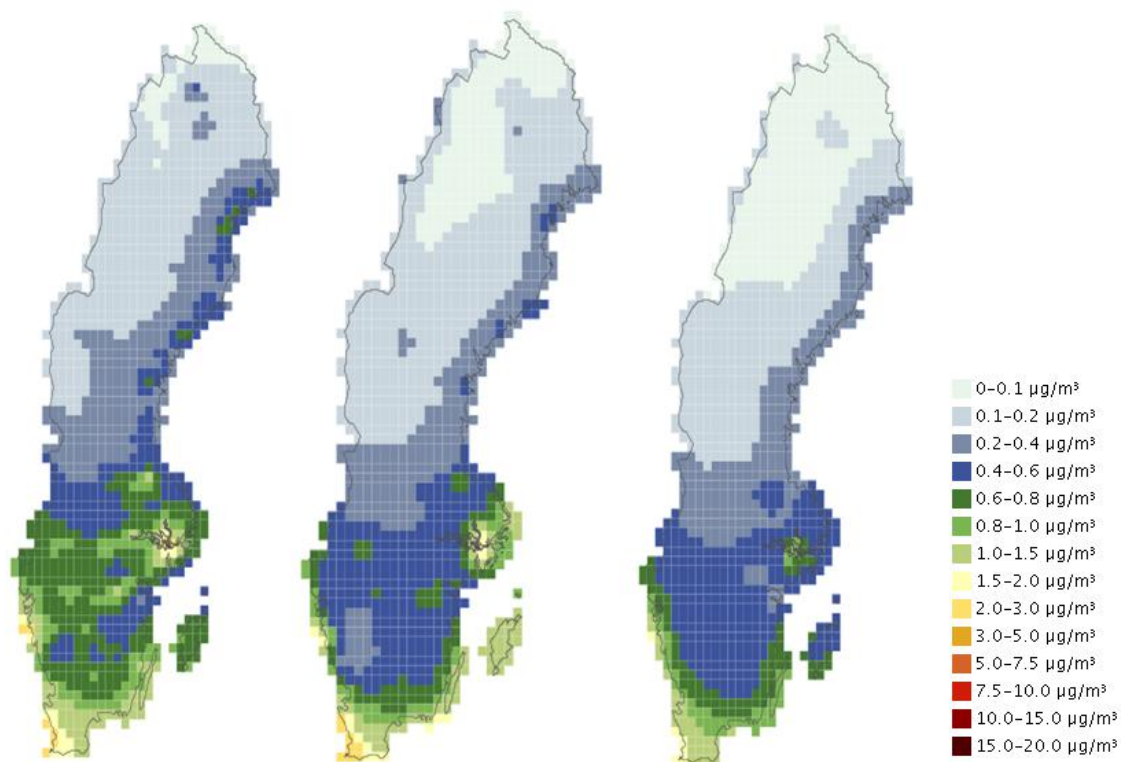
I Figur 5 **Fel! Hittar inte referensälla.** till 7 presenteras totala lufthalter för kvävedioxid (som kväve), reducerat kväve (som kväve) och svaveldioxid (som svavel) över Sverige för åren 2012 med gammal och ny metodik samt 2013 med ny metodik. Kartorna presenteras så som på webbsidan <http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi>. På hemsidan finns också lufthalter uppdelade på ett Sverigebidrag och ett långtransportbidrag från resten av Europa.

Figur 5 visar total halt av kvävedioxid i luft för 2012 med gammal och ny metodik samt 2013 med ny metodik. Motsvarande total halt i luft av reducerat kväve och svaveldioxid visas i Figur 6 respektive 7.

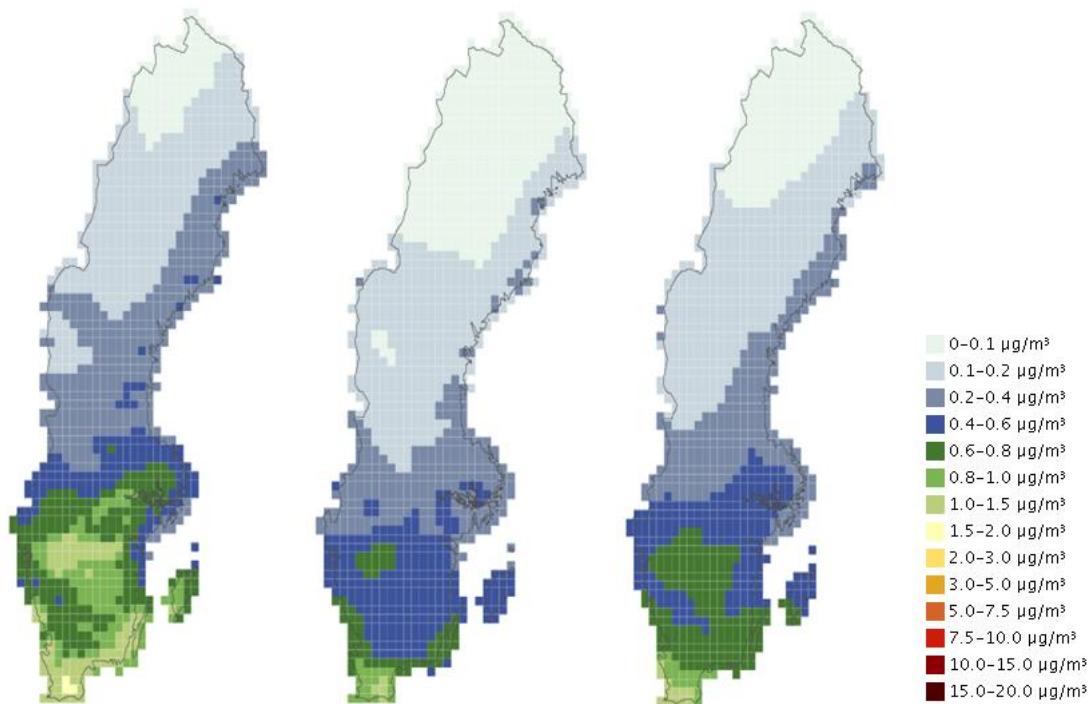
Vid en jämförelse av 2012 mellan gammal och ny metodik syns det en minskning i totala lufthalter med den nya metodiken. Då 2012 och 2013 med ny metodik jämförs är skillnaderna mindre. Lufthalterna av svaveldioxid och kvävedioxid är lite högre 2012, framförallt i Skåne och Stockholmsområdet, medan det är lägre halter av reducerat kväve i Sveriges inland år 2012 än 2013. Orsaken till minskningen kan vara relaterad till införsel av modellfel i mätdata i gamla metodiken. Den småskaliga variationen i gamla metodiken förloras i den nya, vilken också bidrar till lägre

lufthalter nära stora punktkällor/källområden. Slutligen påverkar även förändringen av emissionsdata över Sverige lufthalten, där nya metodiken med SMED-emissioner delvis uppvisar annat mönster och har bättre upplösning än den gamla metodikens EMEP-emissioner, vilket bidrar till skillnader i slutresultat. För regional bakgrundsluft ska därför den nya metodiken ge mer korrekt representation av lufthalter.

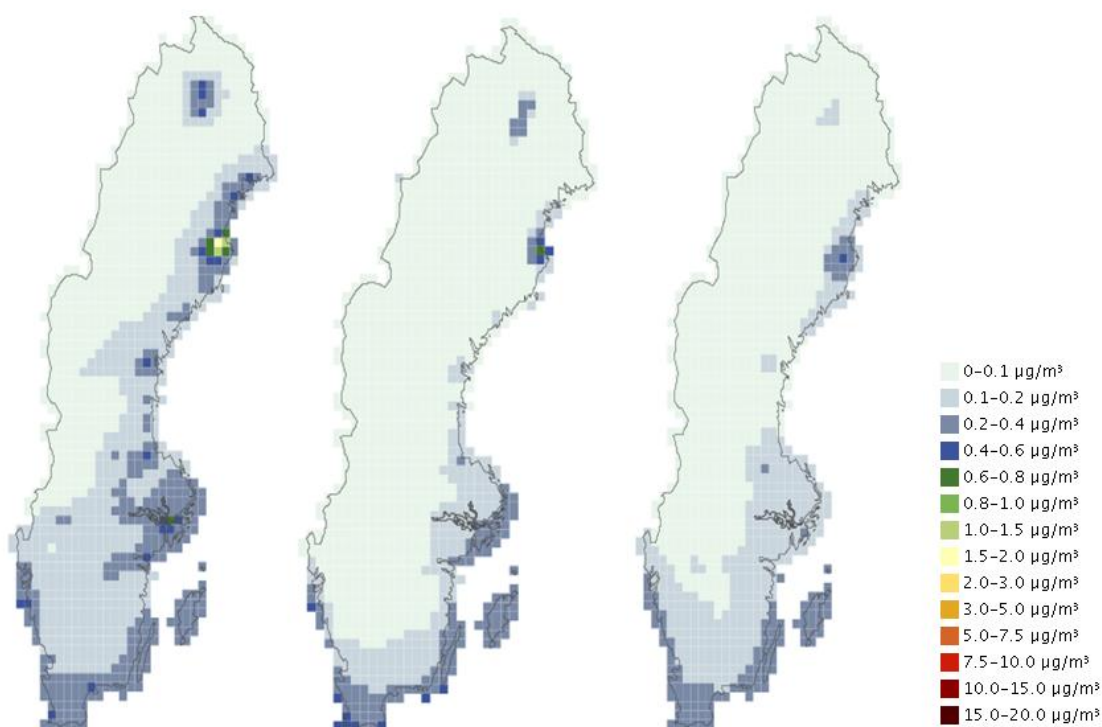
Förändringen mellan åren 2012 och 2013 (med ny metodik) är främst orsakad av meteorologisk variabilitet. Halten av kvävedioxid minskar till 2013 i hela landet, medan halten av reducerat kväve i luft ökar. Svaveldioxid ökar smått över land men minskar något nära kusten till 2013.



Figur 5. Halter i luft för kvävedioxid (som kväve), år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.



Figur 6. Halter i luft för reducerat kväve, år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.



Figur 7. Halter i luft för svaveldioxid (som svavel), år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

3.3 Deposition 2012-2013

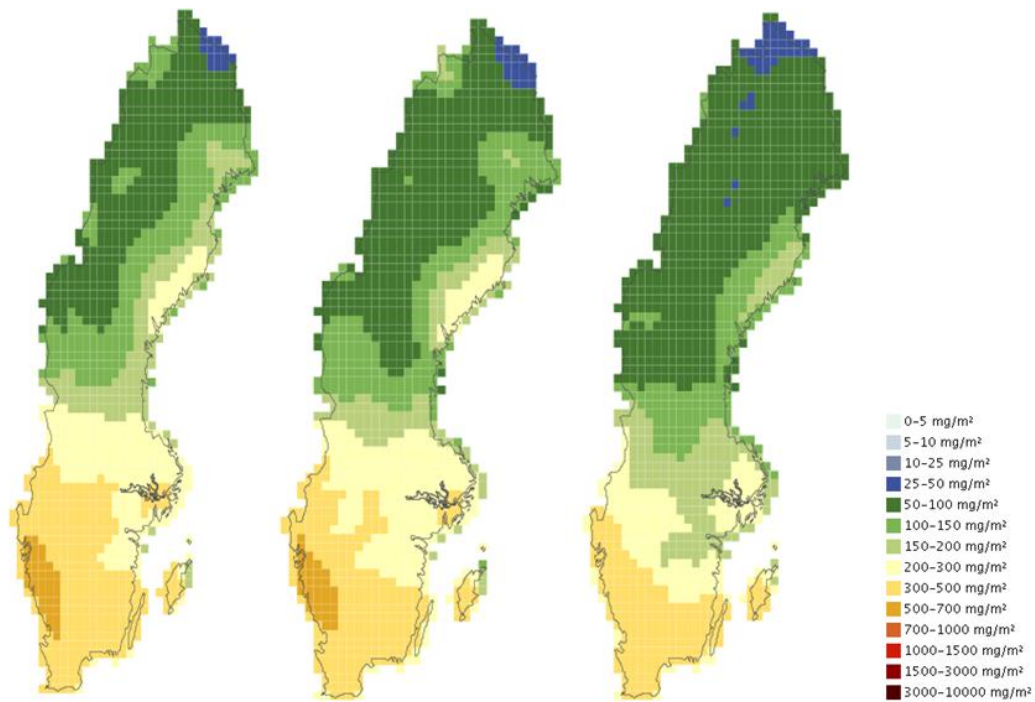
Figur 8 till Figur 22 visar deposition för åren 2012 med gammal och ny metodik samt 2013 med ny metodik. För oxiderat kväve, reducerat kväve och oxiderat svavel utan havssalt redovisas totaldeposition, våtdeposition och torrdeposition till blandad markanvändning. För oxiderat svavel inklusive havssalt presenteras våtdeposition och totaldeposition. Då det gäller baskatjonerna kalcium, kalium, natrium och magnesium finns endast våtdepositionsberäkningar, eftersom torrdepositionsberäkningar av dessa inte ingår i MATCH Sverigesystemets miljöövervakning.

På webbsidan <http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi> finns också kartor på torrdeposition uppdelad på de olika marktyperna åkermark, löv- och granskog samt till vatten. Även Sveriges bidrag till den totala depositionen redovisas. För baskatjoner finns våtdeposition av baskatjoner inklusive och exklusive havssalt presenterade på webben.

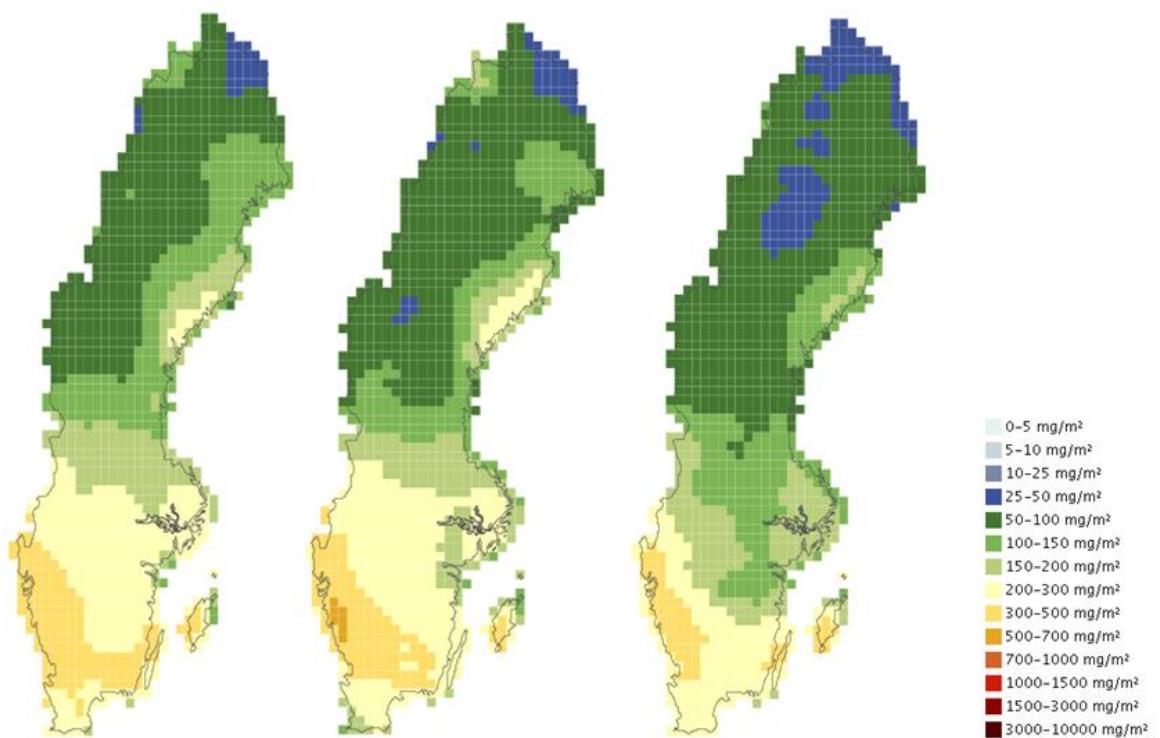
3.3.1 Deposition av oxiderat kväve

Figur 8 till Figur 10 visar total-, våt- och torrdeposition av oxiderat kväve för år 2012 med gammal och ny metodik och år 2013 med ny metodik. Skillnaden mellan gammal och ny metodik är inte så stor för 2012 för våtdeposition, medan torrdepositionen minskar något i södra och mellersta Sverige med den nya metodiken. Minskningen i torrdeposition orsakas av de lägre lufthalterna av oxiderat kväve som erhålls i den nya metodiken. För våtdeposition är förändringen i metodik inte lika viktig för oxiderat kväve. Bidragande orsak kan vara skillnaden i tidsupplösning i assimilationen, där lufthalter (torrdeposition) assimileras med dygnsupplösning, medan halt i nederbörd (våtdeposition) assimileras med månadsupplösning.

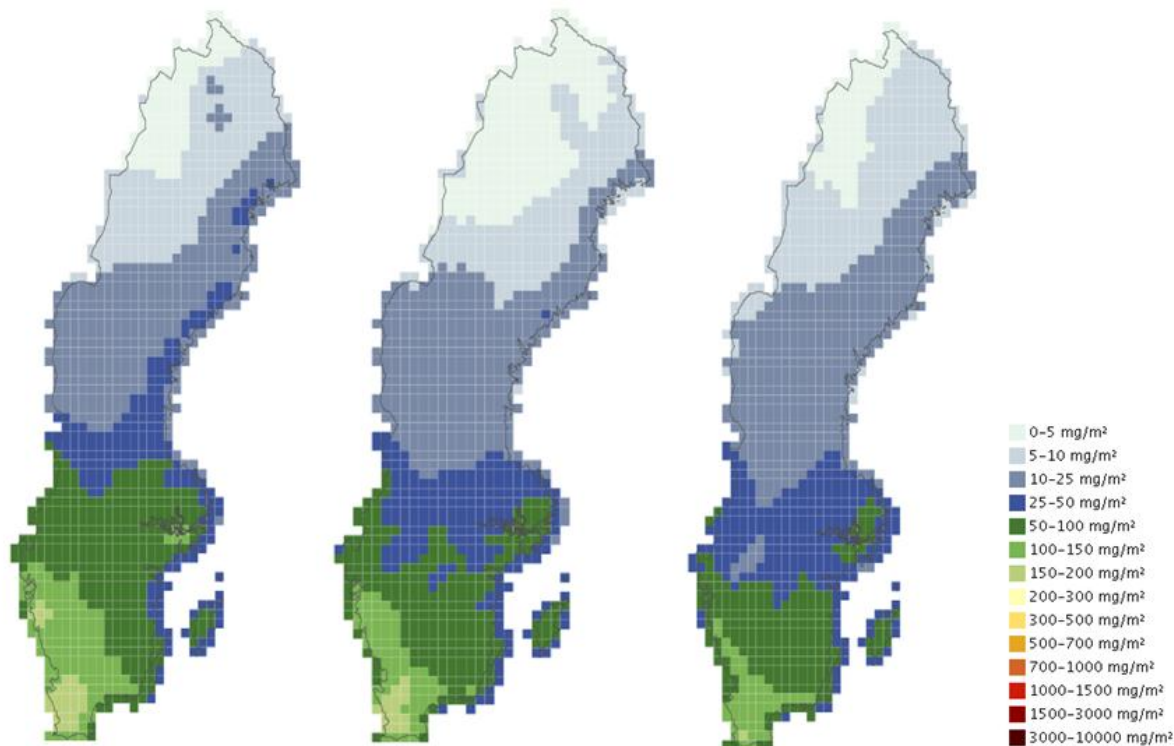
Vid jämförelse av våtdepositionen mellan 2012 och 2013 ser vi högre våtdeposition för 2012 i hela landet. Detta är en kombination av högre koncentration av oxiderat kväve i nederbörd under 2012 och att 2012 var ett mycket blött år. Den högre våtdepositionen leder till högre totaldeposition för 2012 än 2013 av oxiderat kväve.



Figur 8. Totaldeposition för oxiderat kväve för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.



Figur 9. Våtdeposition för oxiderat kväve för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

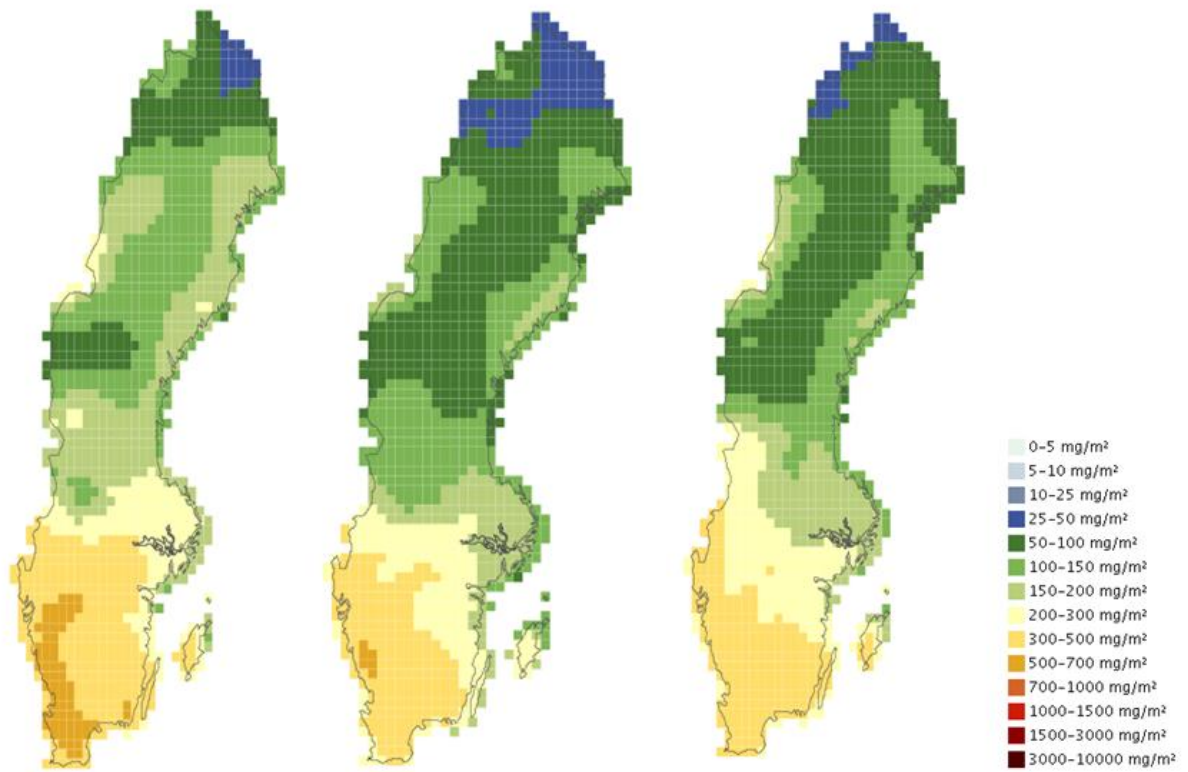


Figur 10. Torrdeposition för oxiderat kväve för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

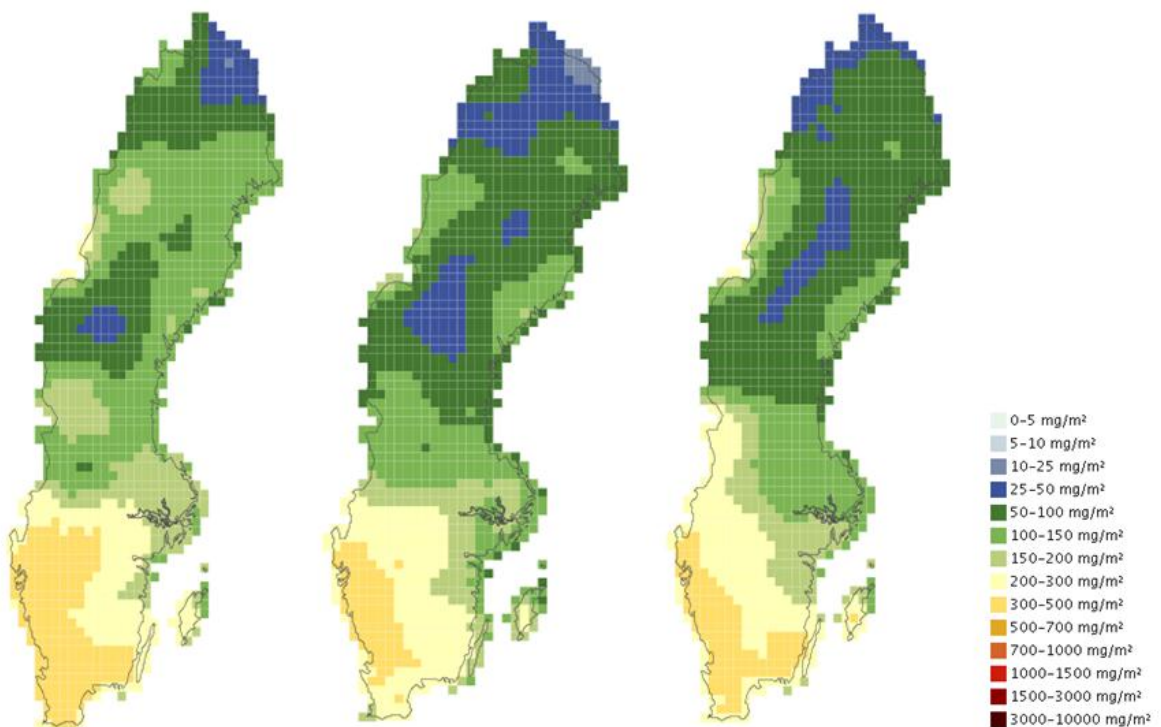
3.3.2 Deposition av reducerat kväve

Figur 11 till Figur 13 visar total-, våt- och torrdeposition av reducerat kväve för år 2012 med gammal och ny metodik och år 2013 med ny metodik. För 2012 ser vi en markant minskning av både våt- och torrdeposition (och därmed även totaldeposition) över hela Sverige med nya metodiken. Minskningen i torrdeposition från gammal till ny metodik orsakas av de lägre lufthalterna som erhålls i den nya metodiken, precis som för oxiderat kväve och svavel.

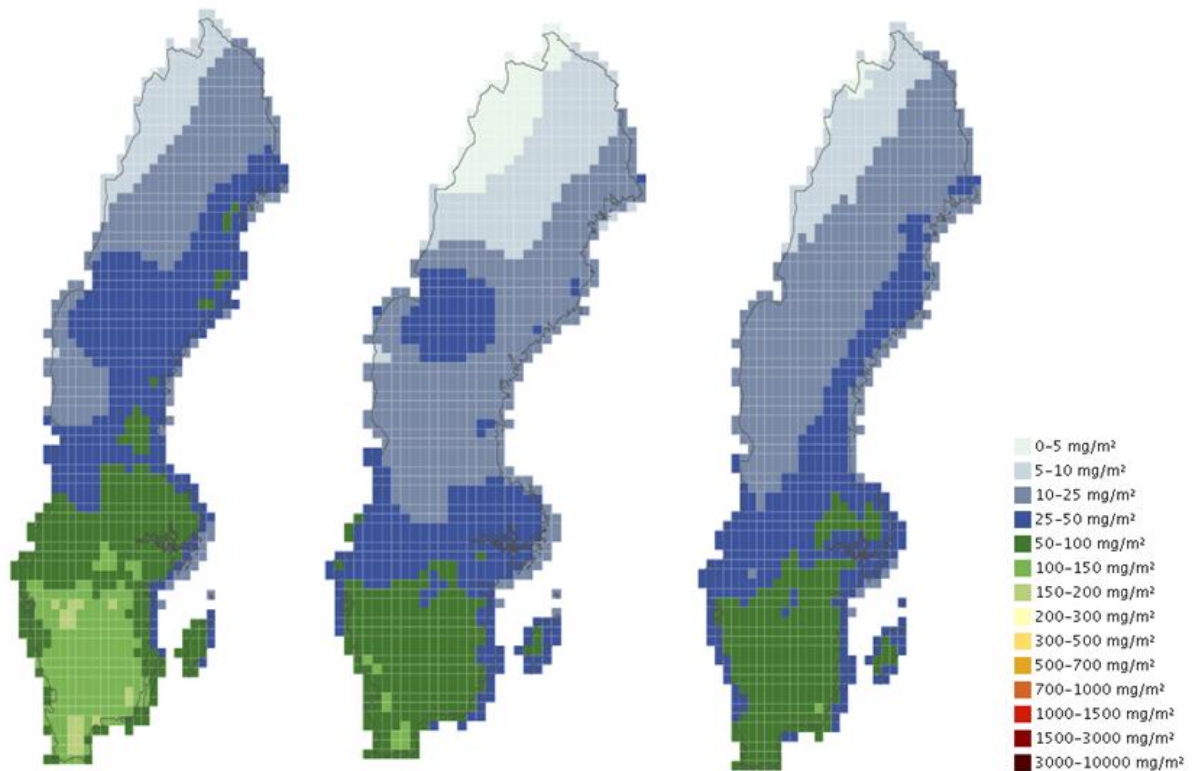
Vid jämförelse av våtdepositionen mellan 2012 och 2013 ser vi något lägre våtdeposition för 2012 i södra Sverige samt i nordligaste Norrland, trots större nederbörd under 2012. Orsaken är en högre halt i nederbörd av reducerat kväve år 2013.



Figur 11. Totaldeposition för reducerat kväve för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.



Figur 12. Våtdeposition för reducerat kväve för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

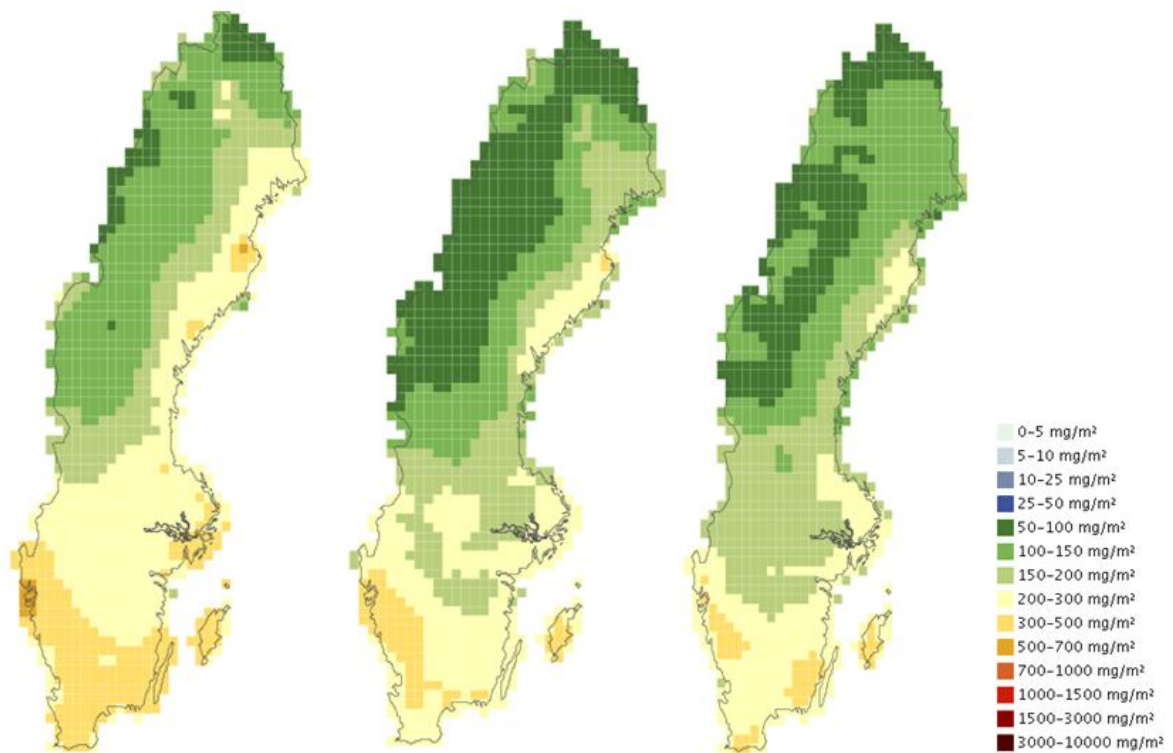


Figur 13. Torrdeposition för reducerat kväve för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

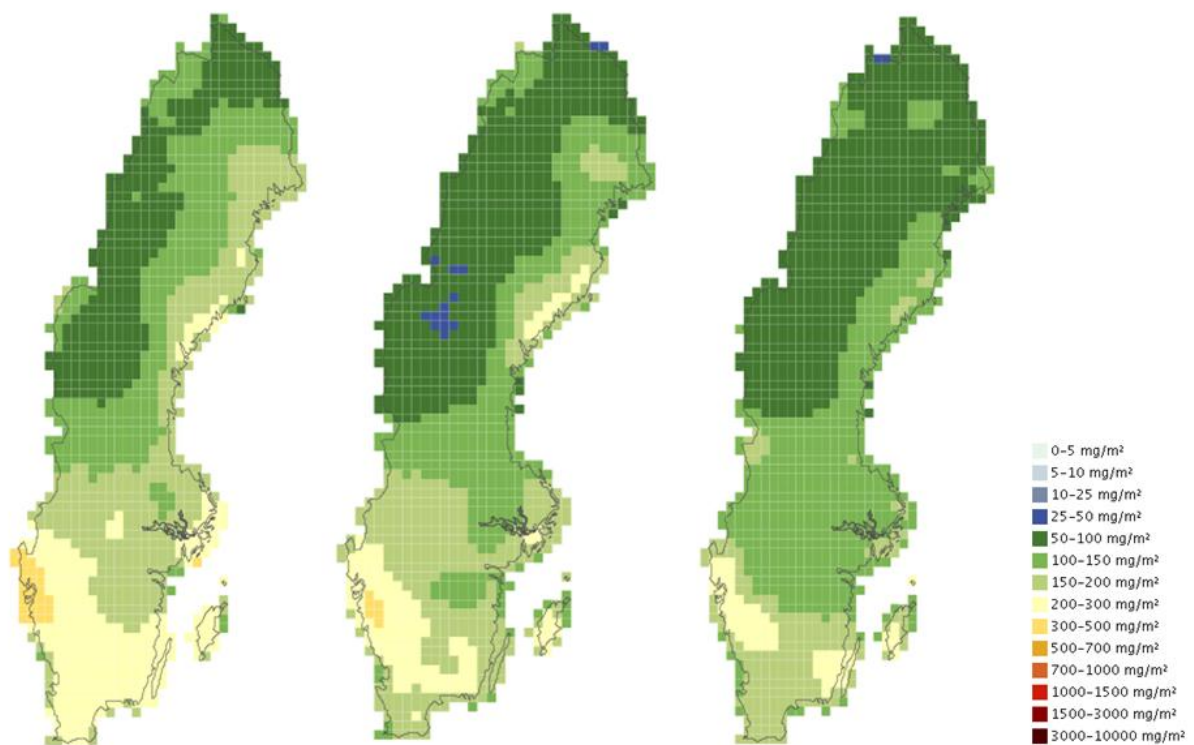
3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan havssalt

Total-, våt- och torrdeposition av oxiderat svavel utan havssaltbidrag visas för år 2012 med gammal och ny metodik och år 2013 med ny metodik i Figur 14 till Figur 16. För 2012 ser vi en markant minskning av både våt- och torrdeposition (och därmed även totaldeposition) över hela Sverige med nya metodiken. Även här orsakas förändringen i torrdeposition av minskningen av luftthalt med nya metodiken.

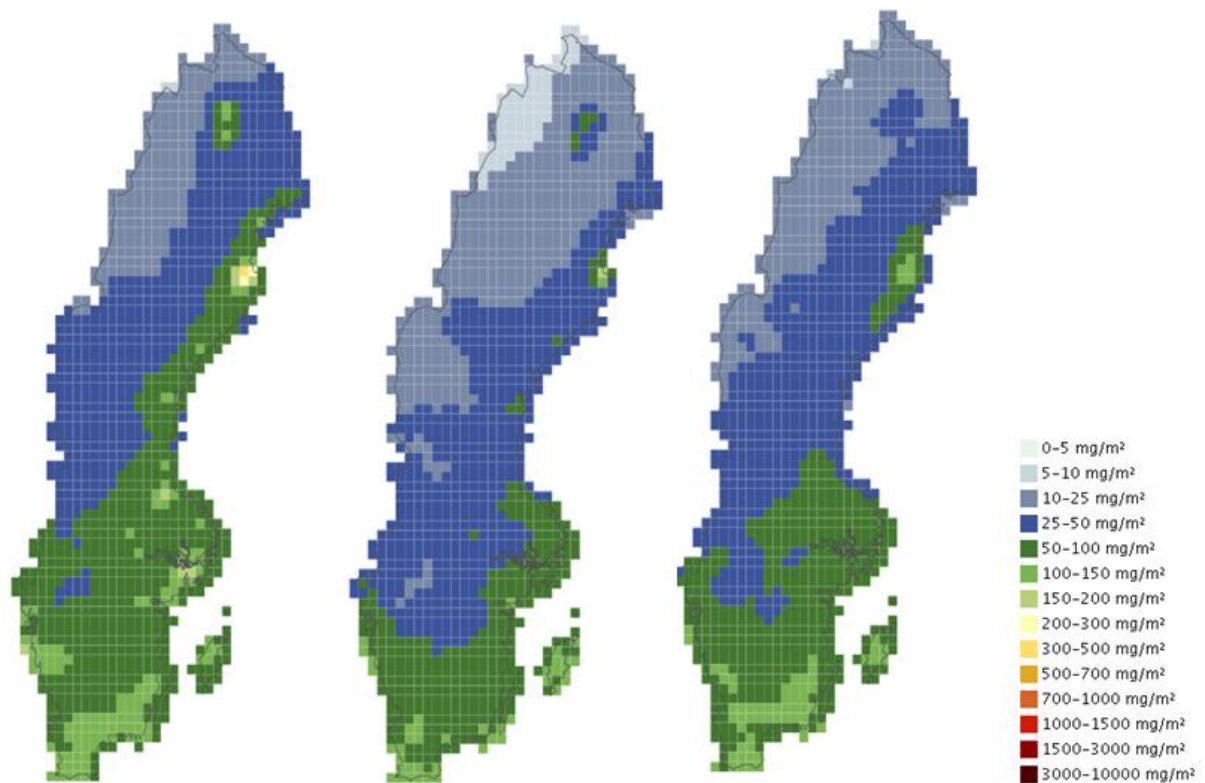
Vid jämförelse av våtdepositionen mellan 2012 och 2013 ser vi en högre våtdeposition för 2012 i nästan hela landet framför allt orsakad av den högre nederbörden det året, framförallt i södra Sverige. Torrdepositionen är däremot något högre i södra Sverige år 2013. Detta leder till relativt lika totaldepositioner år 2012 och 2013.



Figur 14. Totaldeposition för oxiderat svavel utan havssalt för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.



Figur 15. Våtdeposition för oxiderat svavel utan havssalt för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

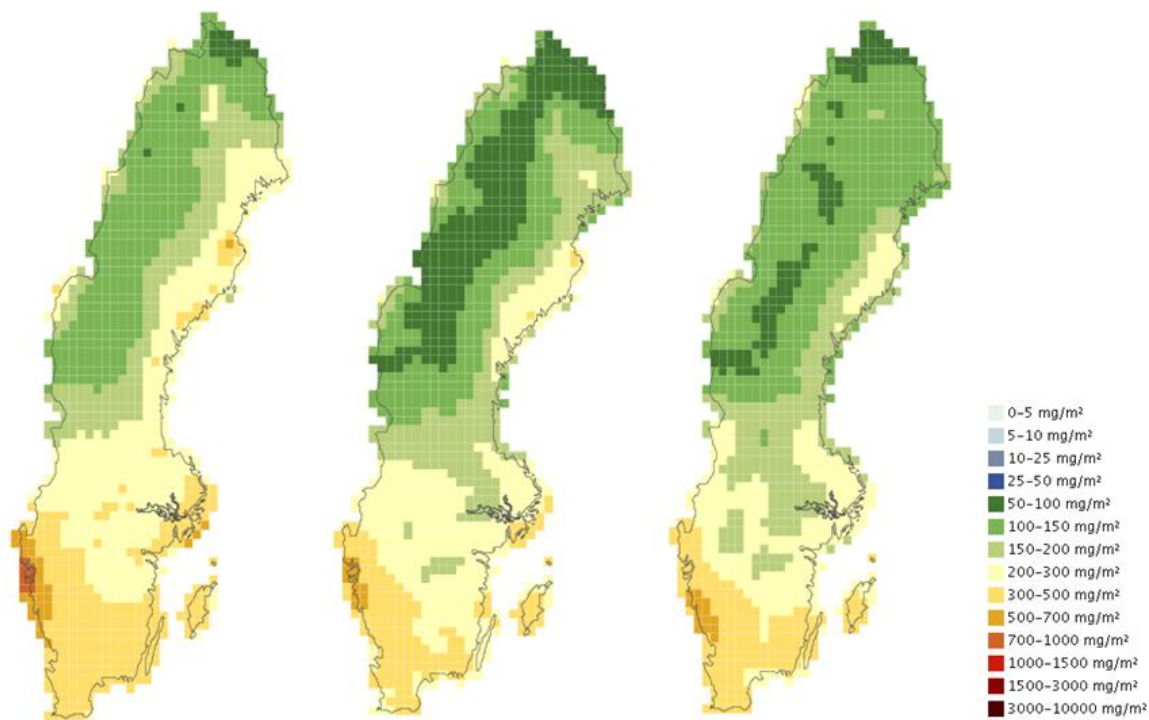


Figur 16. Torrdeposition för oxiderat svavel utan havssalt för år 2012 med gammal metodik (vänster), samt 2012 (mitten) och 2013 (höger) med ny metodik.

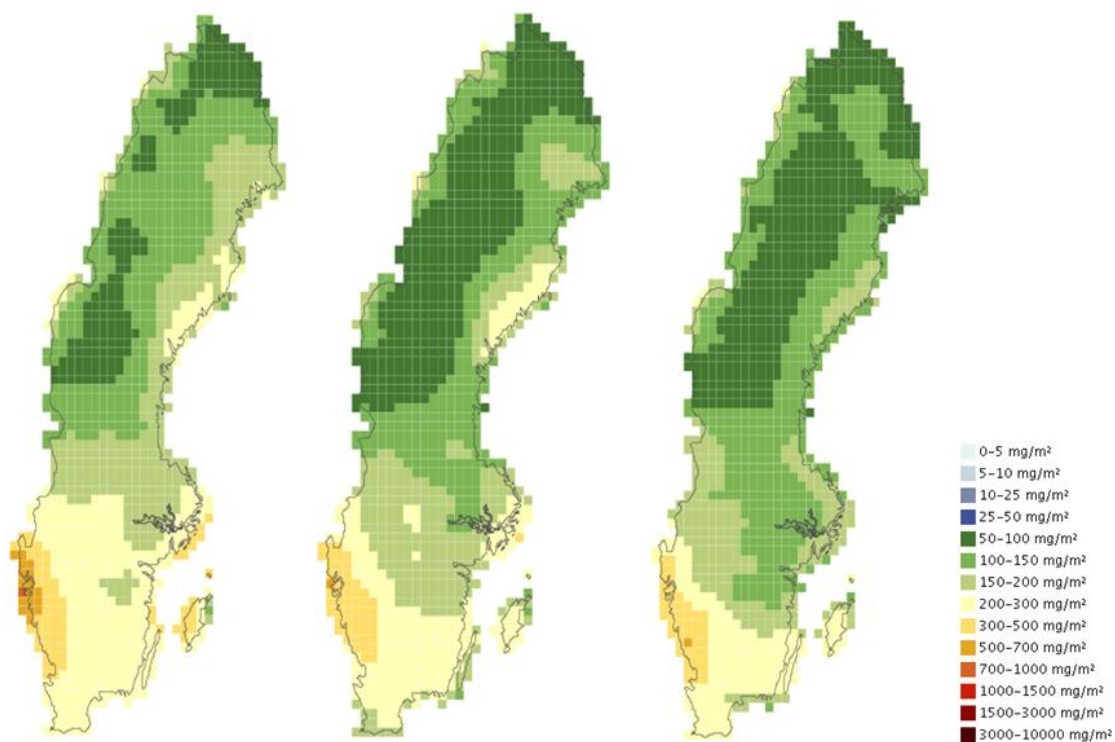
3.3.4 Deposition av oxiderat svavel

Total- och våtdeposition av oxiderat svavel inklusive havssaltbidrag visas för år 2012 med gammal och ny metodik och år 2013 med ny metodik i Figur 17 och Figur 18. För 2012 ser vi precis som för oxiderat svavel utan havssalt en minskning av både våt- och torrdeposition (och därmed även totaldeposition) över hela Sverige med nya metodiken.

Vid jämförelse av våtdepositionen mellan 2012 och 2013 ser vi att våtdepositionen är något högre 2012 på vissa platser, men allmänt är det relativt liten skillnad mellan åren. Detta orsakas av den högre våtdepositionen av svavel 2012 och att även havssaltsbidraget är något högre 2012 än 2013, utom allra längst västerut (se stycke 3.3.5). Totaldepositionen är i Norrlands inland något högre 2013 än 2012, i övrigt är skillnaderna små på samma sätt som för svaveldepositionen utan havssalt.



Figur 17. Totaldeposition för oxiderat svavel för åren 2012, 2012 med ny metodik samt 2013.



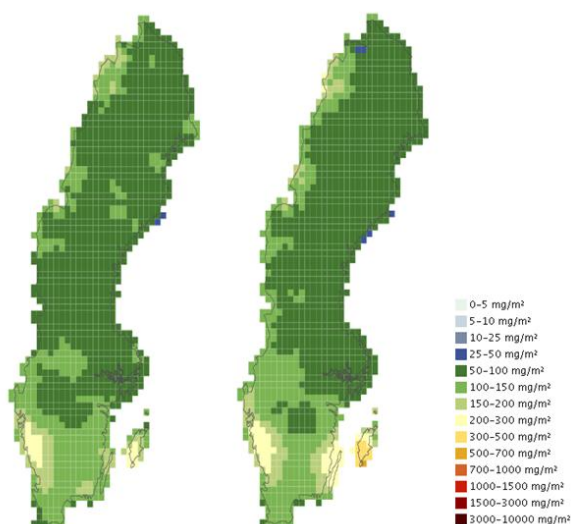
Figur 18. Våtdeposition för oxiderat svavel för åren 2012, 2012 med ny metodik samt 2013.

3.3.5 Våtdeposition av baskatjoner

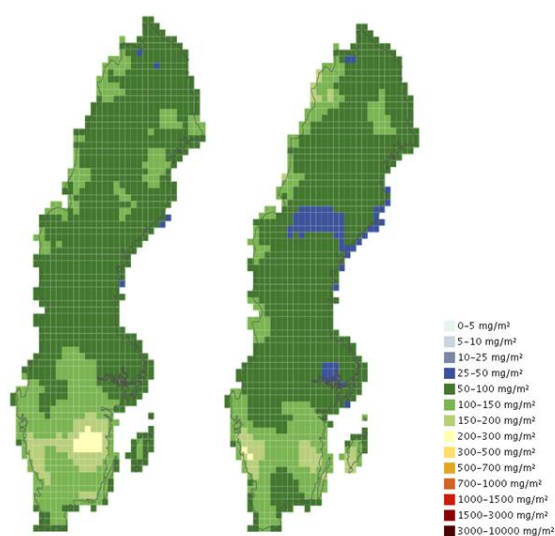
I Figur 19 till Figur 22 visas våtdepositionen av baskatjonerna kalcium, kalium, magnesium och natrium inklusive havssaltbidrag. Metodiken för att ta fram dessa depositionsfall har inte ändrats men modellkoden har kvalitetsgranskats och förbättrats, vilket medför att 2012 och 2013 inte är helt jämförbara.

På webben presenteras våtdeposition av baskatjoner med och utan havssaltbidrag. 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 figurerna nedan. Det är väntat eftersom de västliga vindarna från havet tar med sig havssaltet in över land. Våtdepositionen av natrium är helt orsakad av havssaltsemissioner.

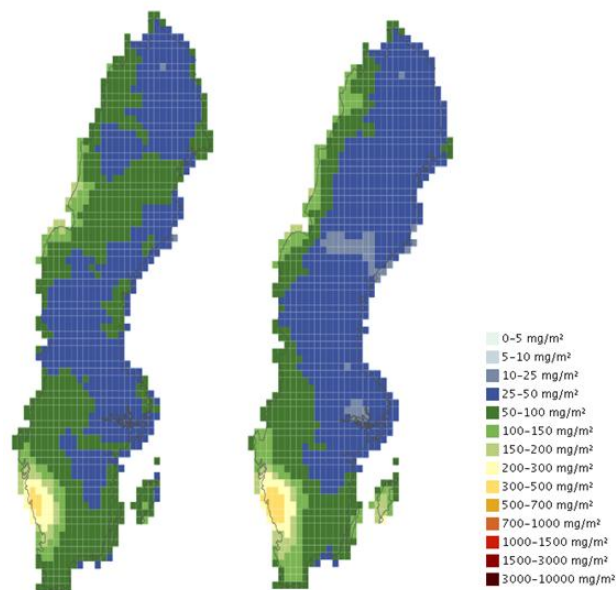
För natrium och kalium är det mer våtdeposition 2012 än 2013, förutom på västkusten. Natrium visar på havssaltbidraget, medan övriga komponenter även påverkas av andra källor. För kalcium är våtdepositionen något högre under 2013 än 2012, för magnesium är det mer 2012 förutom på västkusten.



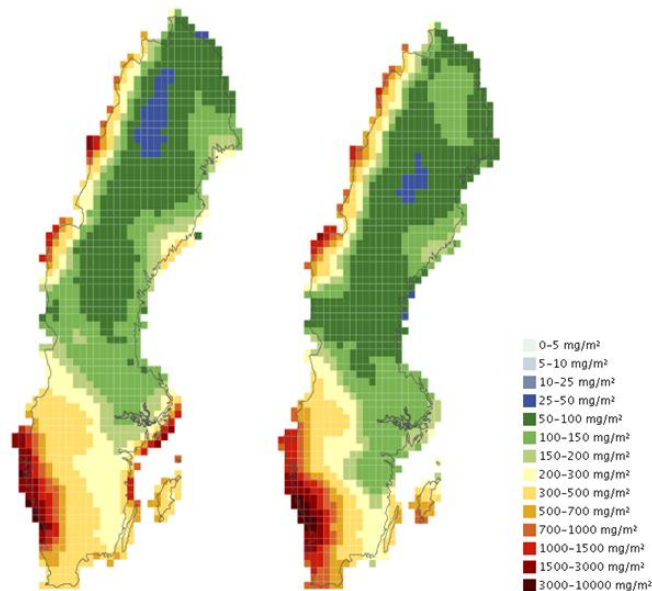
Figur 19. Våtdeposition av kalcium år 2012 och 2013.



Figur 20. Våtdeposition av kalium år 2012 och 2013.



Figur 21. Våtdeposition av magnesium år 2012 och 2013.

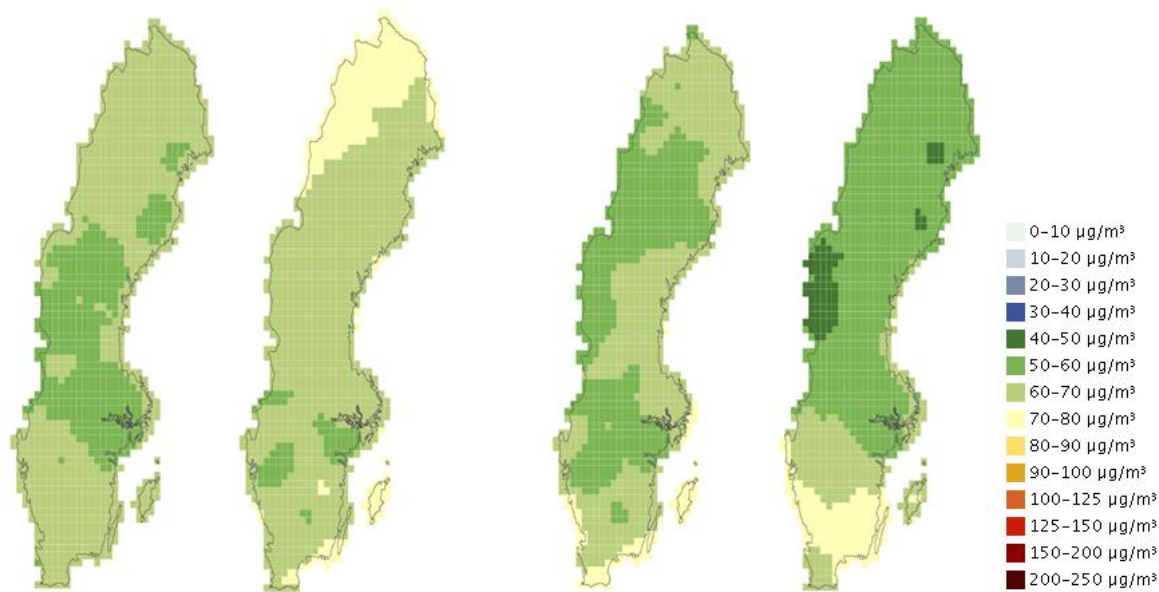


Figur 22. Våtdeposition av natrium år 2012 och 2013.

3.3.6 Marknära ozon

Från och med 2013 presenteras mått på halter i luft av marknära ozon inom MATCH Sverige-systemet. Inom utvecklingsprojektet har resultat för 2012 tagits fram, och dessa två år presenteras i Figur 23 till Figur 28. Årsmedelvärdet av halt i luft av marknära ozon visar att 2013 hade högre halter än 2012 i stora delar av landet. Sommarmedelvärdet är högre i södra Sverige år 2013 och lägre i resten av landet.

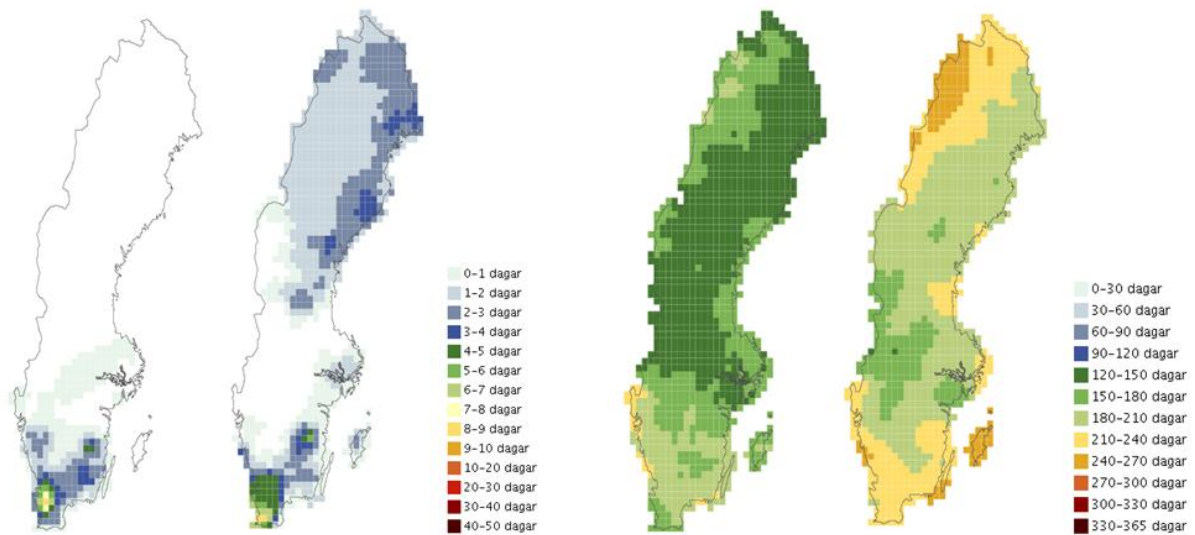
Entimmesmaximum och flytande åttatimmarsmaximum visar högre maxvärden i stora delar av Norrland år 2013. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överskrider 120 respektive 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ visas i Figur 25. Även här ser vi effekten av högre ozonhalt detta år, för det högre tröskelvärdet mest markant i Norrland, år 2013, och i hela landet för det lägre. Liknande mönster fångas i Figur 26 som visar antal timmar då halt i luft av marknära ozon överstiger 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Den högre halten 2013 får även effekt på AOT40 i Figur 27 för effekt på grödor och skog, samt på hälsoeffektmättet SOMO35 i Figur 28, som alla är markant högre 2013 i hela landet.



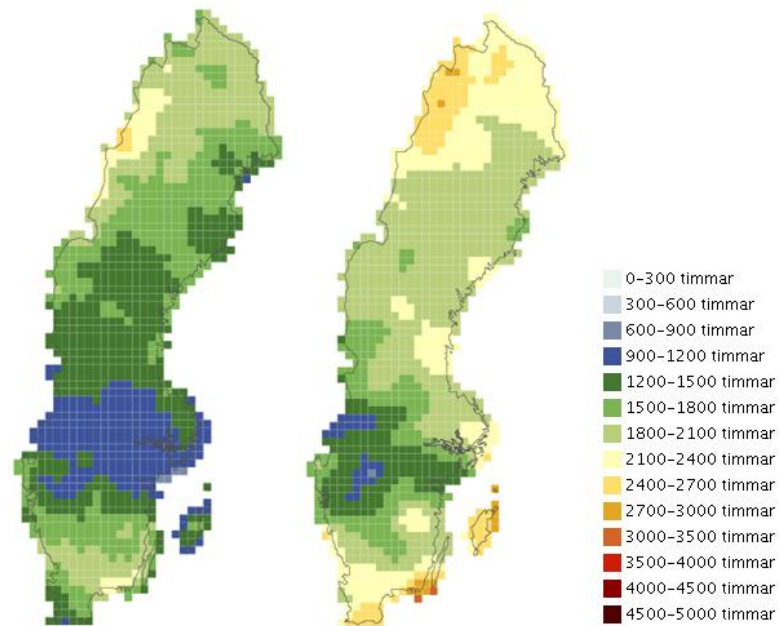
Figur 23. Årsmedelvärde år 2012 och 2013 samt somarmedelvärde år 2012 och 2013 av halt i luft av marknära ozon.



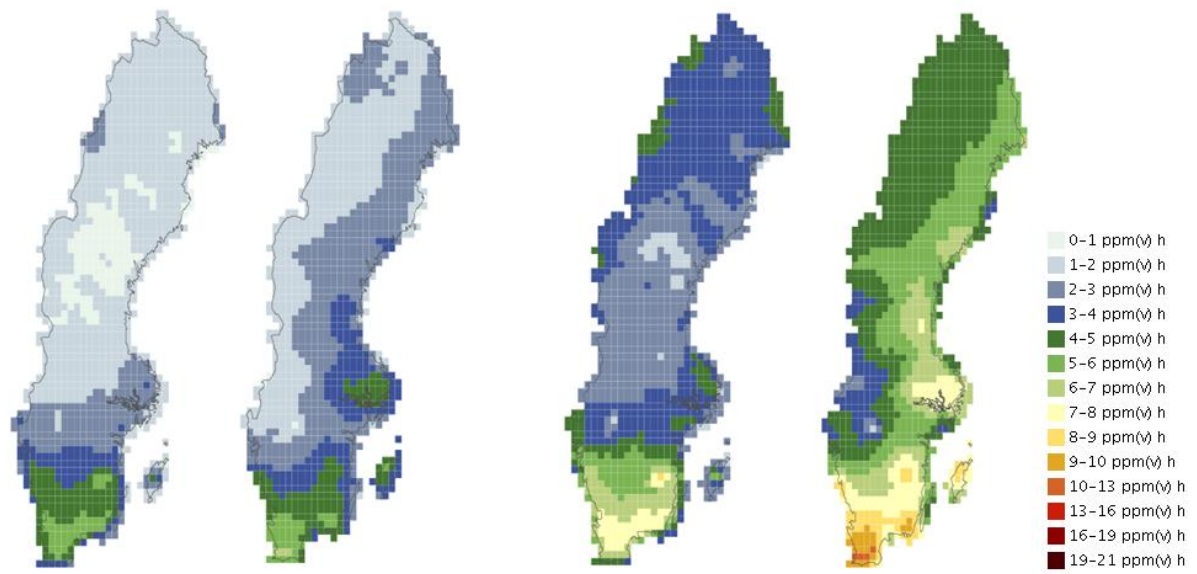
Figur 24. Entimmes maximum år 2012 och 2013 samt flytande åttatimmarsmaximum år 2012 och 2013 för halt i luft av marknära ozon.



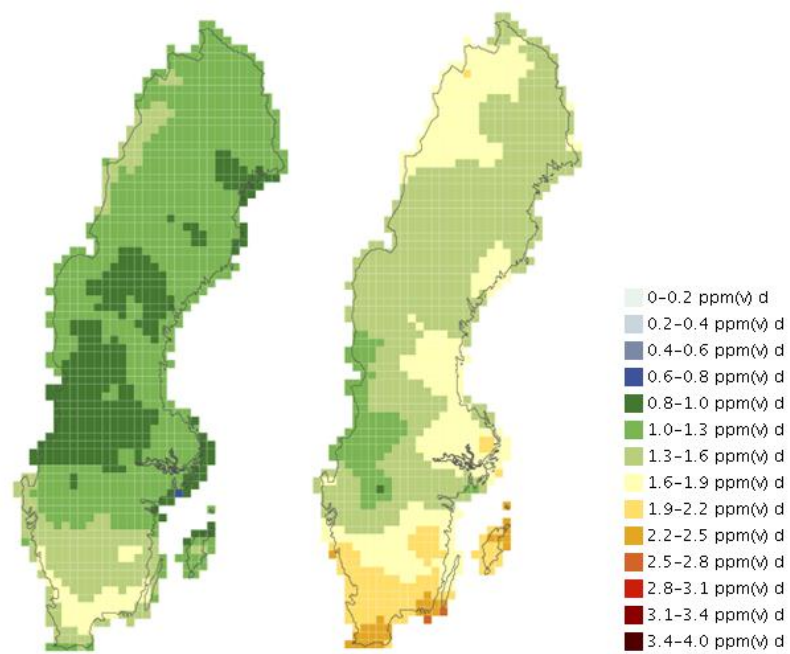
Figur 25. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2012 och 2013 samt antal dagar då halten överstiger $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2012 och 2013.



Figur 26. Antal timmar då halt i luft av marknära ozon överstiger $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2012 och 2013.



Figur 27. AOT40 för grödor år 2012 och 2013 samt AOT40 för skog år 2012 och 2013.



Figur 28. SOMO35 för år 2012 och 2013.

4 Utvärdering av modellsystemet och diskussion av felkällor

Metodiker där mätdata kombineras med modeller på det sätt som görs i MATCH Sverige-systemet 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 ska 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 MATCH Sverige-systemet är emissionsdata från SMED, ShipAir och EMEP, meteorologiska data, markanvändningsdata samt mätdata från IVL och NILU.

Dataassimilationen som görs inom MATCH Sverige-systemet 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 MATCH Sverige-systemet.

4.1 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 nederbörds mängder med hänsyn till vindförluster samt avdunstning från mätkärlen, samt med hänsyn till topografiska effekter, d.v.s. större nederbörds mängder över 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 till stor del beror på vindhastighetens noggrannhet. 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 nederbörds mängder över Sverige. På sommaren är denna mer småskalig och bidrar därför till större osäkerheter än vintertid. Vidare har kartläggningen av såväl nederbörds mängder 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.

4.2 Modeller

MATCH Sverige-systemet 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.

MATCH Sverige-systemet har förbättrats och utvecklats i olika steg, dels mellan åren 2004 och 2005 och dels mellan åren 2012 och 2013. Före 2005 användes inte MATCH Europa som bakgrunds fält utan man använde sig av en enklare variant av dataassimilation. En metodikförändring gjordes år 2013, som redogörs för i denna rapport samt i Andersson et al. 2014. Trendstudier bör därför göras med försiktighet. Även om kvaliteten på resultaten kan anses jämförbar så vore trender med en konsistent metodik önskvärd. En återanalys av marknära ozon håller på att genomföras under 2015, vilket kommer att ge ett långt dataset av assimilerat marknära ozon att jämföra den årliga kartläggningen med.

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

Som nämndes i tidigare (avsnitt 2.5) 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.

4.3 Emissionsdata

Som nämndes tidigare så har emissionsdata från SMED ett års eftersläpning eftersom data inte levereras innan Sverigemodellen körs, men skillnaderna i utsläpp mellan två närliggande år är väldigt liten, så detta påverkar inte kvaliteten på resultaten. Då det gäller EMEPs emissionsdata påverkar de total- och långdistansbidrag i Sverige. Emissionsförändringar i Europa från år till år är relativt små, varför emissionerna är av mindre betydelse än vad t.ex. väderdata för år-till-år variationen. Däremot förändras emissionerna fortare över längre tid än vädret, och emissionsförändringar har stor påverkan när man studerar trender. Osäkerheter i emissionsdata är den enskilt största felkällan i modellering, men med dataassimilationstekniken förbättras resultaten vilket gör resultaten mindre känsliga för sådana fel.

4.4 Mätdata

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), Persson och Magnusson (2003) och Hellsten et. al (2010).

Vid användandet av MATCH Sverige-systemet 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 nederbördkemiska 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 visare 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.

5 Referenser

- Andersson, C., Södergren H. och Torstensson M., 2014. "Metodförändringar och utvärdering av MATCH-Sverigesystemet". SMHI Meteorologi rapport nr 2014-16.
- Chamberlain, A. C. och Chadwick, R. C., 1965. "Transport of iodine from atmosphere to ground". *Tellus*, 18, 226-237.
- Foltescu, V. L., Pryor, S. C., and Bennet, C., 2005 "Seasalt generation, dispersion and removal on the regional scale". *Atmos. Environ.* 39, 2123-2133.
- 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.
- Klein, T., Bergström, R., och Persson, C., 2002. "Parametrization of dry deposition in MATCH". SMHI Rapport Meteorologi nr 100.
- 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.
- Persson, C., Langner, J. och Robertson, L., 1995. "Regional spridningsmodell för Sverige. Regional luftmiljöanalys för år 1991". Naturvårdsverket Rapport 4386.
- Persson, C., 2002. "Kvaliteten hos nederbördskemiska mätdata som dataassimileras i MATCH-Sverige modellen". SMHI Rapport Meteorologi nr 105.
- Persson, C. och Magnusson, M., 2003. "Kvaliteten i uppmätta nederbördsmängder inom Svenska nederbördskemiska stationsnätet". SMHI Rapport Meteorologi nr 108.
- Persson, C., Ferm, M. och Westling, O., 2004. "Förbättrad mätning och beräkning av belastningen av försurande och övergödande luftföroreningar". Rapport nr. 2004-62.
- Persson, C., Ressner, E. och Klein, T., 2004. "Nationell miljöövervakning- MATCH-Sverige modellen". SMHI Meteorologi rapport nr 113.
- Persson, C., Jansson A. och Andersson, C., 2009. "MESAN-data för Miljöövervakningen. Förstudie". SMHI Rapport nr 31.
- Robertsson, L., Langner, J. och Engardt, M., 1999. "An Eulerian limited-area atmospheric transport model". *J. Appl. Meteor.*, 38, 190-120.
- Södergren H., Holmin-Fridell S., Andersson C. och Persson C., 2013. "Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverige systemet – metodik och resultat för åren 1998-2011". SMHI Meteorologi rapport nr 2013-35.

Bilaga - Publicerat material för MATCH-modellen

Expertgranskade artiklar:

2015

Andersson, C., Bergström, R., Bennet, C., Robertson, L., Thomas, M., Korhonen, H., Lehtinen, K.E.J., and Kokkola, H. 2015. MATCH-SALSA – Multi-scale Atmospheric Transport and CHEMISTRY model coupled to the SALSA aerosol microphysics model – Part 1: Model description and evaluation. *Geosci. Model Dev.*, 8, 171–189. doi:10.5194/gmd-8-171-2015

Thomas, M.A., Kahnert, M., Andersson, C., Kokkola, H., Hansson, U., Jones, C., Langner, J. and Devasthale, A. 2015. Development of prognostic aerosol–cloud interactions combining a chemistry transport model and a regional climate model. *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 8, 897–933. doi:10.5194/gmdd-8-897-2015

2014

Arnold, S. R., Emmons, L. K., Monks, S. A., Law, K. S., Ridley, D. A., Turquety, S., Tilmes, S., Thomas, J. L., Bouarar, I., Flemming, J., Huijnen, V., Mao, J., Duncan, B. N., Steenrod, S., Yoshida, Y., Langner, J., and Long, Y. 2014. Biomass burning influence on high latitude tropospheric ozone and reactive nitrogen in summer 2008: a multi-model analysis based on POLMIP simulations, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 24573-24621, doi:10.5194/acpd-14-24573-2014

Klingberg, J., Engardt, M., Karlsson, P.E., Langner, J. and Pleijel, H. 2014. Declining ozone exposure of European vegetation under climate change and reduced precursor emissions. *Biogeosciences*. 11, 5269–5283. doi:10.5194/bg-11-5269-2014

Monks, S. A., Arnold, S. R., Emmons, L. K., Law, K. S., Turquety, S., Duncan, B. N., Flemming, J., Huijnen, V., Tilmes, S., Langner, J., Mao, J., Long, Y., Thomas, J. L., Steenrod, S. D., Raut, J. C., Wilson, C., Chipperfield, M. P., Schlager, H., and Ancellet, G. 2014. Multi-model study of chemical and physical controls on transport of anthropogenic and biomass burning pollution to the Arctic, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 25281-25350, doi:10.5194/acpd-14-25281-2014

Simpson, D., Andersson, C., Christensen, J.H., Engardt, M., Geels, C., Nyiri, A., Posch, M., Soares, J., Sofiev, M., Wind, P. and Langner, J. 2014. Impacts of climate and emission changes on nitrogen deposition in Europe: a multi-model study. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 6995-7017. doi:10.5194/acp-14-6995-2014

2013

Engardt, M. and Langner, J. 2013. Simulations of future sulphur and nitrogen deposition over Europe using meteorological data from three regional climate projections. *Tellus B* 65, 20348, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v65i0.20348> 2(20)

Gidhagen, L., Omstedt, G., Pershagen, G., Willers, S. and Bellander, T. 2013. High-resolution modeling of residential outdoor particulate levels in Sweden. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 23, 306–314. doi:10.1038/jes.2012.122

Orru, H., Andersson, C., Ebi, K.L., Langner, J., Åström, C. and Forsberg, B. 2013. Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe. *Eur. Respir. J.* 41, 285-294. DOI:10.1183/09031936.00210411

Pleijel, H., Klingberg, J., Pihl Karlsson, G., Engardt, M. and Karlsson P.E. 2013. Surface ozone in the marine environment - horizontal ozone concentration gradients in

coastal areas. *Water, Air, & Soil Pollution* 224, 1603. DOI 10.1007/s11270-013-1603-4

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.

Kuylenstierna, 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.

Bokkapitel:

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.

Tekniska rapporter:

2014

Karlsson, P.E., Danielsson, H., Pleijel, H., Engardt, M., Andersson, C. and Andersson, M., 2014. En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige. En uppdatering i samband av den fördjupade utvärderingen av miljö kvalitetsmålet Frisk Luft. IVL Rapport C 59, 68 pp. (In Swedish).

Karlsson, P.E., Engardt, M., Pleijel, H. and Langner, J. 2014. Utvecklingen vad gäller preciseringar för marknära ozon. Inför den fördjupade utvärderingen av miljömålet Frisk Luft. IVL Rapport C 63, 27 pp. (In Swedish).

2013

Andersson, C., Bergström, R., Bennet, C., Thomas, M., Robertson, L., Kokkola, H., Korhonen, H. and Lehtinen, K. 2013. MATCH-SALSA Multi-scale Atmospheric Transport and CHEMISTRY model coupled to the SALSA aerosol microphysics model. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, RMK No. 115, 102 pp.

Andersson, S. and Omstedt, G. 2013. Utvärdering av SIMAIR mot mätningar av PM10 och NO2 i Göteborg, Stockholm och Umeå för åren 2006-2009. Undersökning av en ny emissionsmodell för vägtrafikens slitagepartiklar. SMHI Meteorologi Nr 152, 51 pp. (In Swedish).

Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Ferm, M., Karlsson, P.E., Bennet, C., Granat, L., Kronnäs, V., von Brömssen, C., Engardt, M., Akselsson, C., Simpson, D., Hellsten, S. and Svensson, A. 2013. Trender i kvävenedfall över Sverige 1955-2011. IVL Rapport B 2119, 86 pp (In Swedish, abstract also in English).

Holmin Fridell, S., Jones, J., Bennet, C., Södergren, H., Kindell, S., Andersson, S., Torstensson, M. and Jakobsson, M. 2013. Luftkvaliteten i Sverige år 2030. SMHI Meteorologi Nr 155, 51 pp. (In Swedish).

Johansson, C., Törnqvist, L., Forsberg, B., Meister, K., Åström, C., Robertson, L., Engardt, M., Alm Kübler, K., Ekeboom, A. and Östensson, P. 2013. Kartbaserad prognosinformation till astmatiker och andra känsliga grupper om luftkvaliteten. SLB-analys, Environment and Health administration, SLB 3:2013, 20 pp. (In Swedish).

Pihl Karlsson, G., Karlsson P.E., Akselsson, C., Kronnäs, V. and Hellsten, S. 2013. Krondroppsnätets övervakning av luftföroreningar i Sverige – mätningar och modellering. Resultat t.o.m. september 2012. IVL rapport B 2095, 50 pp. (In Swedish).

Sjöberg, K., Pihl Karlsson, G., Svensson, A., Wängberg, I., Brorström-Lundén, E., Hansson, K., Potter, A., Rehngren, E., Sjöblom, A., Areskoug, H., Kreuger, J., Södergren, H., Andersson, C., Holmin-Fridell, S. och Andersson, S. 2013. Nationell Miljöövervakning – Luft. Data t.o.m. 2011. IVL Rapport B 2109, 123 pp (In Swedish).

von Schoenberg, P. and Thaning, L. 2013. Våtdeposition av radioaktiva partiklar. FOI-R—3818—SE. ISSN 1650-1942. 31 pp (In Swedish, with Summary in English).

2012

Omstedt, G., Andersson, S., Asker, C., Jones, J., Kindell, S., Segersson, D. and Torstensson, M. 2012. Luftkvaliteten i Sverige år 2020. Uppföljning av miljö kvalitetsmålet Frisk

luft för trafikmiljöer i svenska tätorter. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI Meteorologi Nr 150, 86 pp. (In Swedish).

Segersson, D., Asker, C., Engardt, M. and Holmin-Fridell, S. 2012. Sjöfartens påverkan på luftmiljön i Göteborg. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI Rapport 2012 Nr 19, 31 pp. (In Swedish).

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 framtidsscenarioer 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 luftdiaktiv.* 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

- Nettelblatt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A. and Hellsten, S. 2006. *Luftföroreningar i skogliga provtytor – 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/MS-CW 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.trumpf.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 nederbörskemi 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 nederbörskemi 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 Skåne regionen. 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. *Tjernobylolyckan. En meteorologisk analys av hur radioaktivitet sprids till Sverige.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **METEOROLOGI No. 24**, 45 pp. (In Swedish).

Utvalda konferensbidrag och rapporter:

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., Matthijssen, 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

Examensarbeten:

- 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 University).

Denna sida är avsiktligt blank

Denna sida är avsiktligt blank

SMHI

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