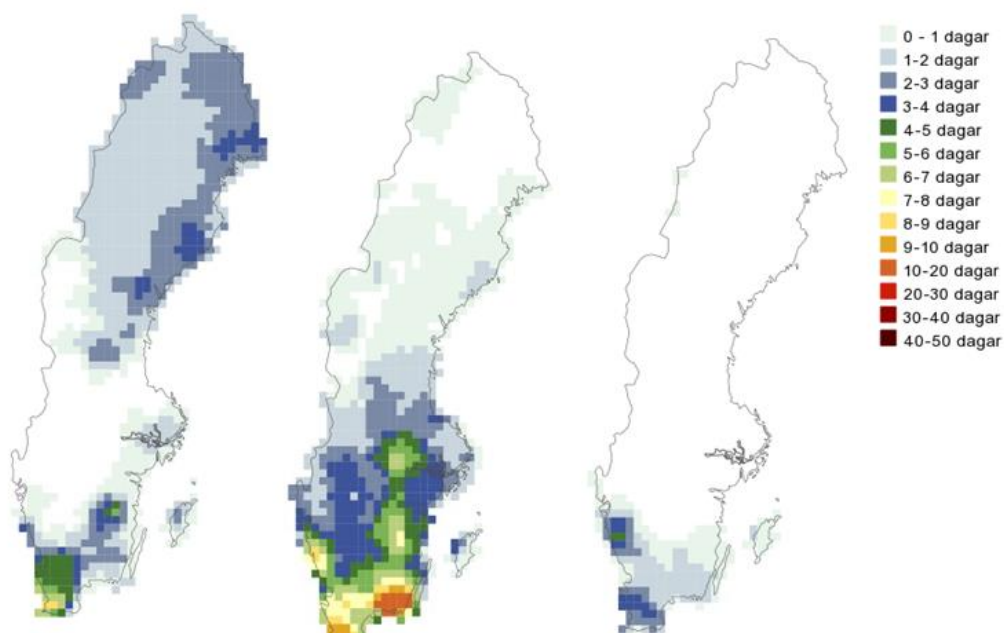


Helene Alpfjord och Camilla Andersson

Nr 2017/15

Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet

- utvärdering och resultat för åren 2013-2015



Bilden föreställer antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



NATIONELL
MILJÖÖVERVAKNING
PÅ UPPDRAG AV
NATURVÅRDSVERKET

ÄRENDENUMMER NV-01804-13
AVTALSNUMMER 2211-13-002
PROGRAMOMRÅDE LUFT
DELPROGRAM Spridningsberäkningar med
Sverigemodellen (MATCH-
Sverigemodellen)

Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet Utvärdering och resultat för åren 2013-2015

Rapportförfattare Heléne Alpfjord, SMHI Camilla Andersson, SMHI	Utgivare SMHI Postadress Folkborgsvägen 17, 601 76 Norrköping Telefon +46 (0)11 495 80 00
Rapporttitel och undertitel Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet Utvärdering och resultat för åren 2013-2015	Beställare Naturvårdsverket 106 48 Stockholm Finansiering Nationell Miljöövervakning
Nyckelord för plats Sverige	
Nyckelord för ämne Luftföroreningar, atmosfäriskt nedfall, svavel, kväve, marknära ozon	
Tidpunkt för insamling av underlagsdata 2013 – 2015	
Sammanfattning MATCH Sverigesystemet är ett operativt system inkluderande en atmosfärisk 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. Halter i luft och deposition till mark presenteras för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2013-2015. Ett antal statistiska mått för halter i luft av marknära ozon presenteras också. Nytt för det senaste verksamhetsåret är att resultat av måttet PODY för marknära ozon beräknas. Resultat finns tillgängliga från 2013 för POD1 för generisk lövskog och POD3 för generisk gröda. Den största depositionen sker generellt i de sydvästra delarna av Sverige, och minskar norrut, medan lägst deposition sker i Norrlands inland. För totaldepositionen av kväve och svavel beror variationen mellan de tre åren främst på meteorologisk variabilitet. Halten av marknära ozon var markant högre under 2014 än 2013 och 2015. Halten av svaveldioxid var under ett par dagar år 2014 mycket höga på grund av ett vulkanutbrott vid Bardarbunga/Holuhraun på Island. De höga halterna gav utslag även på årsmedlet.	

Sammanfattning

MATCH Sverigesystemet 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. Uppdraget omfattar spridningsmodellering baserad på emissionsdata från SMED (Svenska miljöemissionsdata) och detaljerade tredimensionella meteorologiska data med tre timmars tidsupplösning. Dessutom ingår, som en viktig del, dataassimilation av mätdata från svenska och norska EMEP-stationer (European Monitoring and Evaluation Programme), svenska LNKN (Luft- och Nederbördschemiska Nätet) samt ett par IM-stationer.

Halter i luft och deposition till mark presenteras här för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2013-2015. Sedan 2013 publiceras ett antal statistiska mått för marknära ozon. Det senaste tillskottet är måttet PODY för generisk lövskog och grödor.

Den största depositionen sker i de sydvästra delarna av Sverige, och minskar norrut, medan lägst deposition sker i Norrlands inland. Halten av marknära ozon var markant högre under 2014 än 2013 och 2015. För totaldepositionen av kväve och svavel var skillnaden mellan åren främst orsakade av meteorologisk variabilitet. Ett vulkanutbrott på Island, främst under 2014, orsakade höga svavelhalter under korta perioder även över Sverige.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	1
FÖRORD	1
1 INLEDNING	1
2 METODIK I MATCH SVERIGESYSTEMET	1
2.1 Skillnad mellan ny och gammal metodik.....	2
2.2 MATCH som bakgrundsfält i dataassimilation.....	3
2.3 Dataassimilation av halter i luft och nederbörd	4
2.4 Våtdepositionsberäkningar	4
2.5 Torrdepositionsberäkningar.....	4
2.6 Statistiska mått för marknära ozon.....	5
2.7 Emissionsdata.....	5
2.8 Svenska och norska mätstationer	6
3 RESULTAT	10
3.1 Väderåren 2013-2015.....	10
3.2 Luftkoncentration 2013-2015.....	11
3.3 Deposition 2013-2015.....	13
3.3.1 Deposition av oxiderat kväve	14
3.3.2 Deposition av reducerat kväve.....	16
3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan respektive med havssaltsvavel	18
3.3.4 Våtdeposition av baskatjoner.....	22
3.3.5 Marknära ozon	24
4 UTVÄRDERING AV MODELLSYSTEMET OCH DISKUSSION AV FELKÄLLOR 30	
4.1 Meteorologiska indata	30
4.2 Modeller	30
4.3 Emissionsdata.....	31
4.4 Mätdata	31
5 FRAMTIDA UTVECKLINGSMÖJLIGHETER OCH BEHOV	32
5.1 Mätdata	32
5.2 Modellerade resultat i e-rapportering till EU	32
5.3 Utveckling av MATCH Sverigesystemet	32
6 REFERENSER	33
BILAGA - PUBLICERAT MATERIAL FÖR MATCH-MODELLEN	34

Förord

Denna rapport presenterar resultat för åren 2013-2015. Studien har utförts och finansierats inom ramen för Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning. En separat studie och rapport har gjorts för implementationen av PODY under 2015-2016.

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 Europainivå och dels på nationell nivå. På nationell (svensk) nivå används en version speciellt anpassad för beräkningar baserade på bidrag från svenska emissioner. Därutöver utnyttjas meso-skalig, analyserad meteorologi.

Delprogrammet startade som ett forskningsprojekt med stöd från Naturvårdsverkets forskningskommitté för luft 1993-1994. MATCH Sverigesystemet 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 Sverigesystemet beskrivs utförligt, och Lövblad et al. (1991) där en studie av baskatjoner gjordes med MATCH Sverigesystemets metodik. I Södergren et al. (2013) beskrivs metodik och resultat för MATCH Sverigesystemet för åren 1998-2011 och i Andersson et al. (2014) samt Andersson och Alpfjord (2015) redogörs för den senaste metodikförändringen. Implementationen av PODY redovisas i Engardt et al. (2016). Denna rapport redovisar resultat för åren 2013-2015, inklusive PODY.

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 Sverigesystemet. 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 1998-2015 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, 1998-2015. Vidare så redovisas svavel och baskatjoner exklusive såväl som inklusive havssalt för nedfall med nederbörd. Ett antal mått för marknära ozon publiceras på webben från och med 2013, numera inklusive PODY.

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 Sverigesystemet

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 bakgrundsfälten. 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 Sverigesystemet förutsätter vi att mätdata håller hög kvalitet jämfört med bakgrundsfälten, och förändrar därför snarare bakgrundsfälten än observationsdata under dataassimilationsalgoritmen.

2.1 Skillnad mellan ny och gammal metodik

Förändringen till den nya metodiken som implementerades för år 2013 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).

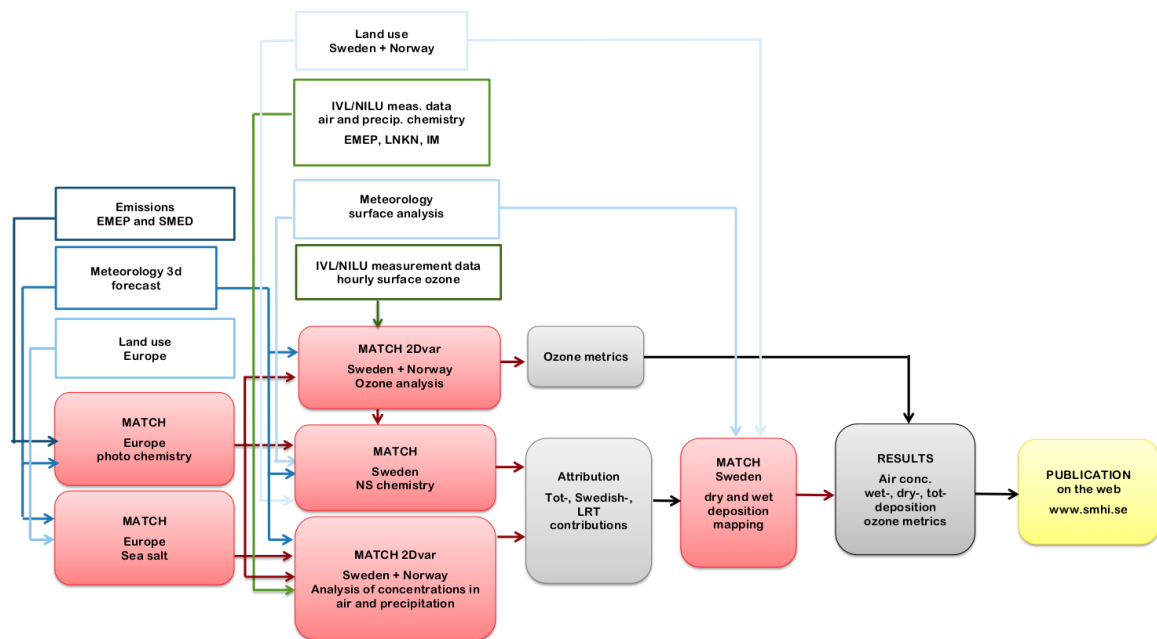
I flödesdiagrammet nedan visas schematiskt de olika stegen i den nya metodiken. Indata till systemet i form av meteorologiska data, emissionsdata och mätdata visas som rutor med vit bakgrund. De sista stegen beskriver efterbehandlingar såsom beräkning av torrdeposition till olika marktper, exempelvis 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) (kombinerat kallade SMEMEP-emissioner) 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 (PTHBV har utelämnats under 2015).

I den gamla metodiken subtraheras därefter Sverigebidraget från den modellberäknade totalhalten 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 subtraherat med Sverigemodellens resultat.

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



Figur 1. 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. Lägg märke till SMEMEP (EMEP och SMED)-emissionerna, beräkningen av ozonmått 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 Sverigesystemet 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 (baskatjoner bortsett från natrium) är inte inkluderade i MATCH-modellen. 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 halter och deposition (våtdeponeras; d.v.s. ”tvättas ur med nederbörd” och torrdeponeras; d.v.s. förlust mot markytan utan inblandning av nederbörd) av havssaltspartiklar och primära antropogena partiklar. Emissioner av naturligt havssalt beräknas i modellen, baserat på meteorologiska parametrar som vindfält och havstemperatur, se Foltescu et al. (2005).

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. 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 Sverigesystemet sker i två dimensioner (i horisontalplanet, förkortat 2dvar), och i den nya metodiken sker den variationella analysen på totalhalter. MATCH Europa körs på upplösningen 22 km.

Det 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 har kombinerats med dygnsvisa PTHBV-data fram till 2014, därefter har MESANs nederbörd använts rakt av. Detta pga kvalitetsförbättringar i MESAN under senare år. 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 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_s är den aerodynamiska resistansen, det laminära ytskiktets resistans respektive ytresistansen. Storleken hos resistenserna varierar på ett komplicerat sätt beroende på egenskaper hos ämnet som deponeras, meteorologiska förhållanden och ytans beskaffenhet. I MATCH modellen är dessa tre resistenser parametriserade. Resistensen beräknas för varje gridruta, för varje timma med aktuell väderdata, för varje markanvändningstyp och för varje gas eller partikelfraktion. För en utförligare beskrivning av metodiken för torrdepositions beräkningar i MATCH 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 ingår:

- 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 35ppbv ($70 \mu\text{g m}^{-3}$) under hela året. Alltså $SOMO35 = \sum \max(O_3^d - 35, 0) dt$.

I och med ett utvecklingsprojekt under 2015 och 2016 så publiceras nu även POD1 för generisk lövskog och POD3 för generisk gröda. PODY är ett mått som indikerar den skadliga inverkan av marknära ozon på växtlighet. Förutom marknära ozonhalter används bl. a. ett antal meteorologiska parametrar. Mer information om metodiken bakom PODY-beräkningar finns i Engardt et al. (2016).

2.7 Emissionsdata

De europeiska emissioner som används i MATCH Europa-körningarna baseras på EMEP:s griddade data med en geografisk upplösning på 50x50 km, kombinerat ihop med SMEDs emissioner över Sverige. 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 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 totalemissionerna för varje ämne fördelas geografiskt efter åtta huvudsektorer och mer än 150 undersektorer. Fördelningen görs med en upplösning på 1×1 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

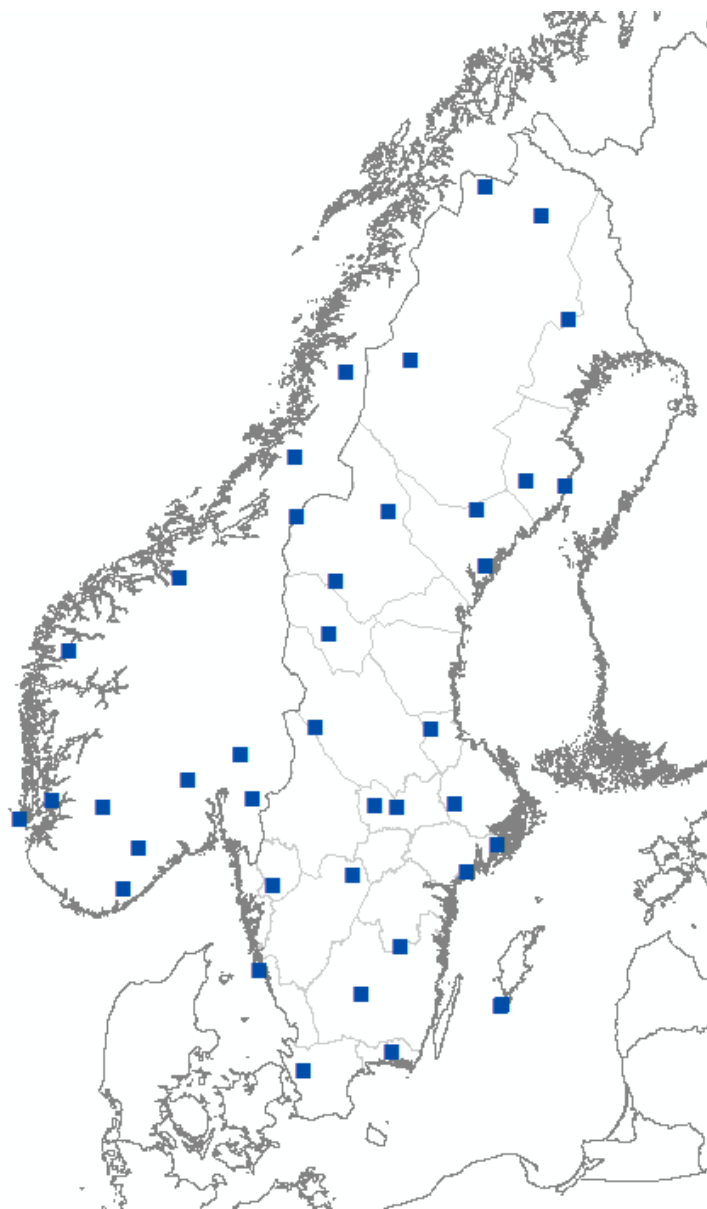
(<http://projektwebbar.lansstyrelsen.se/rus/Sv/Pages/default.aspx>), genom Naturvårdsverkets Utsläpp i Siffror (<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/>) samt var femte år till CLRTAP.

2.8 Svenska och norska mätstationer

De uppmätta data som utnyttjas i MATCH Sverigesystemet har fåtts från IVL som tillhandahåller de svenska stationerna, och NILU som ansvarar för de norska stationerna. De svenska stationerna tillhör LNKN, EMEP, IM (Integrerad miljöövervakning i naturekosystem) samt en öppet fältmätning från krondroppsnätet vid Hundshögen i Jämtland .

De vid dataassimilationen utnyttjade mätstationerna för bakgrundsluft inom Norden framgår dels av Figur 2, där mätstationernas lokalisering finns utmärkta, och dels av

Tabell 1 nedan.



Figur 2. 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 2015 utnyttjades 16 stationer för mätning av svavel och kväve i luft, varav fyra svenska EMEP stationer (dygnsvisa mätningar) och 12 norska EMEP stationer (dygnsvisa 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	Timme	O ₃	Aspvreten, Bredkälén, Esrangle, Grimsö, Norra Kvill, Prästbodarna, Råö, Vavihill, Vindeln
Luft	Norska EMEP	Timme	O ₃	Birkenes, Karvatn, Hurdal, Karasjok Sandve, Spitsbergen

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 2015. Samtliga nederbördsdata används i den variationella analysen på månadsupplösning, så om tidsupplösningen är högre så aggregeras data till månadsvärden.

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, Granan, Hoburgen, Jädraås, Majstre, Norra Kvill, Prästbodarna, Pålkem, Rickleå, Ryda Kungsgård, Sandnäset, Sjöängen, Sännen, Tandövala, Tyresta
Nederbörd	Krondropp/Höghöjd	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Hundshögen

3 Resultat

Här presenteras resultat från MATCH Sverigesystemet för åren 2013, 2014 och 2015.

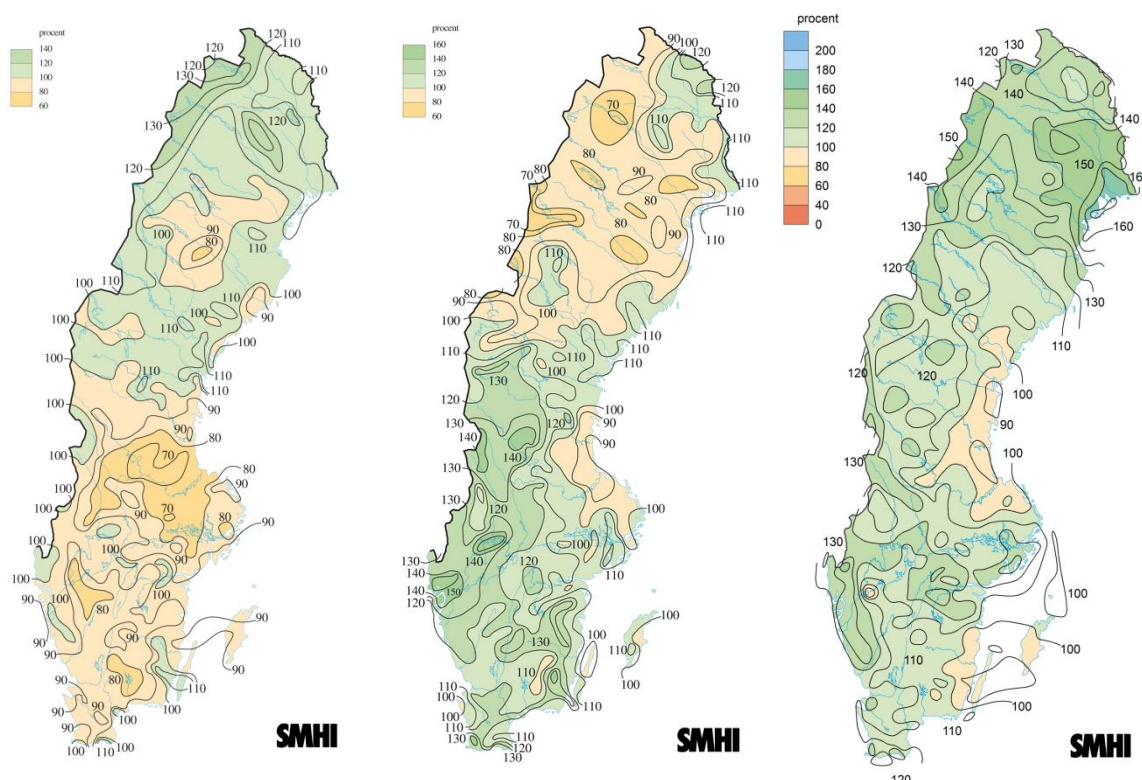
Meteorologin kan variera mycket från ett år till ett annat, vilket orsakar variationer i halter i luft och nederbörd. Mänskliga utsläpp varierar oftast inte mycket från ett år till nästa, medan de naturliga utsläppen varierar med meteorologin, vilket kan ge ganska stor variation från år till år. Detta 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 Sverigesystemets beräkningar av lufthalter och deposition till mark.

3.1 Väderåren 2013-2015

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.

Alla tre åren var avvikande varma jämfört med normalperioden. År 2013 var ett varmt år i hela Sverige, med störst avvikelse i Norrland, medan 2015 var varmare än 2013 och allra varmast var det under 2014.

I kartorna i Figur 3 nedan syns nederbördsavvikelsen för 2013, 2014 och 2015. År 2013 var ett mycket torrt år i södra och mellersta Sverige medan norra Sverige fick mer nederbörd än normalt. 2014 visade motsatt mönster och var blötare än normalt överallt förutom i Norrland. 2015 var också blötare än vanligt i nästan hela landet.



Figur 3. Årsnederbörd i procent av den normala år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

3.2 Luftkoncentration 2013-2015

I Figur 4 till 6 presenteras totala lufthalter för kvävedioxid (som kväve), reducerat kväve (som kväve) och svaveldioxid (som svavel) över Sverige för åren 2013-2015. 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 4 visar total halt av kvävedioxid i luft för åren 2013-2015. Motsvarande total halt i luft av reducerat kväve och svaveldioxid visas i Figur 5 respektive 6.

För halter av kvävedioxid återfinns de högsta halterna i södra Sverige, Stockholmsregionen samt längs Norrlandskusten. Lägst är halterna i Norrlands inland. Totalhalterna år 2013-2015 var ganska lika, med en viss förhöjning i Stockholmsområdet under 2014 och en svag förhöjning i Halland 2013. I kartorna med Sverigebidrag (på hemsidan) ser vi inga markanta skillnader mellan åren, varför skillnaderna orsakas av skillnader i intransport. Totalhalterna av oxiderat kväve varierar mellan 0.06 och 2.31 $\mu\text{g N/m}^3$ över Sverige år 2014.

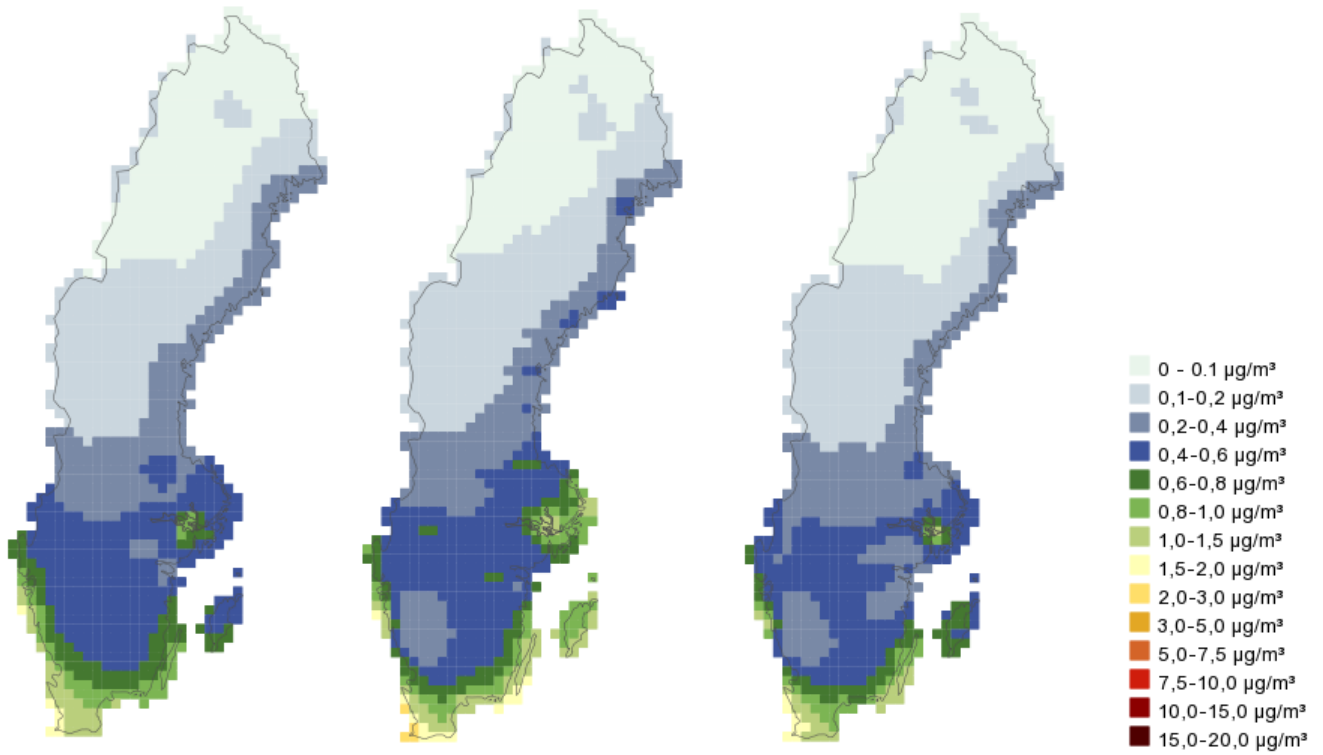
Då det gäller reducerat kväve kan vi i Figur 5 se att de högsta halterna i bakgrundsluft finns i södra Sverige, speciellt i Skåne, Västra Götalands län, Östergötlands län samt Kalmar-Ölandregionen och Gotland. Norrland, speciellt norra Norrlands inland, har relativt låga halter av reducerat kväve. Halterna var något högre 2014 än 2013 och 2015 i Götaland. Genom att studera kartorna med Sveriges bidrag syns att det svenska bidraget har sjunkit något överlag från 2013 till 2014 och 2015. Detta indikerar att det är långtransportbidraget som har ökat från 2013 till 2014. För reducerat kväve i luft varierar totalhalten för 2014 mellan som högst 1.19 $\mu\text{g N/m}^3$ i söder och som lägst 0.04 $\mu\text{g N/m}^3$ i nordligaste Sverige.

För halter av svaveldioxid i Figur 6 så ses en ökning under 2014 jämfört med 2013 och 2015. Totalkoncentrationen i luft år 2014 varierade mellan 0.03 och 0.81 $\mu\text{g S/m}^3$ över Sverige. Sverigebidraget sjönk däremot, vilket indikerar en ökning av långtransportbidraget. Ett viktigt bidrag kom ifrån vulkanen Bardarbungas utbrott på Island. Under ett par veckor i september 2014 mättes mycket höga svavelhalter, t ex vid Breckälven (Persson och Thomas, 2016). De mätvärdena används i den variationella analysen, och sticker ut väldigt tydligt även för årsmedlet i Figur 6. Då ingen ordentlig emissionsinventering för vulkanutbrottet hade hunnit förberedas då MATCH-modellen kördes för miljöövervakningen så är det endast mätvärdena som visar på vulkanens påverkan. I en specialstudie (Persson och Thomas, 2016) finns en detaljerad kartläggning av vulkanutbrottets påverkan på Sverige beräknad med MATCH-modellen.

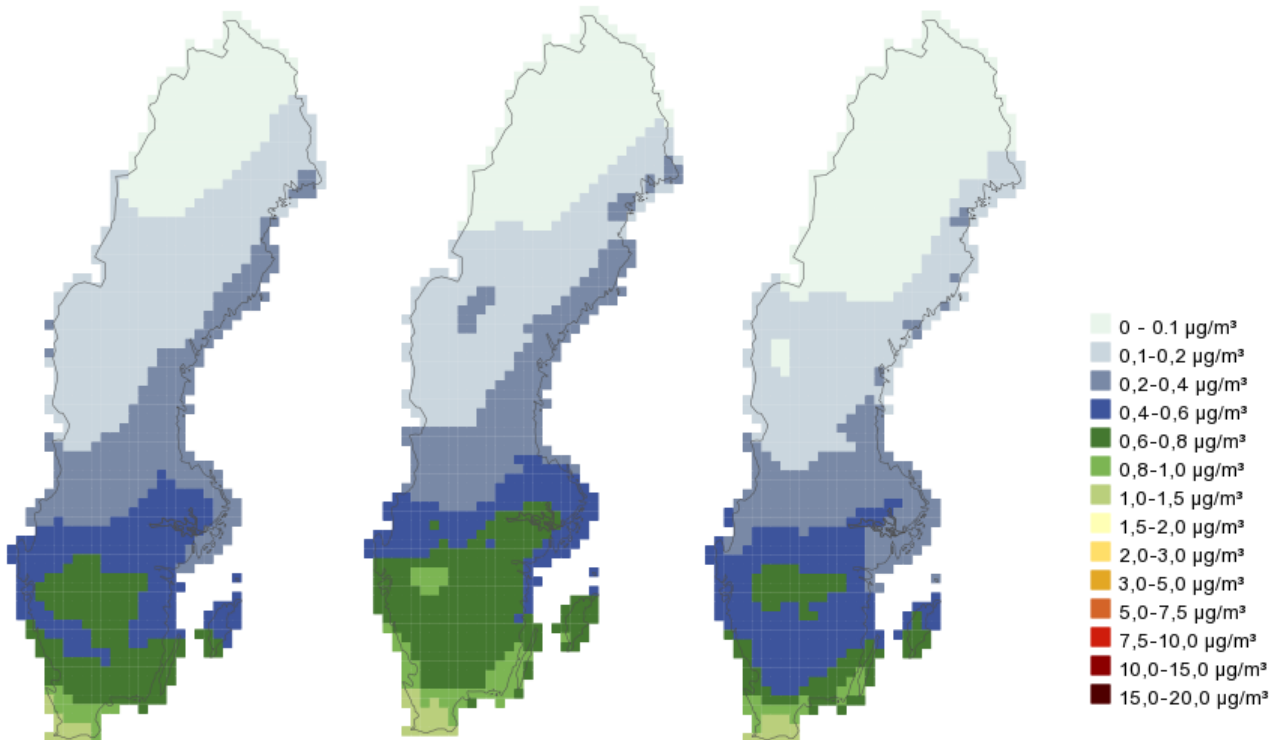
Skillnaderna mellan de tre åren för oxiderat och reducerat kväve orsakades primärt av variationer i meteorologi, både direkt och via påverkan på mängden utsläpp. Mönster och mängd nederbörd, temperatur, vindmönster och vindstyrka varierar mellan åren och bidrar därmed till variation i lufthalter och deposition. T.ex. bidrar en kallare vinter till mer stabilt väder (d.v.s. mindre turbulens och därmed mindre omblandning), vilket tenderar att öka halten av lokalt utsläppta föroreningar, d.v.s. Sverigebidraget. Nederbörds mängden påverkar också lufthalten av svavel- och kvävehaltiga gaser och partiklar.

Förändrade förhållanden i oxidativ kapacitet mellan åren påverkar också lufthalten av kväve och svavelhaltiga gaser och partiklar. Detta är kopplat till halten av långdistanstransporterad luftmassa innehållande t.ex. troposfäriskt ozon.

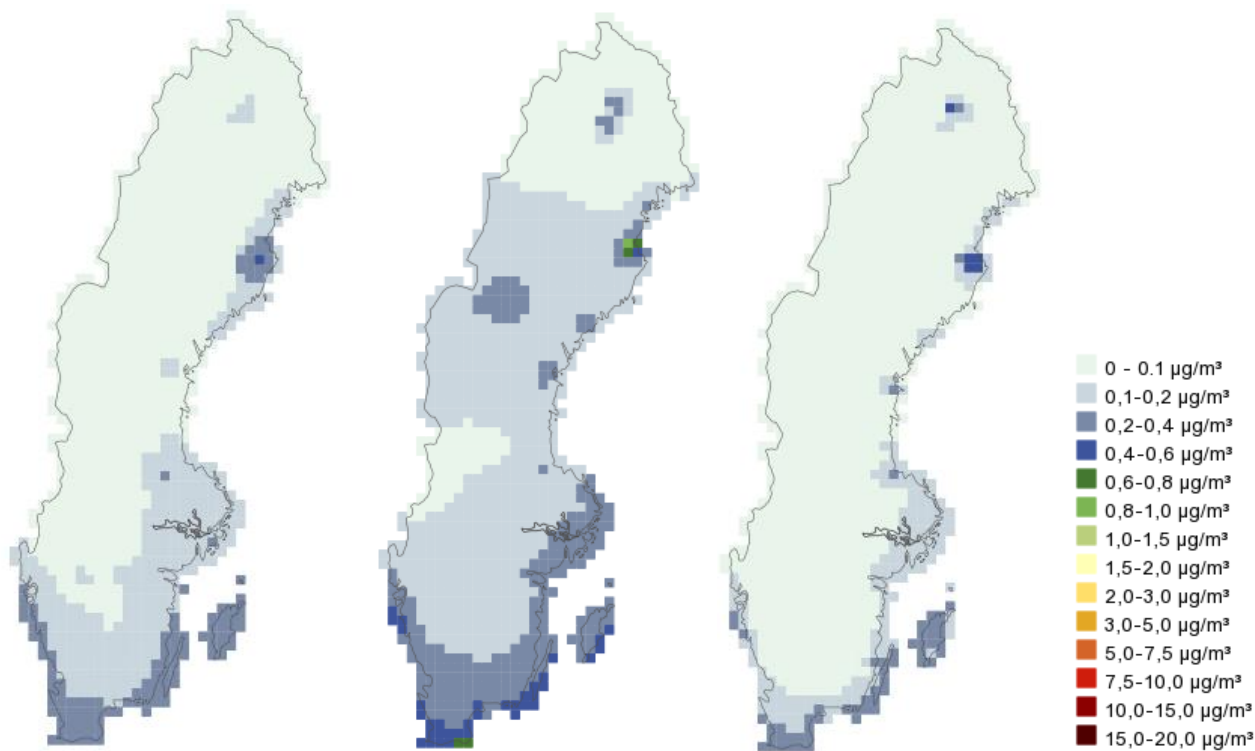
Under 2014 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 27 % av totalhalterna för SO_2 . Motsvarande siffra för NO_2 och reducerat kväve var 48 % respektive 37 %.



Figur 4. Halter i luft för kvävedioxid (som kväve), år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 5. Halter i luft för reducerat kväve, år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 6. Halter i luft för svaveldioxid (som svavel), år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

3.3 Deposition 2013-2015

Figur 7 till Figur 21 visar deposition för åren 2013-2015. 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 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.

Depositionen under ett visst år beror, som för lufthalten, på mängden utsläpp samt meteorologiska förhållandena i Sverige, samt intransporten från resten av Europa som också påverkas av meteorologiska förhållanden och utsläppsnivåer. Depositionen sker i form av både torr- och våtdeposition. För våtdepositionen är mängd och fördelning av nederbörd under ett visst år mycket viktig. För torrdepositionen är lufthalten viktig. Mer nederbörd ett visst år innebär ofta en större våtdeposition, vilket lokalt medför lägre lufthalter och därmed mindre torrdeposition. Den totala depositionen (summan av våt och torr) är beroende av långdistanstransporterade föroreningar från övriga Europa, vilket medför att både våt- och torrdeposition kan vara högre ett visst år jämfört med ett annat oavsett nederbördsmängd i Sverige. Förutom detta påverkar även fördelningen av kväve- och svavelämnena mellan gas- och partikelfas. Detta beror bl.a. på hur oxidativ atmosfären är ett visst år, vilket t.ex. är kopplat till halten av troposfäriskt ozon samt transport och blandningsförhållanden.

För både reducerat och oxiderat kväve samt oxiderat svavel exklusive havssalt var totaldepositionen förhöjd under 2014 jämfört med 2013 och 2015, medan det svenska depositionsbidraget var relativt konstant över de tre åren (något högre för reducerat kväve i södra Sverige 2014 och generellt något

lägre nivåer år 2015). Förutom vulkanutbrottet på Island så skiljer sig generellt inte emissionerna åt så mycket från ett år till ett annat, även om långtidstrenden i utsläpp är relevant.

Torrdepositionen är som sagt starkt kopplad till halt i luft, och vi såg ökade halter i luft av framförallt svaveldioxid 2014, men också av reducerat kväve. För oxiderat kväve var det främst en ökning i Stockholmsområdet. Dessa ökningarna av halt i luft leder till en ökad torrdeposition.

Våtdepositionen är kopplad till nederbörd, och tittar man på nederbördsmonstret för 2013-2015 i Figur 3, framkommer att 2014 och 2015 var blötare år än normalt, för 2014 främst i Götaland och Svealand, och torrare än normalt i Norrland. 2013 däremot visade motsatt mönster. Generellt sett betyder mer nederbörd mer våtdeposition där lufthalterna är höga, men en snabbare minskning (starkare gradient) av lufthalterna och därmed även av depositionen norrut i Sverige.

Ökningen i långtransporterad lufthalt, kombinerat med mer nederbörd, orsakade mer våtdeposition av intransporterat reducerat kväve i södra Sverige 2014. Den större nederbörden orsakar även att mer lokalt utsläppt reducerat kväve deponeras nära utsläppskällorna, varför detta bidrag var större 2014 än 2013 också (vilket bidrar till den lägre lufthalten för lokalt reducerat kväve 2014).

Totalt sett orsakade alltså mellanårsvariationerna i meteorologi att mer reducerat kväve transporterades in över Sverige och att mer reducerat kväve deponerades i Sverige 2014, jämfört med 2013 och 2015. 2014 var däremot inte något extremt år, exempelvis 2012 hade lite större deposition än 2013.

Motsvarande förklaring gäller även till den ökade totaldepositionen av oxiderat kväve och svavel för 2014, med undantag för det svenska bidraget till totaldepositionen, där ingen markant trend syns.

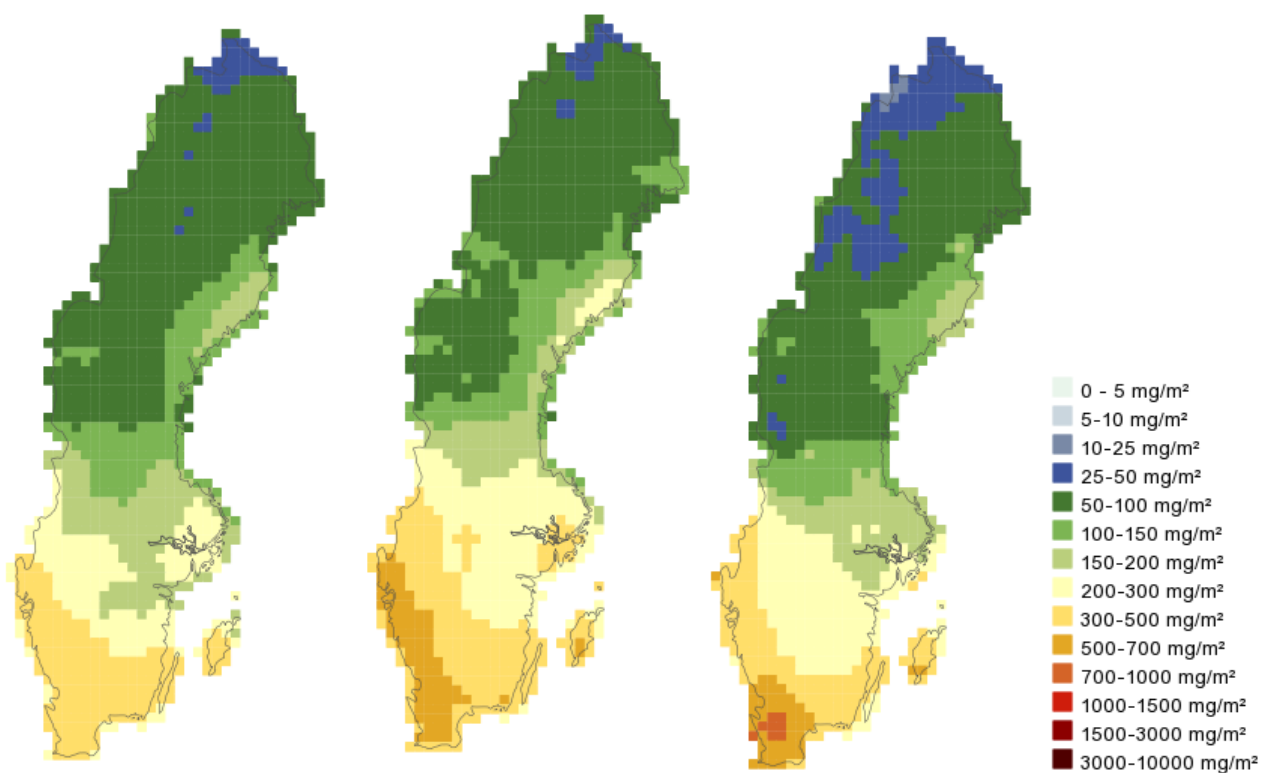
Andelen våtdeposition relativt totaldepositionen för 2014 över svenska landområden var i genomsnitt över Sverige 71 %, 79 % och 78 % för oxiderat svavel (havssalt ej inkluderat), reducerat respektive oxiderat kväve.

Enligt resultaten från MATCH Sverigesystemet orsakade de svenska emissionerna under 2014 i genomsnitt 5 % av totaldepositionen för svavel (exklusive havssalt) över svenska landområden. Motsvarande siffra för oxiderat kväve och reducerat kväve var 6 % respektive 15 %.

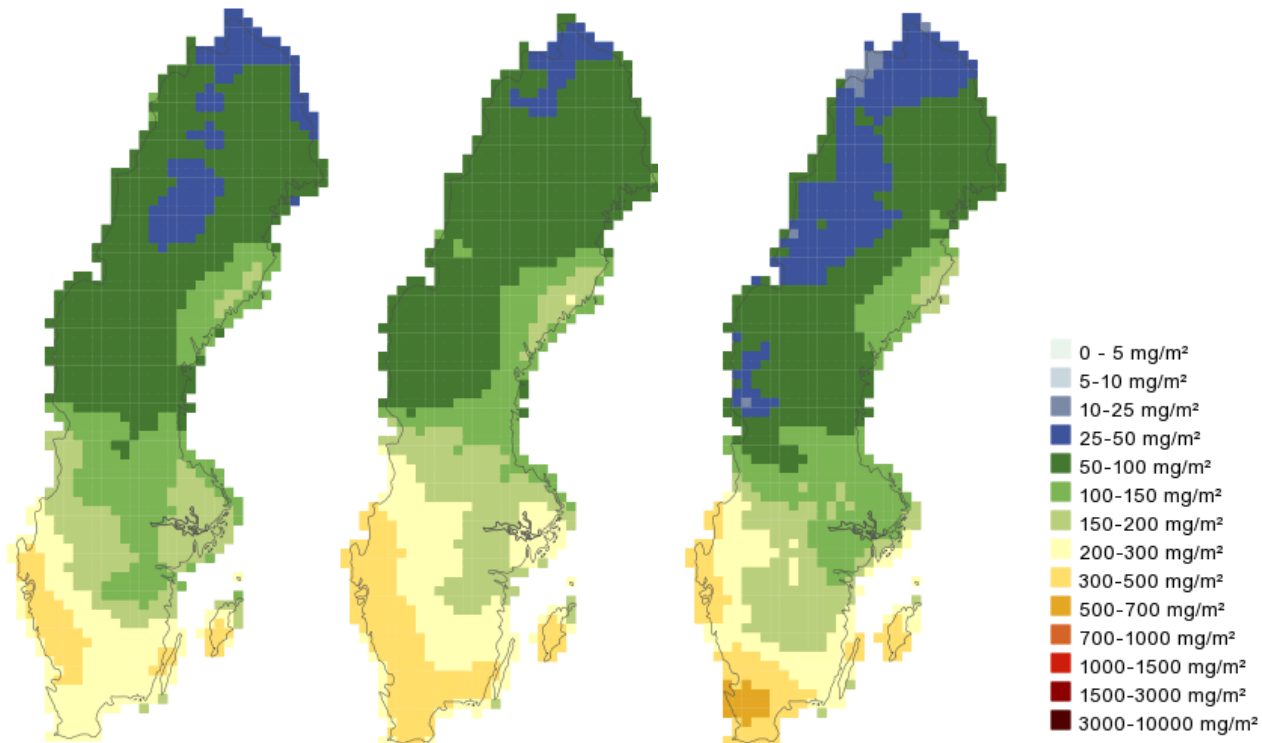
EMEP tar med några års eftersläpning fram källreceptormatriser för deposition av oxiderat svavel samt oxiderat och reducerat kväve mellan europeiska länder. Sveriges bidrag till respektive deposition beräknade utifrån 2014 års källreceptormatriser blir 6% för oxiderat svavel, 9% för oxiderat kväve och 28% för reducerat kväve. Dessa beräkningar framställs genom modelluppskattning med EMEP-modellen (ingen dataassimilation är inkluderad), men deras beskrivning av nedfall/återemission av reducerat kväve är mer avancerad än i MATCH-modellen. Uppskattningen av bidraget för reducerat kväve är trots det mer osäker i båda modellerna jämfört med övriga ämnen, vilket bidrar till den större skillnaden i uppskattning av bidrag. Uppskattningen av bidraget med MATCH Sverigesystemet ger i övrigt liknande värden, och mönstret att Sveriges bidrag till kvävedeposition är relativt sett större för reducerat kväve än för oxiderat består i båda modellerna. En förbättring av hanteringen av reducerat kväve, inklusive samspelet med upptag/återemission på bl.a. åkermark skulle förbättra kunskapen om deposition av reducerat kväve.

3.3.1 Deposition av oxiderat kväve

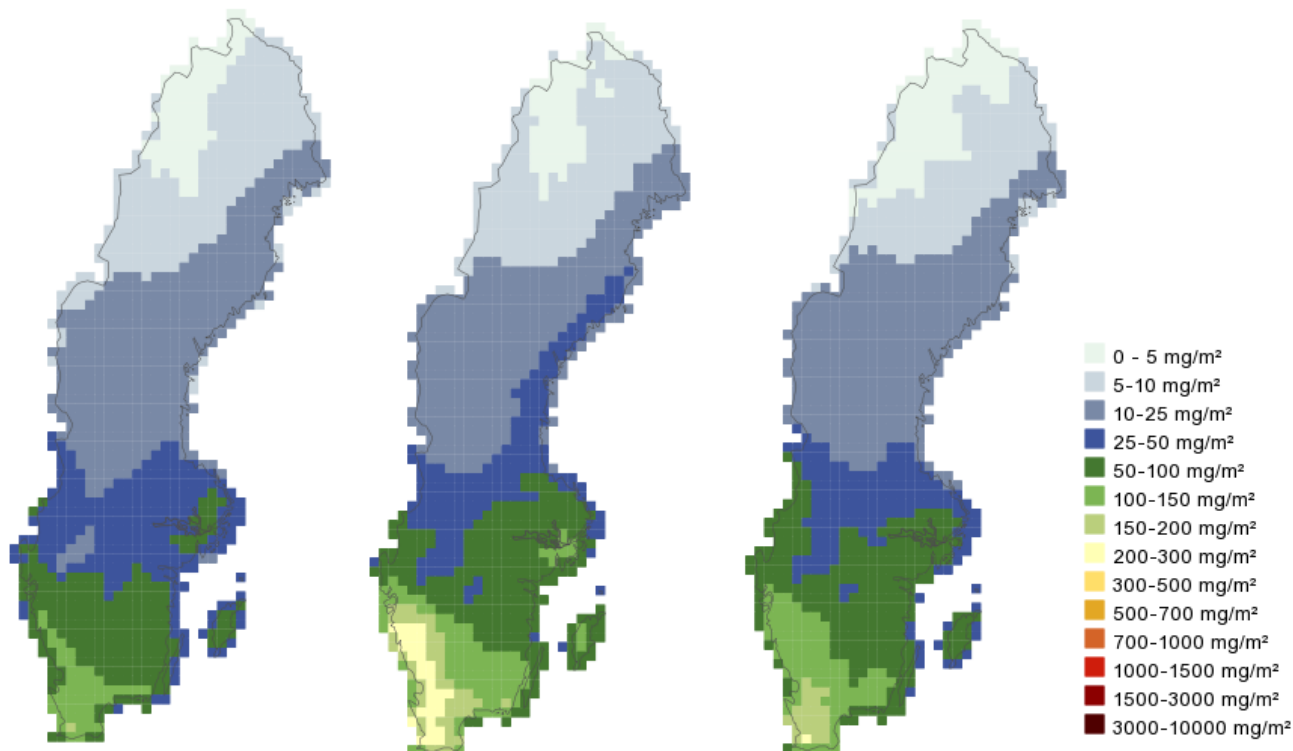
Figur 7 till Figur 9 visar total-, våt- och torrdeposition av oxiderat kväve för år 2013-2015. Störst deposition av oxiderat kväve sker i södra Sverige och minst sker i Norrlands inland. Figur 7 visar tydligt hur totaldepositionen av oxiderat kväve är större för 2014 och 2015 jämfört med 2013, främst i sydvästra Sverige och i Stockholmsregionen. Sveriges bidrag (visas på hemsidan) är relativt konstant mellan åren 2013-2014, men något lägre under 2015, vilket indikerar att det är långtransportbidraget som var högre under de senare åren. Den höga våtdepositionen i västra Skåne under 2015 ger ett markant bidrag till totaldepositionen. För 2014 varierade totaldepositionen mellan 40 och 690 mg N/m².



Figur 7. Totaldeposition för oxiderat kväve för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 8. Våtdeposition för oxiderat kväve för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

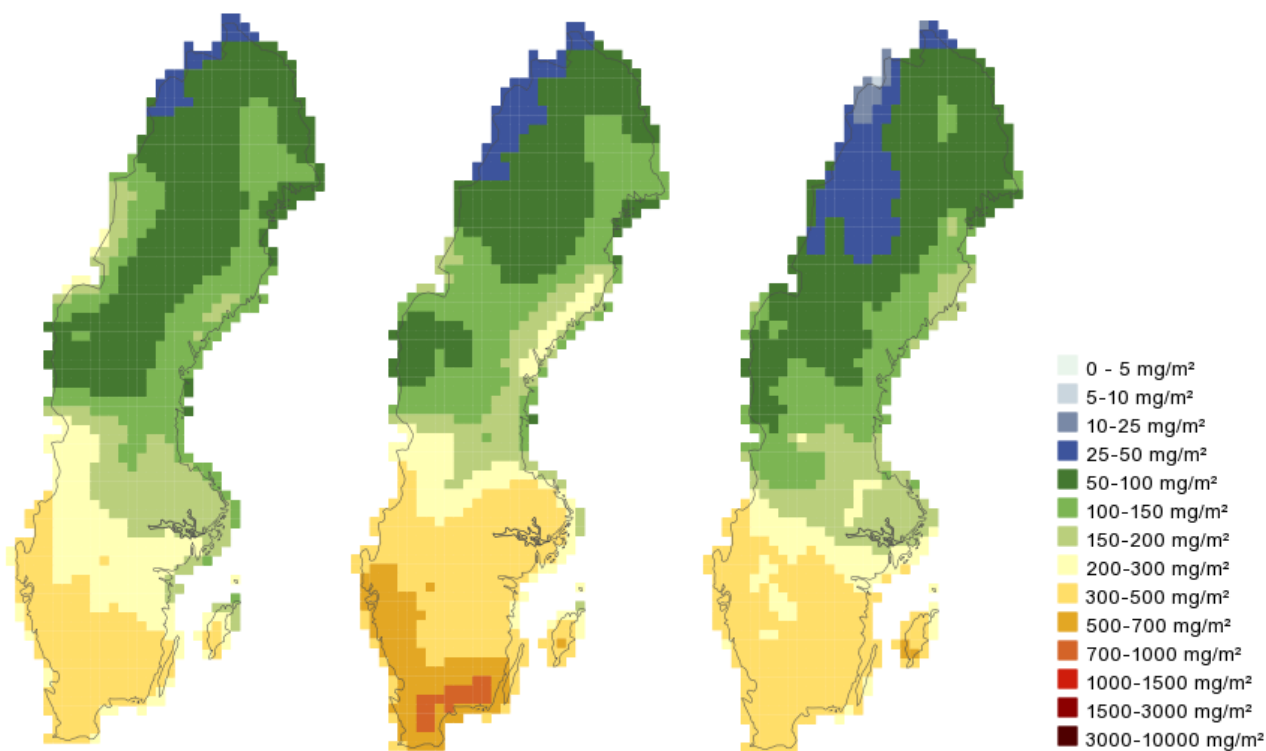


Figur 9. Torrdeposition för oxiderat kväve för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

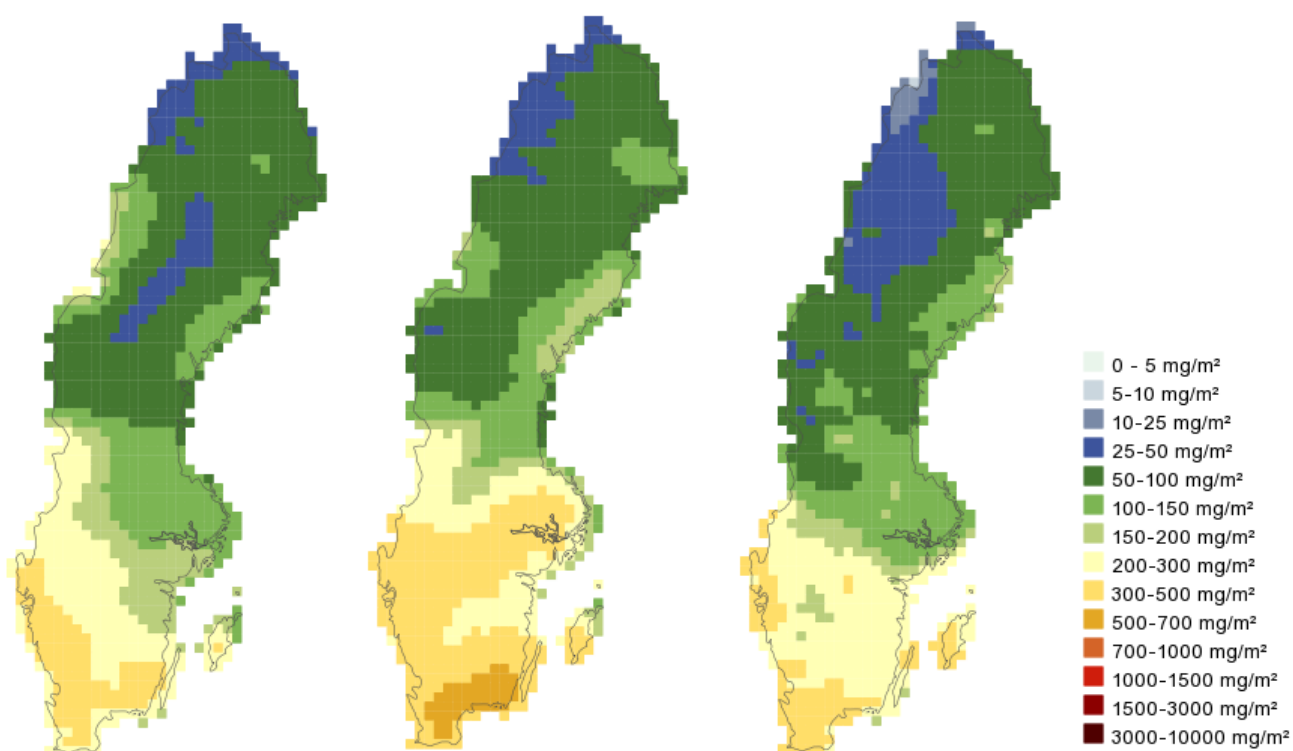
3.3.2 Deposition av reducerat kväve

Figur 10 till Figur 12 visar total-, våt- och torrdeposition av reducerat kväve för år 2013-2015.

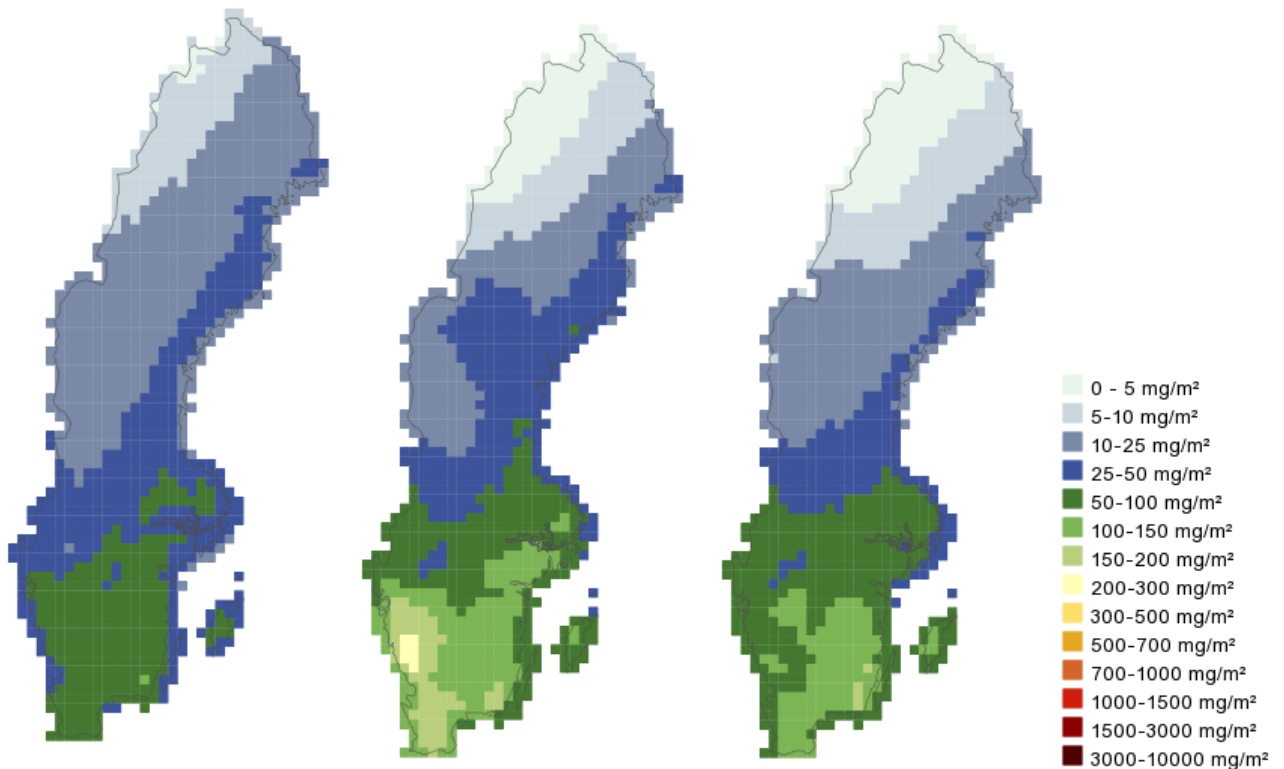
Den största depositionen av reducerat kväve sker i södra Sverige och minst deponeras i norra Norrlands inland. Totaldepositionen är markant högre 2014 jämfört med 2013 och 2015, främst i Skåne och Blekinge, men även i hela Götaland och Svealand och utmed Norrlandskusten. Det svenska bidraget var marginellt högre i södra Sverige under 2014 än 2013, medan det var något lägre utmed Norrlandskusten under både 2014 och 2015. Detta indikerar att den ökade totaldepositionen till stor del beror på långtransportbidrag. Till exempel varierar totaldepositionen över Sverige mellan 35 och 820 mg N/m² under 2014.



Figur 10. Totaldeposition för reducerat kväve för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 11. Våtdeposition för reducerat kväve för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

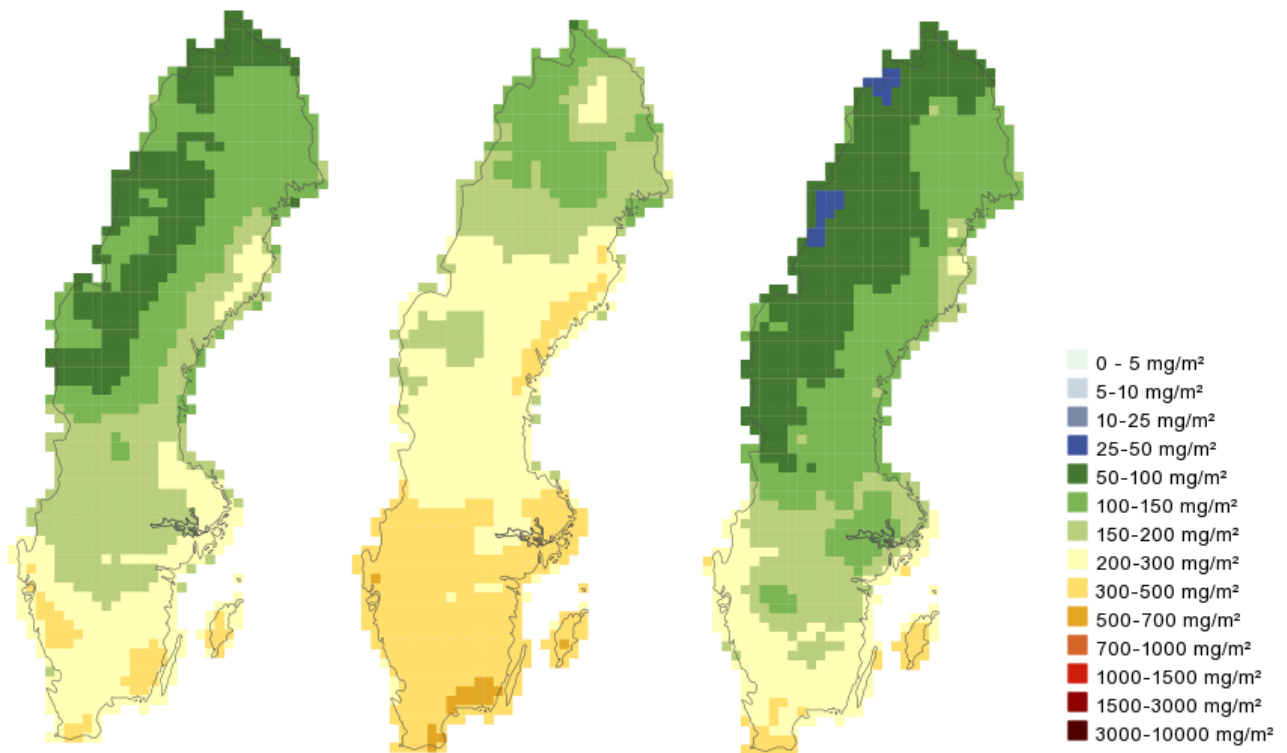


Figur 12. Torrdeposition för reducerat kväve för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

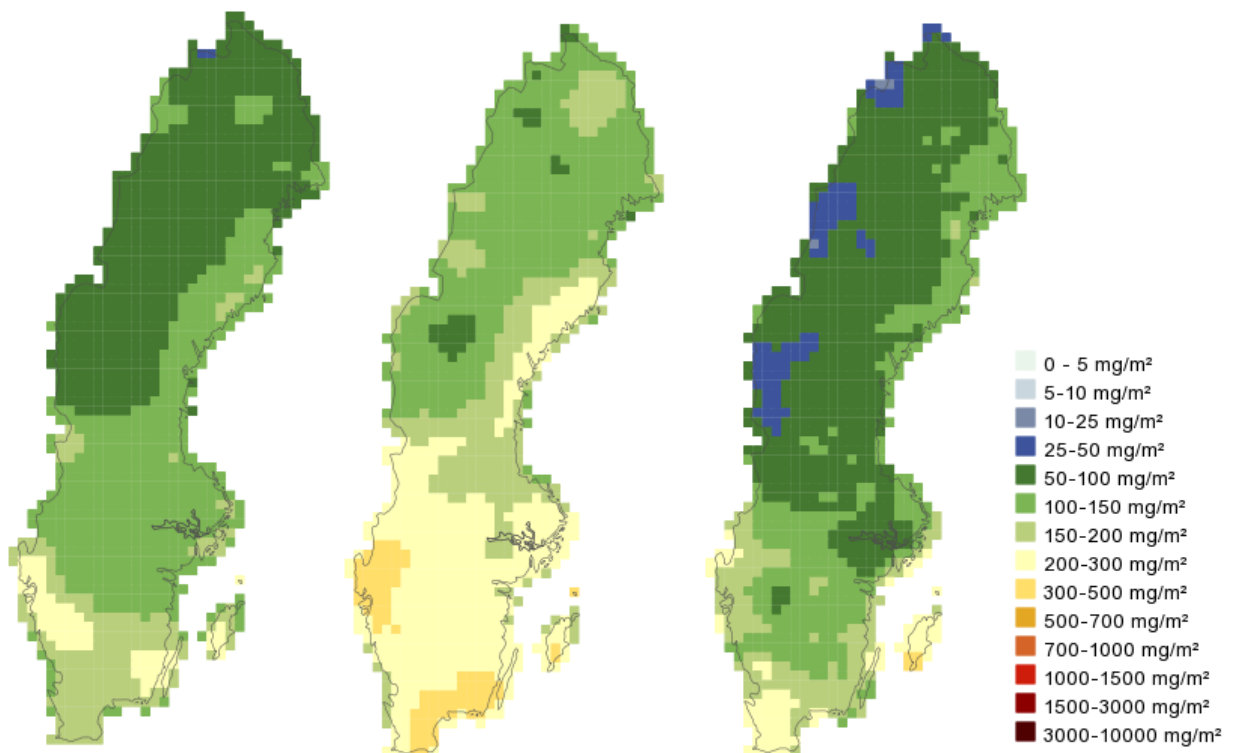
3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan respektive med havssaltsvavel

Total-, våt- och torrdeposition av oxiderat svavel utan havssaltbidrag visas för år 2013-2015 i Figur 13 till Figur 15. Totaldepositionen av XSO_x i Figur 13 var högre i hela landet 2014 jämfört med 2013 och 2015, främst i södra och mellersta Sverige. Det svenska bidraget var ungefär detsamma för åren 2013 och 2014, och något lägre 2015, vilket indikerar att långdistanstransporten står bakom ökningen av totaldeposition år 2014. För deposition av oxiderat svavel utan havssalt var vulkanutbrottet på Island en bidragande orsak, framförallt i mellan-Sverige. Totaldepositionen av svavel utan havssalt varierade mellan 100 och 600 mg S/m² år 2014.

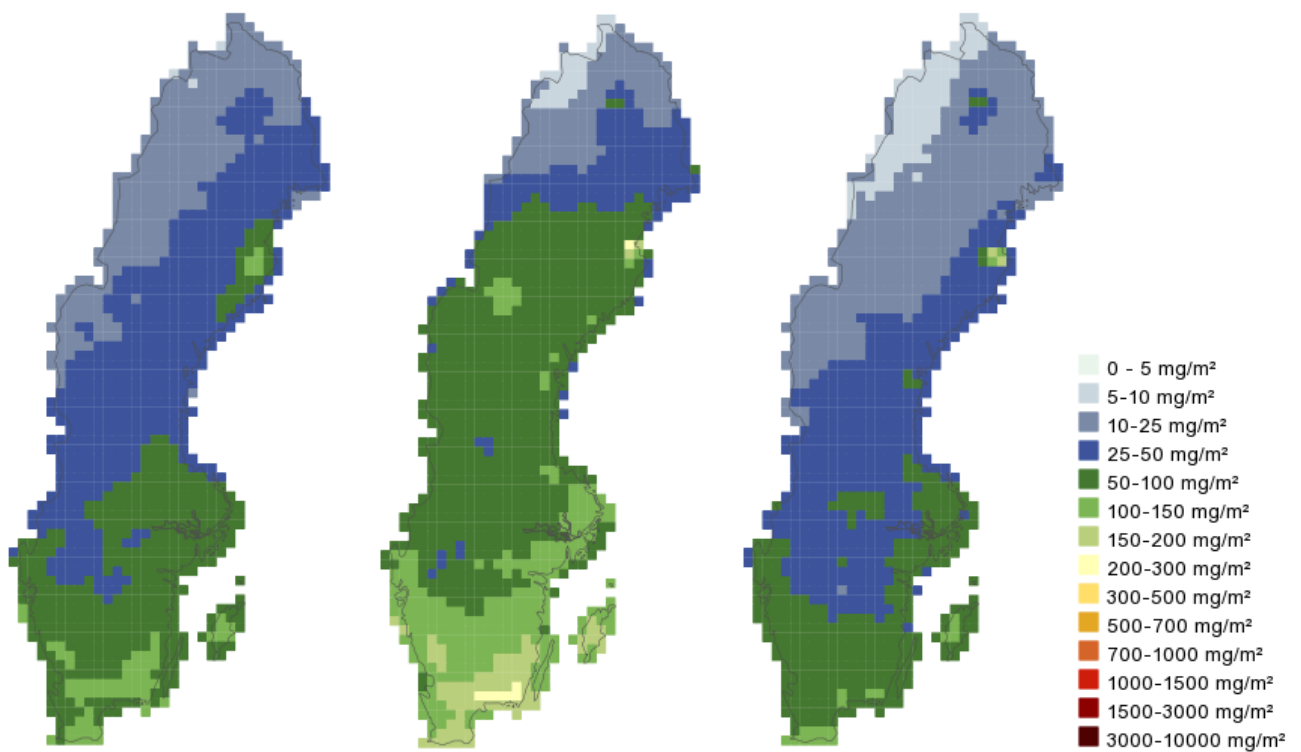
Svaveldepositionsbidraget från vulkanutbrottet under det halvår vulkanen var aktiv uppskattas till mellan 20 och 70 % över Sverige (Persson och Thomas, 2016).



Figur 13. Totaldeposition för oxiderat svavel utan havssalt för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

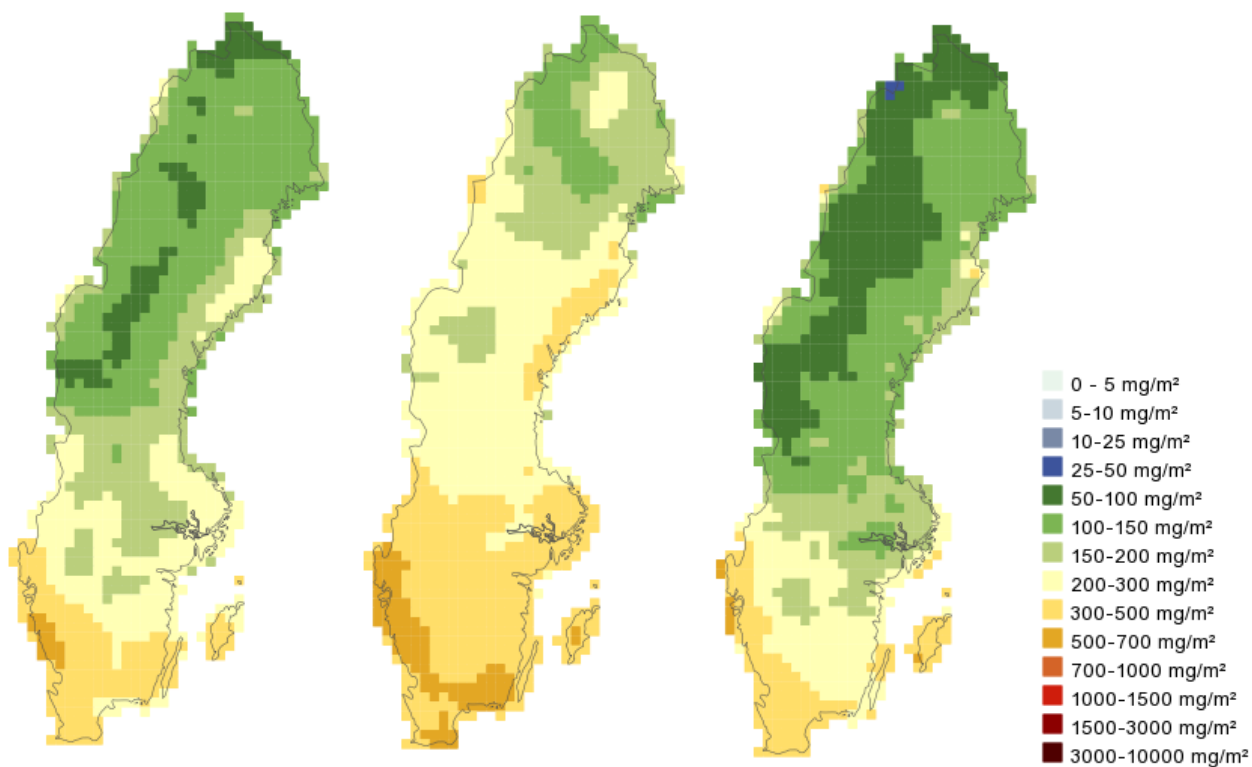


Figur 14. Våtdeposition för oxiderat svavel utan havssalt för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

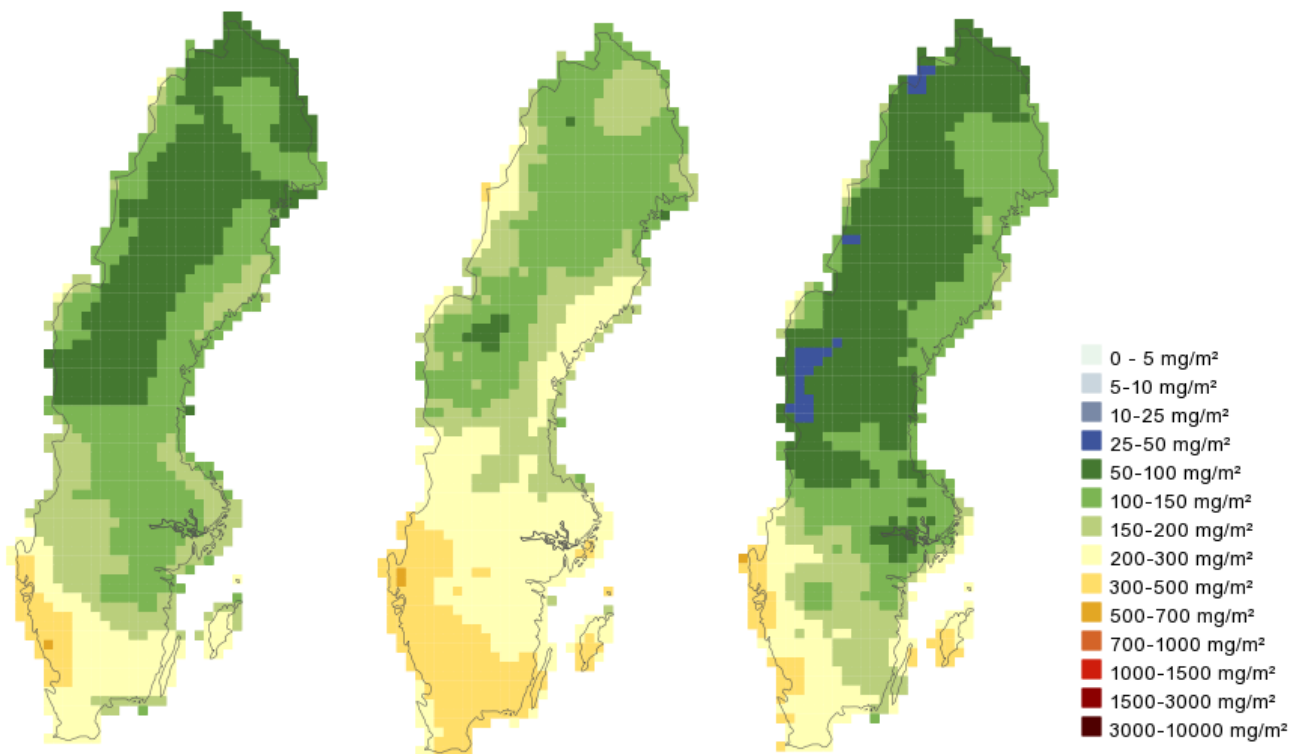


Figur 15. Torrdeposition för oxiderat svavel utan havssalt för år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

Total- och våtdeposition av oxiderat svavel inklusive havssaltbidrag visas för år 2013-2015 i Figur 16 och Figur 17. Totaldepositionen av SO_x i Figur 16 var högre i hela Sverige 2014 jämfört med 2013 och 2015. Det är långdistanstransporten som står bakom ökningen av totaldeposition år 2014, där vulkanutbrottet på Island en bidragande orsak, framförallt i mellan-Sverige.



Figur 16. Totaldeposition för oxiderat svavel för åren 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 17. Våtdeposition för oxiderat svavel för åren 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

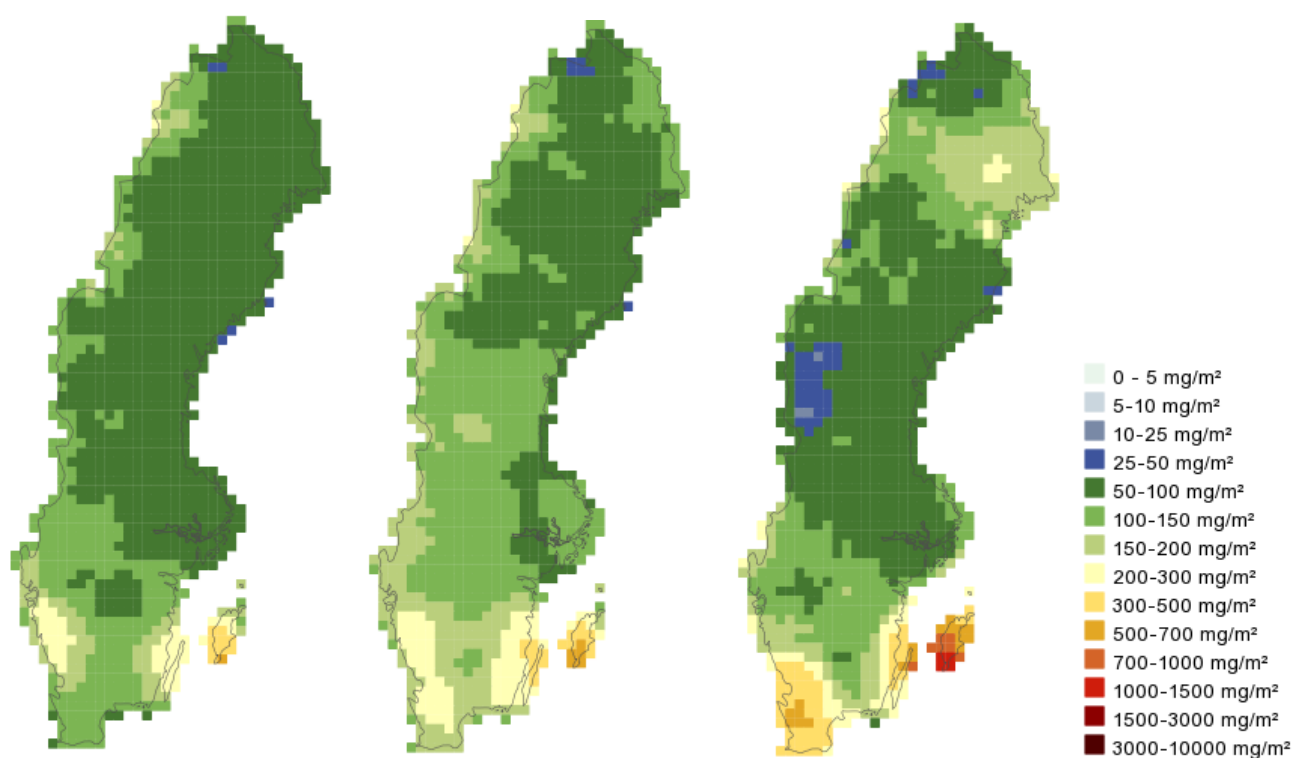
3.3.4 Våtdeposition av baskatjoner

Deposition av baskatjoner är av intresse eftersom de verkar neutraliserande. Vid försurningsmodellering är kunskap om detta nedfall användbart, då det kan balansera åtminstone delar av det försurande kväve- och svavelnedfallet som sker. 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.

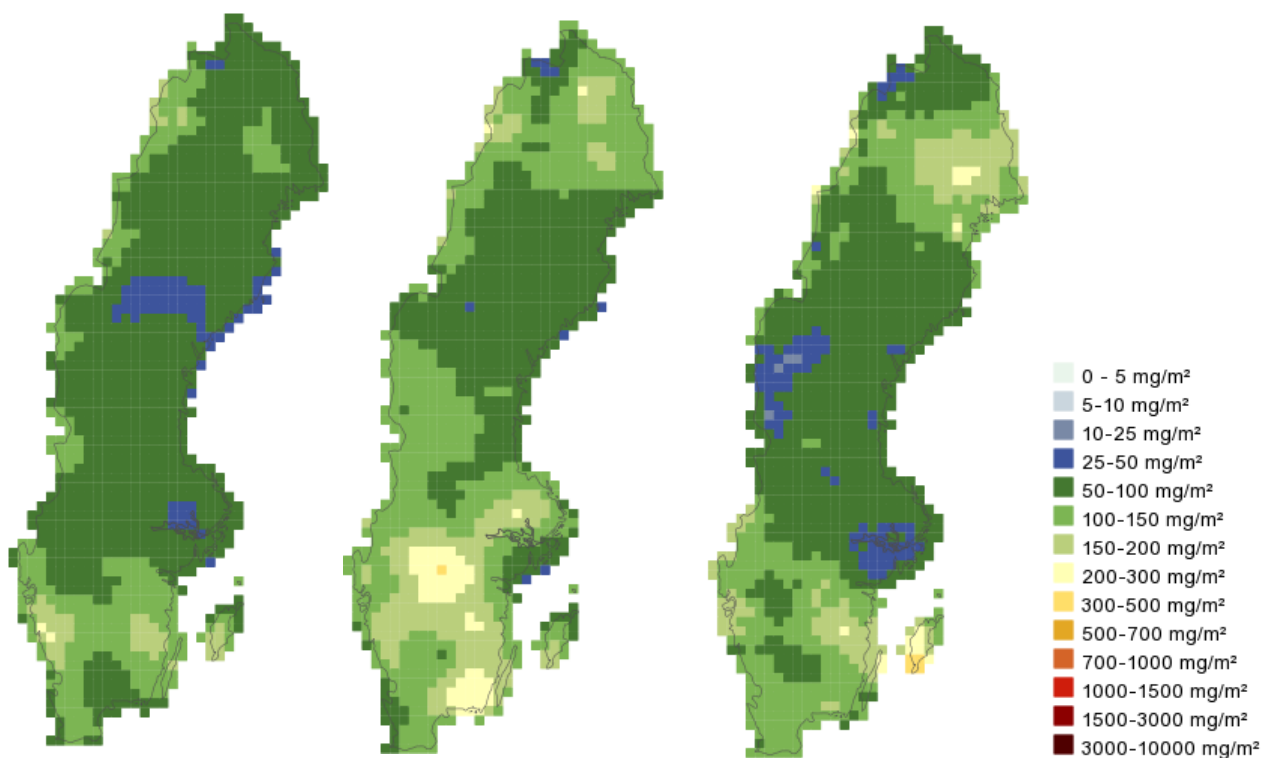
I Figur 18 till Figur 21 visas våtdepositionen av baskatjonerna kalcium, kalium, magnesium och natrium inklusive havssaltbidrag.

Den största våtdepositionen av kalcium (Ca) och kalium (K) återfinns främst över södra Sverige (Figur 18 respektive Figur 19). Våtdeposition av magnesium (Mg) är störst utmed västkusten, vilket inte är förvånande eftersom det absolut största bidraget kommer från havssalt (Figur 20). Det gör även, som väntat, natrium som återfinns i höga nivåer framför allt längs västkusten och delvis längs ostkusten (Figur 21). Våtdepositionen av natrium utmed gränsen mot Norge är en effekt av mycket höga natriumhalter i nederbörd utmed Norges kust. Natriumet kommer från havssalt.

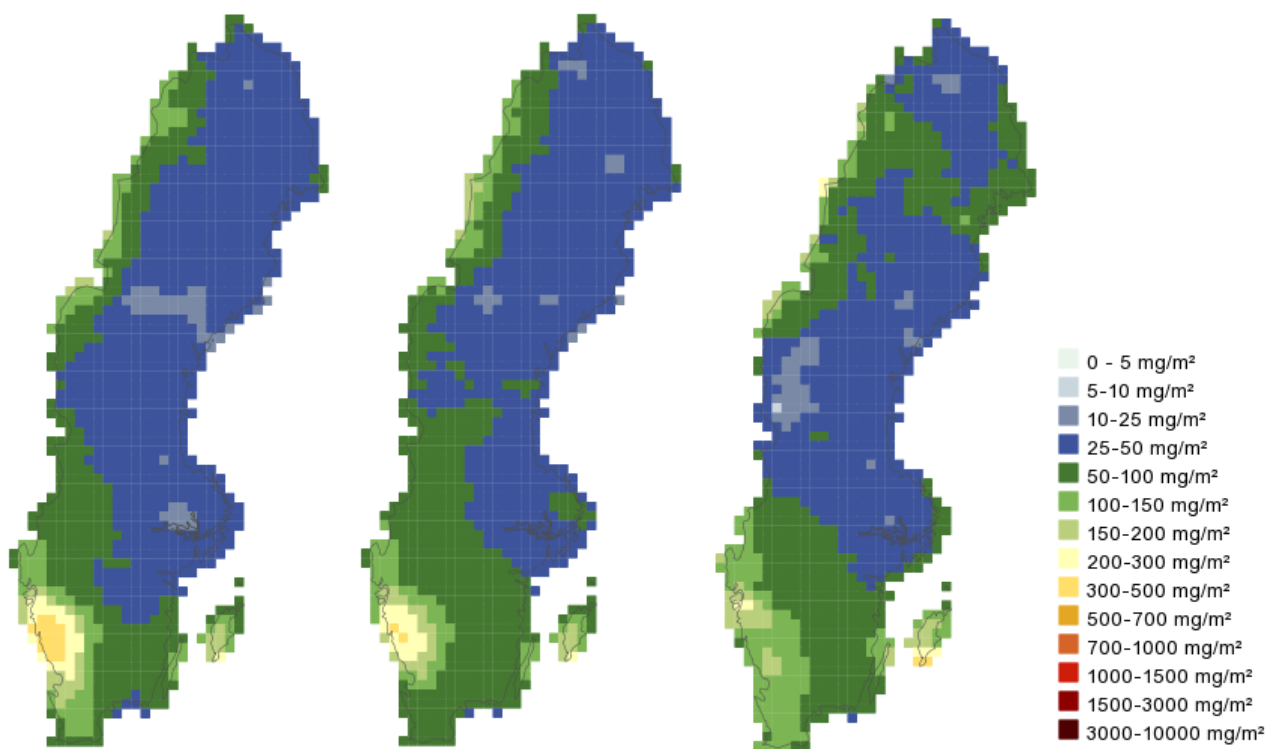
Framförallt för kalcium och natrium har Gotland ovanligt höga halter under 2015. Halterna kommer av höga uppmätta halter vid Majstre mätstation under flera månader, främst april och december. Möjligen bidrar förutom havssaltet också kalkrika jordar till den höga depositionen, men det kräver en djupare analys än vad som görs här för att utreda det närmare.



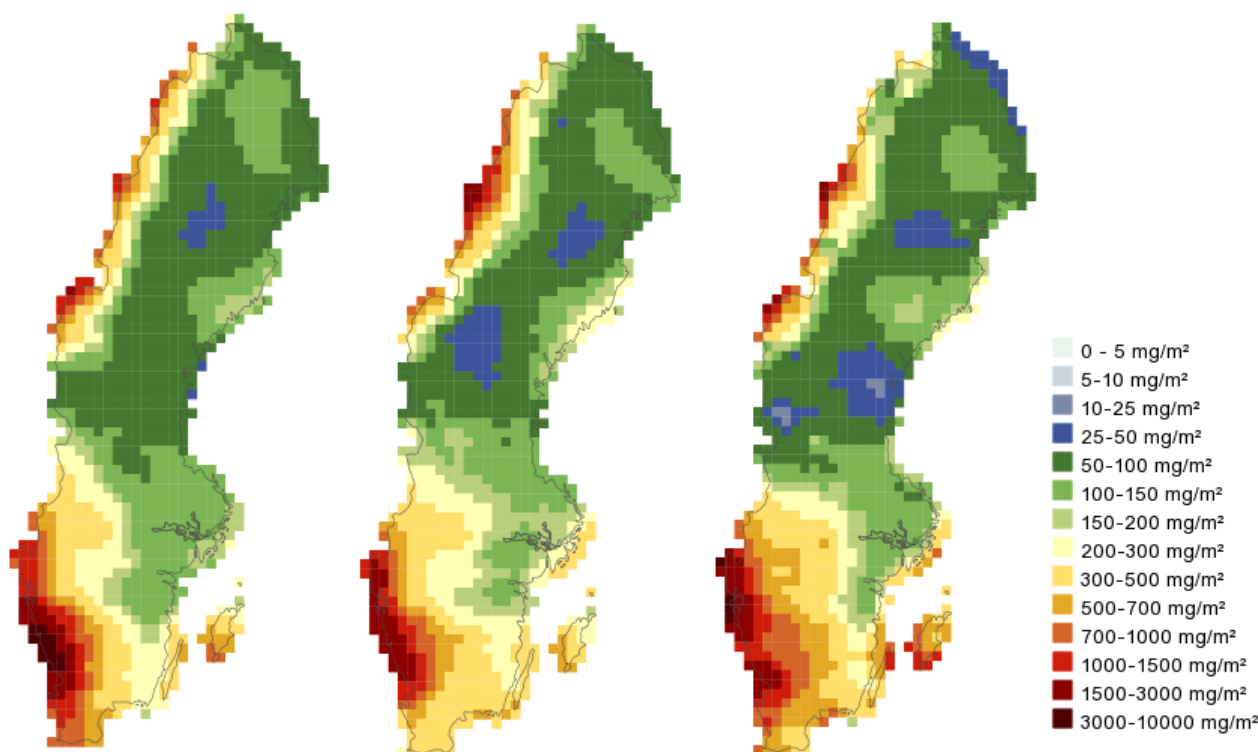
Figur 18. Våtdeposition av kalcium år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 19. Våtdeposition av kalium år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 20. Våtdeposition av magnesium år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



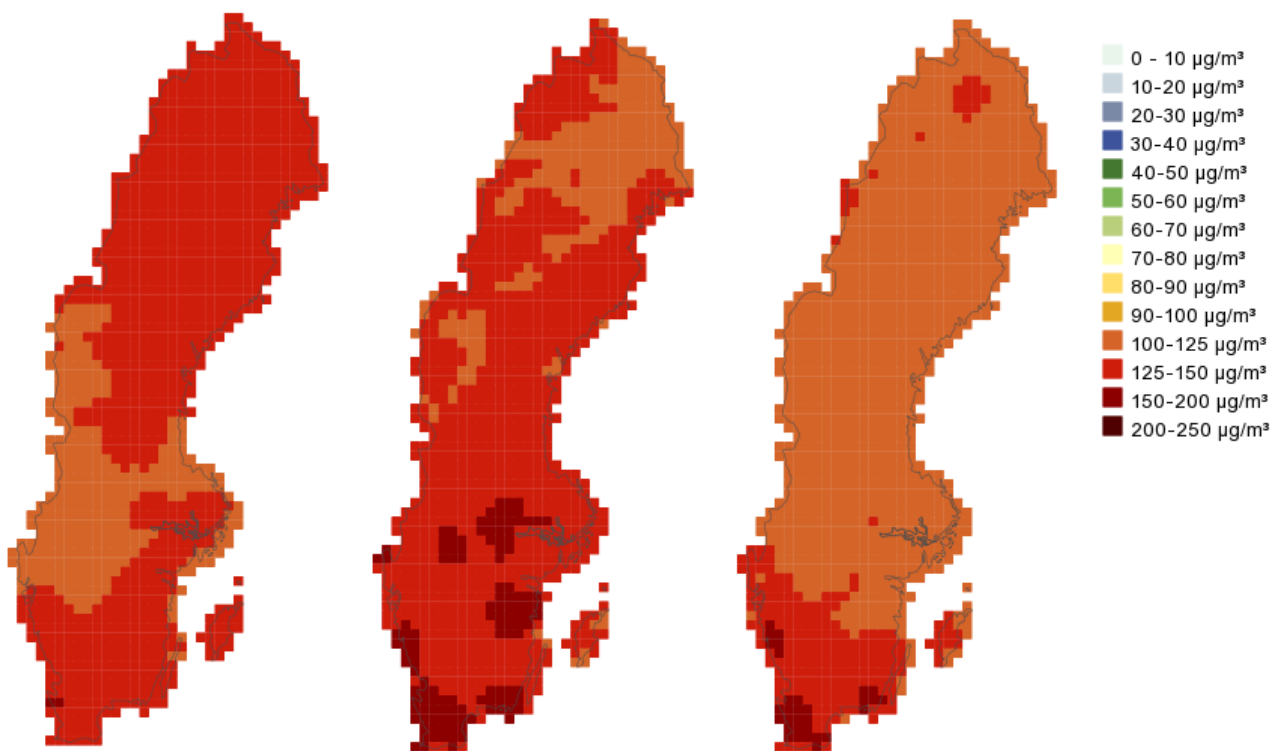
Figur 21. Våtdeposition av natrium år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

3.3.5 Marknära ozon

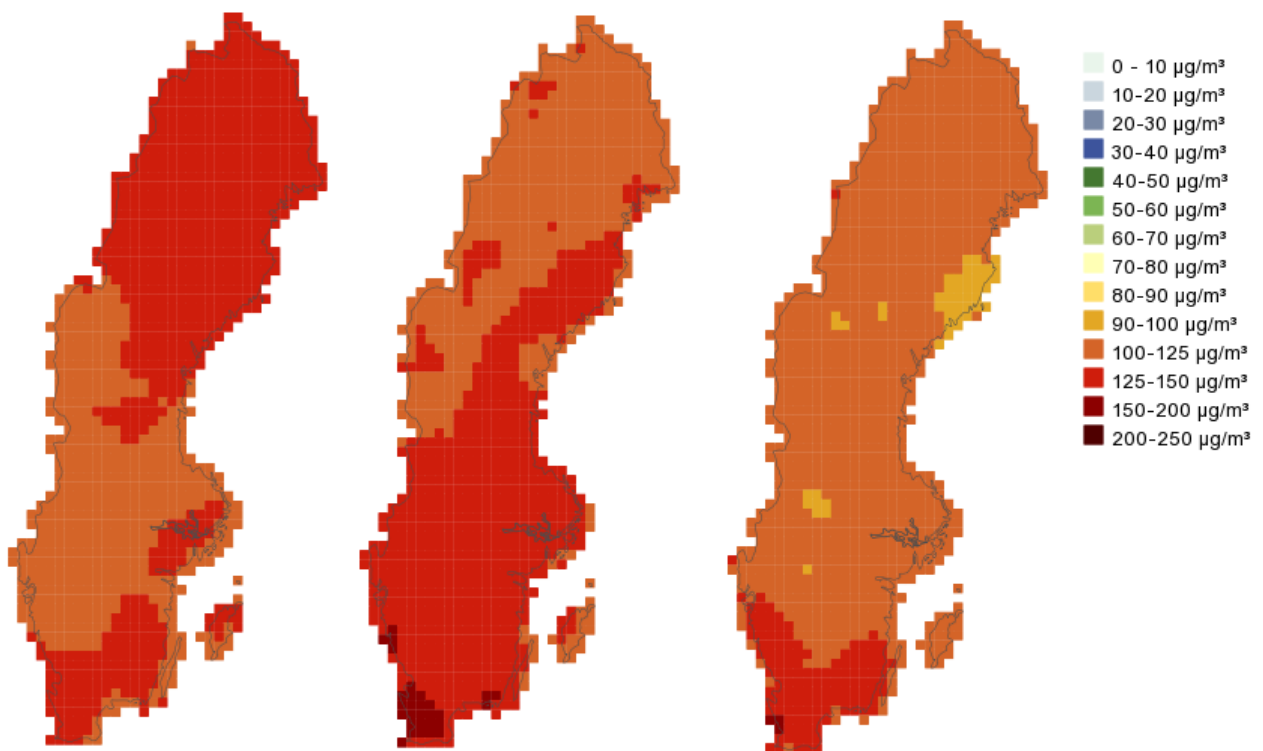
Från och med 2013 presenteras mått på halter i luft av marknära ozon inom MATCH Sverige-systemet. Här visas resultat för årets maximum av entimmesmedelvärde och flytande åttatimmarsmedelvärde, antal dagar då dygnets maximala flytande åttatimmarsmedelvärde av marknära ozon överskrider 70 respektive 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ samt AOT40 och PODY för grödor och skog.

På hemsidan finns förutom dessa resultat också kartor publicerade för årsmedel, sommarmedel, antal timöverskridanden över 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ samt hälsomåttet SOMO35.

Figur 22 och 23 visar entimmesmaximum och flytande åttatimmarsmaximum för marknära ozon under 2013-2015. Generellt så nås de högsta värdena i södra Sverige. Under 2014 varierar entimmesmaximum mellan 109 och 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I återanalysprojektet för marknära ozon (Andersson et al. 2015) konstateras att under hela den analyserade perioden uppnås värden över 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i Götaland, och i enskilda punkter ännu högre. I större delen av Sverige minskar dock den maximala årshalten under perioden och minskningen är kraftigt signifikant i hela södra halvan av Sverige. Störst är minskningen i sydväst (upp till ca 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per år). För flytande åttatimmarsmaximum varierar halten under 2014 mellan 106 och 168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Årets maximala åttatimmarsmedelvärde är också högst i söder och lägre längre norrut med ett minimum i södra Norrland. I medel över den återanalyserade perioden varierar åttatimmarsmaximum mellan 110 och 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Andersson et al. 2015) över Sverige. Jämfört med de senaste 10 åren är 2013 och 2015 vanliga år, medan 2014 är mer likt extremåren 2006 och 2010, dock inte lika dåligt som 2010. Halter över 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ förekommer någonstans nästan varje år för båda dessa maxvärden (entimmesmedel och åttatimmarsmedel), men däremot i utbredda områden enbart under de två extremåren samt 2014. Under 1990-talet förekom utbredda områden med höga maxvärden nästan varje år och maxvärden över 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ungefär varannat år.



Figur 22. Årets maximala entimmesmedelvärde år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger) för halt i luft av marknära ozon.



Figur 23. Årets maximala åttatimmarsmedelvärde år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger) för halt i luft av marknära ozon.

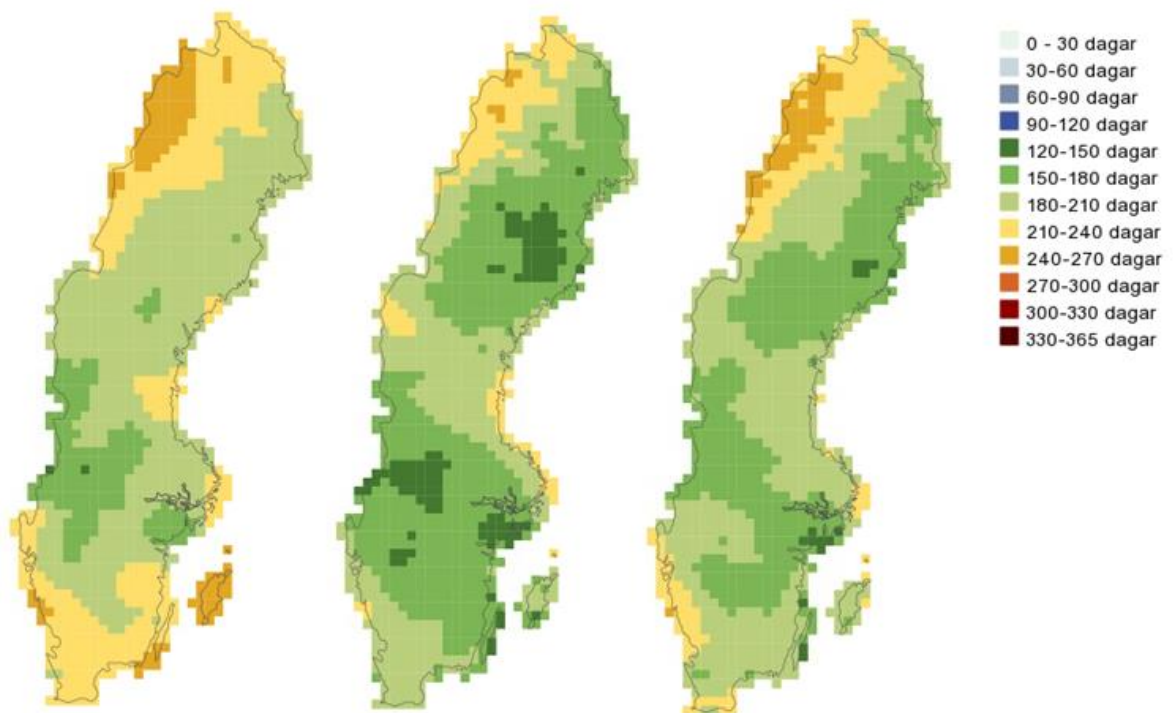
I Figur 24 och 25 nedan ser vi antal dagar då dygnets maximala flytande åttatimmarsmedelvärde av marknära ozon överskred 70 respektive 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ under åren 2013-2015. Det var fler dygnsöverskridanden av 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2013 än 2014 och 2015 i princip i hela landet. Flest överskridanden inträffade i södra Sverige, på Öland och Gotland samt Norrlands inland. För 1990-2013 (Andersson et al. 2015) är antalet dygn med maximalt flytande åttatimmarsmedelvärde över 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i medel 160-190 över hela perioden i stora delar av landet, och något högre i fjällen och södra Götalands kusttrakter, medan norra Norrlands kusttrakter och delar av västliga Svealand är något lägre. Detta innebär att år 2013-2015 var högre än genomsnittet under den långa perioden. Jämfört med maximum över hela perioden var 2013 i närheten av, men något lägre än, det maximala året för överskridande av 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Detta stämmer överens med att trenden i dessa låga värden var ökande i princip i hela landet över perioden 1990-2013 och är en konsekvens av ökande hemisfärisk bakgrund av marknära ozon, minskade utsläpp lokalt av NOx och långsam variation (förändring) i meteorologiska förhållanden.

När det gäller överskridanden av 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ så skedde dessa främst i södra Sverige, och under 2013 också längs Norrlandskusten. Flest antal överskridanden skedde i Blekinge år 2014, med cirka 13 dygn över 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. För 2015 skedde de flesta överskridandena i Skåne och kring Göteborg, med som mest cirka 4 dagars överskridande. För detta överskridandeantal var medel över hela perioden 1990-2013 (Andersson et al 2015) lågt i norr (upp till 2 dygn) och högre i söder (ca 4-15 dygn), medan maximalt antal dygn i norr över perioden översteg 10 dygn i vissa områden och i söder låg mellan 10 och 36 dygn. Detta innebär att 2013 var ett normal-lågt år för de högsta halterna medan 2014 var ett år med fler höga halter än normalt, men ingalunda ett extremt år i hela perioden förutom i Blekinge. Överskridandet med fler än en dag utbrett i Norrland 2013 är ovanligt, det har inte skett sedan 2006. Överskridandet i Blekinge med mer än 10 överskridandedagar 2014 är också ovanligt och har inte heller skett mer än på enstaka små områden sedan extremåret 2006. Variationerna i antal överskridandedagar mellan åren är en effekt av meteorologisk variabilitet. Långtidstrenden är minskande i söder för överskridande av 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

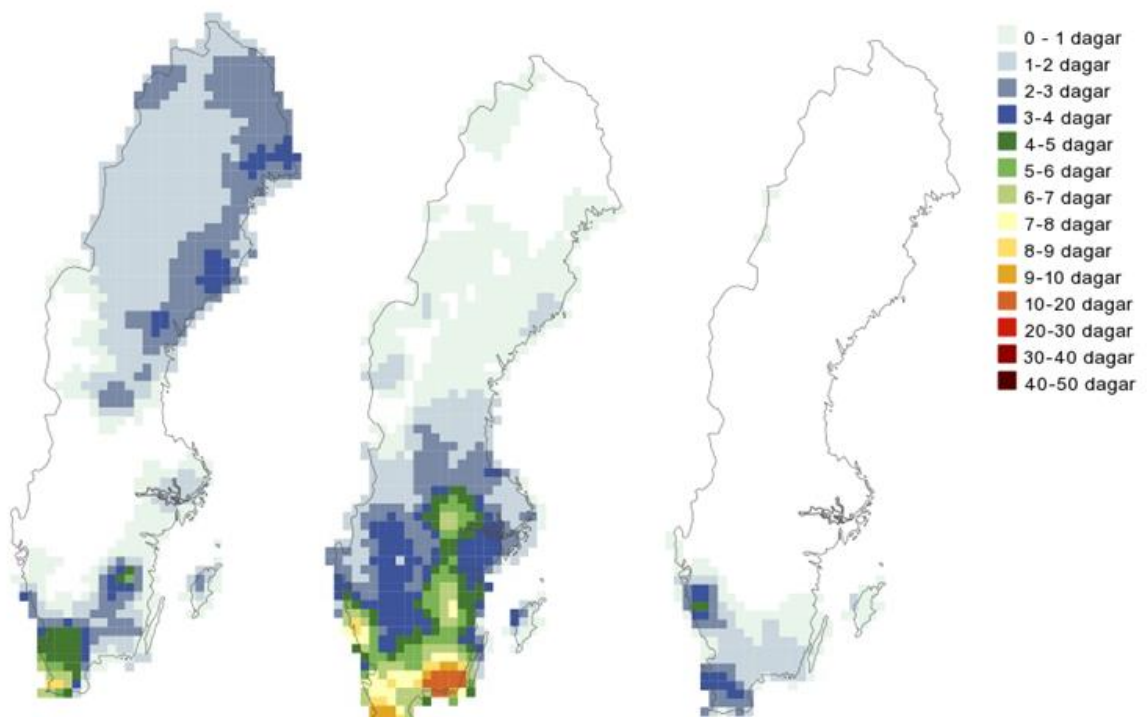
I Figur 26 och 27 visas AOT40, som indikerar vegetationspåverkan på grödor respektive skog. AOT40 anges här i enheten ppm(v) h (parts per million volume hours), d.v.s. summan av halter som överstiger 40 ppb(v) under en del av året, givet som volymsblandningsförhållande. Vegetationspåverkan var högre under 2013 än 2014 och 2015, och störst påverkan var det i södra Sverige, Stockholmsregionen och området kring Gävleborgs län. AOT40 för grödor hade år 2013 ett värde som är ungefär som medel över perioden 1990-2013, medan 2014 och definitivt 2015 var lägre än medelåret. AOT40 för skog var högre i norr och lägre än/liknande i söder under 2013 jämfört med medlet över perioden. Trenden över 1990-2013 (Andersson et al, 2015) är minskande överallt utom i norra Norrland för både grödor och skogseffekter. Skillnaderna mellan åren 2013-2015 orsakades av meteorologisk variabilitet.

I Figur 28 och 29 visas POD3 för generiska grödor respektive POD1 för generisk lövskog. För POD3 för grödor syns en stark gradient från de högsta värdena i södra Sverige till nordvästra Norrland där halterna är lägst. I Engardt et al (2016) kommenteras att medelvärdet av POD3 skiljer sig mycket åt mellan åren, där 2014 hade dubbelt så högt medelvärde som 2015. Detta trots att somarmedelvärdet inte är så olika. AOT40 för grödor visar också att 2015 hade lägre värden än 2013-2014, men har något annorlunda rumslig fördelning än POD3. Till exempel visar AOT40 på lägst värden i Norrlands skogsland och inte i fjällen, vilket visar på effekten av att ta hänsyn till de fysikaliska processer som påverkar ozonupptaget (PODY) jämfört med att använda ett haltbaserat tröskelmått (AOT40).

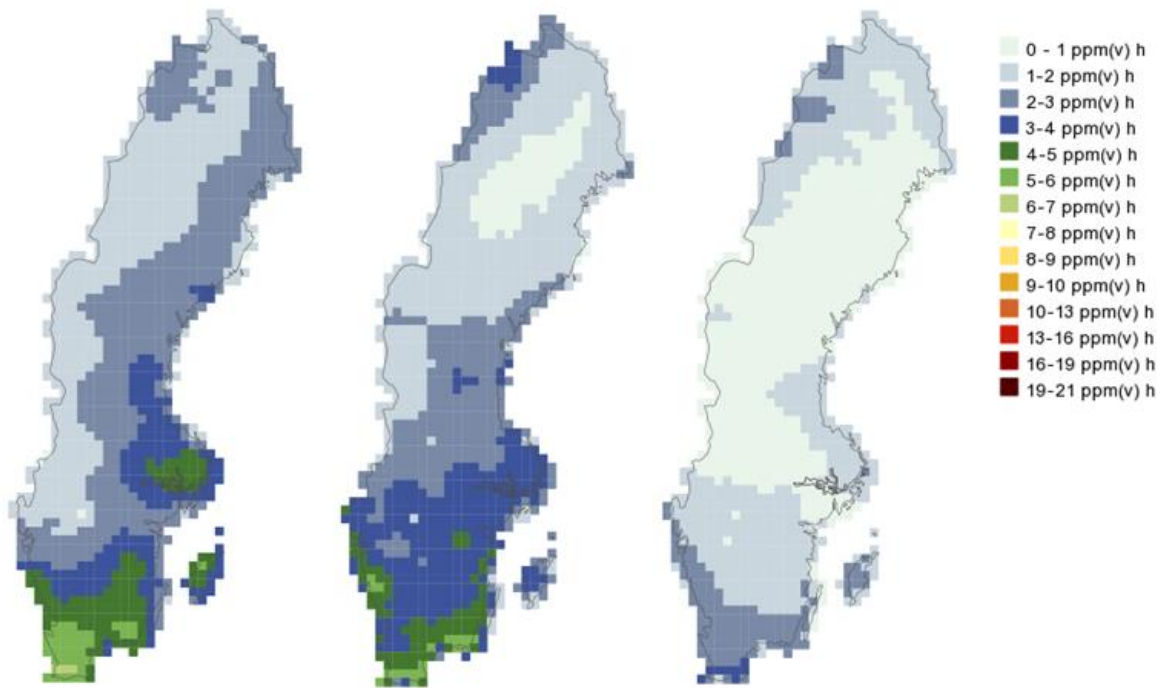
Kartorna för POD1 för lövskog i Figur 29 visar på samma gradient från södra Sverige till Norrlandsfjällen, vilket beror mer på stomatakonduktansens variationer hos växterna/träden än på ozonhaltens geografiska variation. Marknära ozon har till exempel inte ett minimum i fjällkedjan där POD-måtten har sina minimum på grund av ogynnsamma temperaturer för tillväxten av grödor och träd. POD1 för lövskog har lägre halter för 2015 än 2013-2014, men med mindre skillnader än för POD3. POD1 har ett lägre tröskelvärde än POD3 vilket gör måttet mer robust. Ett högre tröskelvärde leder till ett mått som varierar mer från år till år eftersom antalet och nivåerna av episoder med höga värden varierar mycket från år till år.



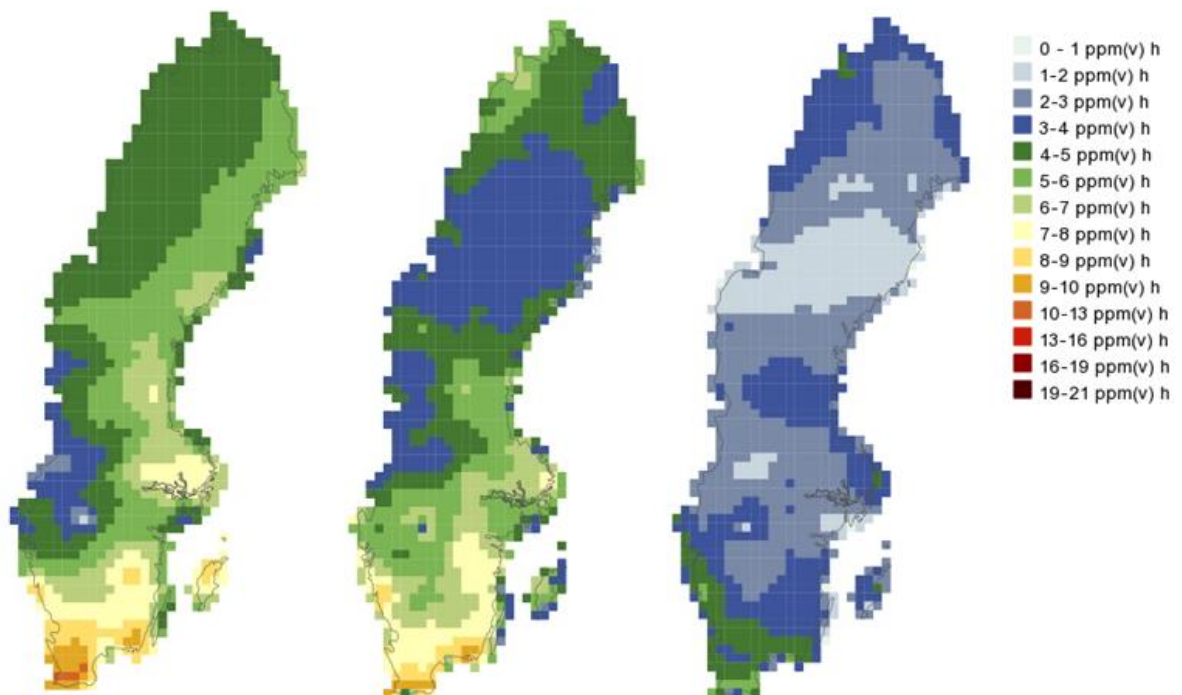
Figur 24. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



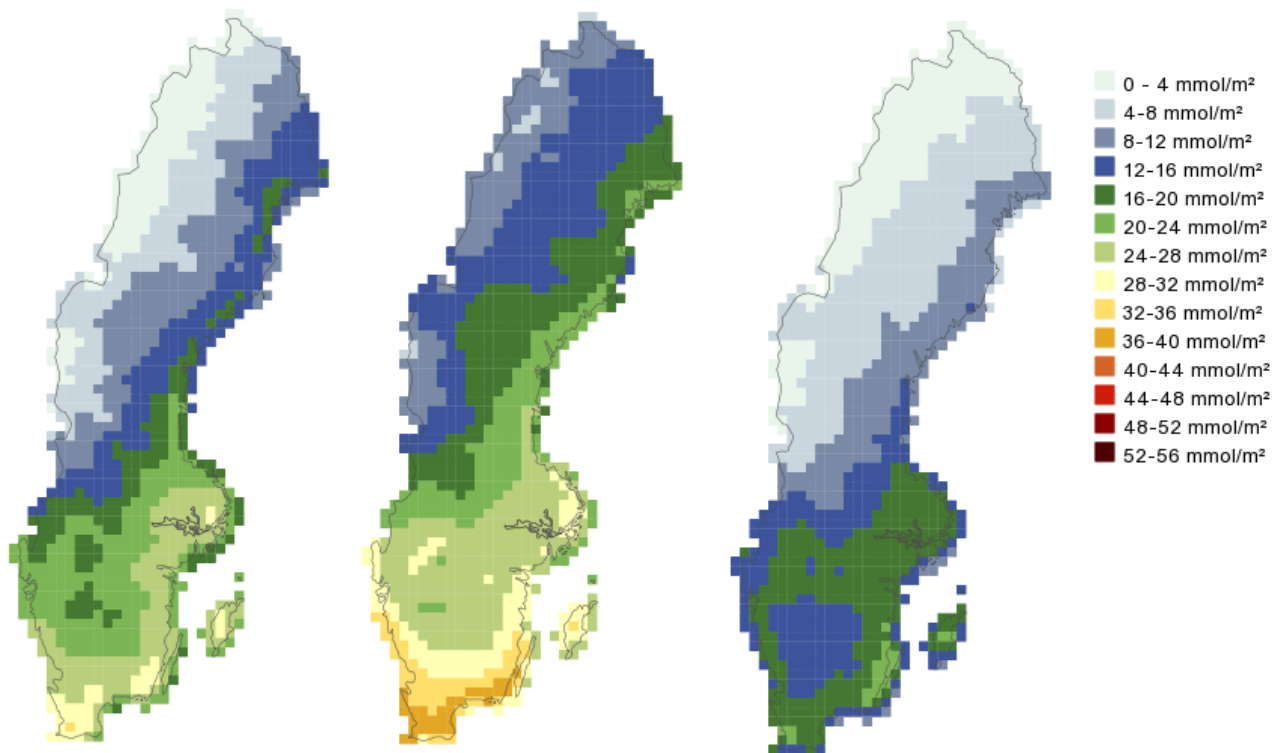
Figur 25. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



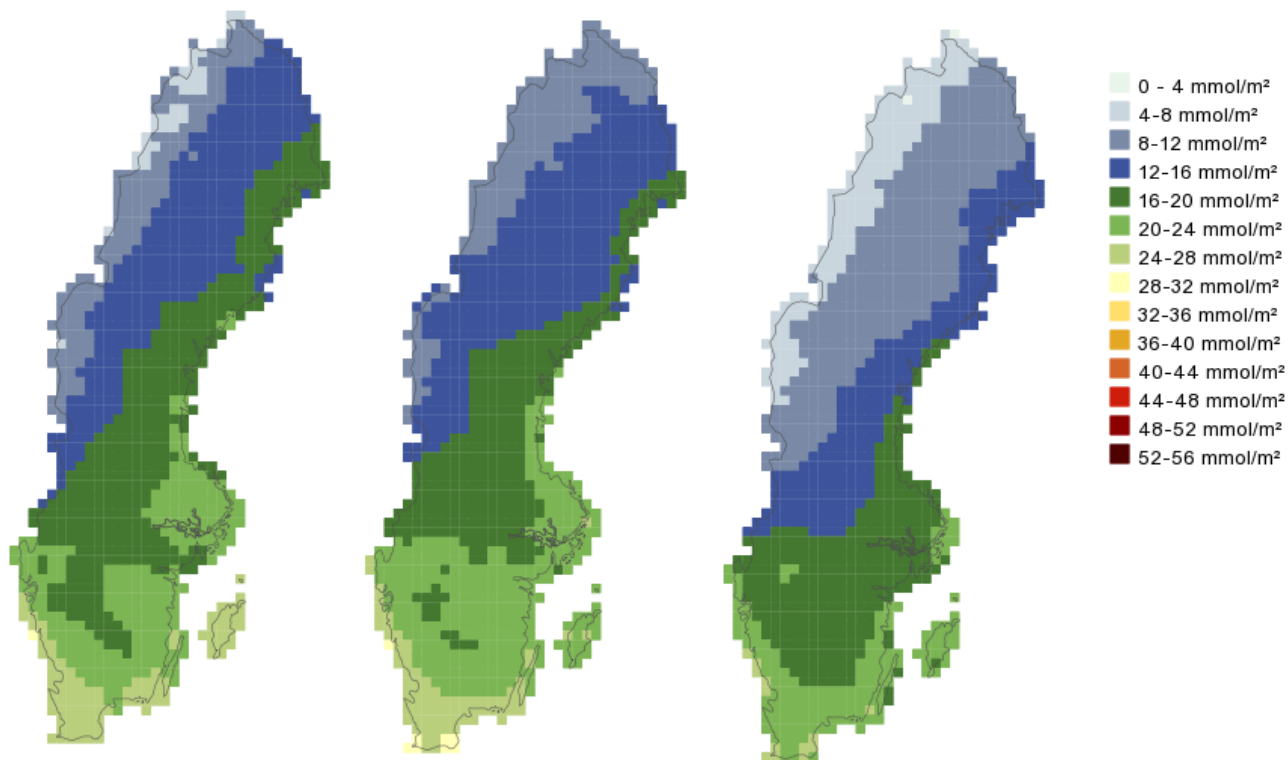
Figur 26. AOT40 för grödor år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 17. AOT40 för skog år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 28. POD3 för generisk gräda år 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).



Figur 29. POD1 för generisk lövskog under 2013 (vänster), 2014 (mitten) och 2015 (höger).

4 Utvärdering av modellsystemet och diskussion av felkällor

Metoder där mätdata kombineras med modeller på det sätt som görs i MATCH Sverigesystemet 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 Sverigesystemet är emissionsdata från SMED, ShipAir och EMEP, meteorologiska data, markanvändningsdata samt mätdata från IVL och NILU.

Dataassimilationen som görs inom MATCH Sverigesystemet 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 Sverigesystemet.

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 topografien 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 Sverigesystemet 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 Sverigesystemet 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 Andersson et al. (2014) samt i Alpfjord och Andersson (2015). 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 har genomförts under 2015 (se Andersson et al. 2015), vilket har gett ett långt dataset (1990-2013) 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. För reducerat kväve finns förbättringspotential i hanteringen av koppingen till näringsberikade jordar (upptag och återemission).

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 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.

En potentiell förbättring skulle vara att inkludera utsläpp från skogsbränder i MATCH Europakörningen. Emissioner av damm och baskatjoner (från jordbruk eller ökenjordar/obevuxen mark) skulle kunna möjliggöra en förbättring av hanteringen av baskatjoner.

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 Sverigesystemet 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 successivt 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 korrigeras för sådana systematiska mätfel. Uppsamlingseffekten hos de nederbördskemiska provtagarna är alltså avgörande för kvaliteten hos de uppmätta föroreningskoncentrationerna i nederbörd.

5 Framtida utvecklingsmöjligheter och behov

I samband med revisionen av Programområde Luft (under 2014-2016) som gjordes av Naturvårdsverket med stöd av NILU, så framkom ett antal punkter som på olika sätt rör miljöövervakningen med MATCH Sverigesystemet. Här lyfts de mest relevanta delarna.

5.1 Mätdata

Användningen av mätdata är en av grundpelarna för MATCH Sverigesystemet. Att ha ett mätnät som också möter behoven för denna modellering ger ett stort mervärde för helhetskartläggningen. Önskemål som har lyfts i revisionen är bland annat att för halter i luft är mätningar med hög tidsupplösning (timme/dygn) av stort värde, medan månadsmätningar inte ger tillräckligt detaljerad information för MATCH Sverige. I revisionen lyftes behovet av en ny EMEP-station i norra Sverige. Det skulle ge ett mervärde för systemet.

Däremot för halt i nederbörd räcker månadsupplösning bra. Det som är viktigt för dessa mätningar är att de följer kalendermånaderna, eftersom våtdepositionen i MATCH Sverigesystemet beräknas med ackumulerad månadsnederbörd. I dagsläget kan mätningarna i vissa fall fortlöpa ett tiotal dagar in på nästa månad, vilket leder till en kvalitetsenkning i kartläggningen. Det går att utöka antalet mätstationer som används i systemet genom att också använda fler öppet fältmätningar från krondroppsmättnätet. Detta bör göras framöver, och framförallt bör stationer läggas till i områden med sämre geografisk täckning i LNKN.

5.2 Modellerade resultat i e-rapportering till EU

I och med att e-rapporteringsrutinerna till EU för modelleringsresultat blir allt stabilare så bör Sverige överväga att rapportera de årliga kartläggningarna från MATCH Sverigesystemet. Ett förslag är att börja med halter av marknära ozon.

Med stor sannolikhet kommer även en modellkvalitetsutvärdering att behöva bifogas i framtida e-rapporteringar till EU. En utvärdering gjordes med Delta tool (<https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/fairmode-delta-tool>) för år 2013, med oberoende (korsvaliderade) modelleringsresultat för ozon och mätdata. Utvärderingen visade att modelleringsresultaten uppfyller kvalitetskraven som har tagits fram inom FAIRMODE med god marginal.

5.3 Utveckling av MATCH Sverigesystemet

Prioriterade utvecklingsmöjligheter som lyftes i Programområde Luftrevisionen är att inkludera kartläggning av partiklar, samt att höja upplösningen på modelleringen till att även inkludera tätortsmiljö. En sådan utveckling kräver en investering för att utveckla systemet, men driftskostnaden kan hållas relativt låg.

En återanalys av marknära ozon gjordes under 2015, vars resultat kan ligga till grund för trendanalyser och jämförelser med årliga kartläggningar inom miljöövervakningen. En återanalys för kväve- och svavelämnen är påbörjad i januari 2017.

Ett arbete har påbörjats med att titta på ett alternativt sätt att beräkna Sverigebidraget. Istället för att använda Sverigemodellen skulle det gå att beräkna det svenska bidraget med en så kallad nestningsmetodik inom MATCH Europa-modellen. Med nestning kan vi utföra beräkningar över ett delområde med högre upplösning. Genom att också göra beräkningar med reducerade svenska emissioner går det att uppskatta det svenska bidraget till totalhalterna. En fördel med denna metodik är färre modellosäkerheter då bara en modell används, och icke-linjäriteten i sambandet mellan emissioner och halter tas bättre hänsyn till.

6 Referenser

Andersson, C., Engardt, M., Alpfjord, H., 2015. "Återanalys av marknära ozon i Sverige för perioden 1990-2013". SMHI rapport nr 2015-80.

Alpfjord H. och Andersson C., 2015. "Nationell miljöövervakning med MATCH Sverige-systemet - ny metodik, utvärdering och resultat för åren 2012-2013". SMHI rapport nr 2015-7.

Persson C. och Thomas M., 2016. "Vulkanutbrottet Bardarbunga/Holuhraun 2014-2015 - Påverkan på luftmiljön i Sverige". SMHI Uppdragsrapport 2016/1.

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., Rössner, 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:

2017

Karlsson, P.E., Klingberg, J., Engardt, M., Andersson, C., Langner, J., Pihl Karlsson, G. and Pleijel, H. Past, present and future concentrations of ground-level ozone and potential impacts on ecosystems and human health in northern Europe. *Science of the total Environment* 576, 22-35, 2017.

Lacressoniere, G., Watson, L., Gauss, M., Engardt, M., Andersson, C., Beekmann, M., Colette, A., Foret, G., Josse, B., Marécal, V., Nyiri, A., Siour, G., Sobolowski, S., Vautard, R., Particulate matter air pollution in Europe in a +2 °C warming world. *Atmos. Environ.* 154, 129-140, 2017. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.01.037

2016

Andersson, E. and Kahnert, M. 2016. Coupling aerosol optics to the MATCH (v5.5.0) chemical transport model and the SALSA (v1) aerosol microphysics module. *Geosci. Model Dev.* 9, 1803-1826, doi:10.5194/gmd-9-1803-2016

Lacressonnière, G., Foret, G., Beekmann, M., Siour, G., Engardt, M., Gauss, M., Watson, L., Andersson, C., Colette, A., Josse, B., Marécal, V., Nyiri, A. and Vautard, R. 2016. Impacts of regional climate change on air quality projections and associated uncertainties. *Climatic Change* 136, 309–324. DOI 10.1007/s10584-016-1619-z

Mahmood, R., von Salzen, K., Flanner, M., Sand, M., Langner, J., Wang, H. and Huang, L. 2016. Seasonality of global and Arctic black carbon processes in the Arctic Monitoring and Assessment Programme models. *J. Geophys. Res. Atmos.* 121, 7100–7116. doi:10.1002/2016JD024849.

Markakis, K., Valari, M., Engardt, M., Lacressoniere, G., Vautard, R. and Andersson, C. 2016. Mid-21st century air quality at the urban scale under the influence of changed climate and emissions. Case studies for Paris and Stockholm. *Atmospheric Chemistry and Physics* 18, 1877-1894. doi:10.5194/acp-16-1877-2016

Sand, M., Berntsen, T. K., von Salzen, K., Flanner, M.G., Langner, J. and Victor, D.G. 2016. Response of Arctic temperature to changes in emissions of short-lived climate forcers. *Nature Climate Change* 6, 286–289. doi:10.1038/NCLIMATE2880

Soares, J., Sofiev, M., Geels, C., Christensen, J.H., Andersson, C., Tsyro, S. and Langner, J. Impact of climate change on the production and transport of sea salt aerosol on European seas. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 13081-13104, 2016.

Watson, L., Lacressonnière, G., Gauss, M., Engardt, M., Andersson, C., Josse, B., Marécal, V., Nyiri, A., Sobolowski, S., Siour, G., Szopa, S. and Vautard, R. 2016. Impact of emissions and +2 °C climate change upon future ozone and nitrogen dioxide over Europe. *Atmospheric Environment* 142, 271-285. doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.051.

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

- Andersson, E., Kahnert, M., and Devasthale, A. 2015. Methodology for evaluating lateral boundary conditions in the regional chemical transport model MATCH (v5.5.0) using combined satellite and ground-based observations. *Geosci. Model Dev.* **8**, 3747-3763, doi:10.5194/gmd-8-3747-2015.
- 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. 2015. 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.* **15**, 6047-6068, doi:10.5194/acp-15-6047-2015.
- Colette, A., Andersson, C., Baklanov, A., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J.H., Doherty, R., Engardt, M., Geels, C., Giannakopoulos, C., Hedegaard, G.B., Katragkou, E., Langner, J., Lei, H., Manders, A., Melas, D., Meleux, F., Rouïl, L., Sofiev, M., Soares, J., Stevenson, D., Tombrou-Tzella, M., Varotsos, K.V., and Young, P. 2015. Is the ozone climate penalty robust in Europe? *Environ. Res. Lett.* **10**. 084015. doi:10.1088/1748-9326/10/8/084015
- Eckhardt, S., Quennehen, B., Olivié, D. J. L., Berntsen, T. K., Cherian, R., Christensen, J. H., Collins, W., Crepinsek, S., Daskalakis, N., Flanner, M., Herber, A., Heyes, C., Hodnebrog, Ø., Huang, L., Kanakidou, M., Klimont, Z., Langner, J., Law, K. S., Lund, M. T., Mahmood, R., Massling, A., Myriokefalitakis, S., Nielsen, I. E., Nøjgaard, J. K., Quaas, J., Quinn, P. K., Raut, J.-C., Rumbold, S. T., Schulz, M., Sharma, S., Skeie, R. B., Skov, H., Uttal, T., von Salzen, K., and Stohl, A. 2015. Current model capabilities for simulating black carbon and sulfate concentrations in the Arctic atmosphere: a multi-model evaluation using a comprehensive measurement data set, *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 9413-9433. doi:10.5194/acp-15-9413-2015.
- Emmons, L. K., Arnold, S. R., Monks, S. A., Huijnen, V., Tilmes, S., Law, K. S., Thomas, J. L., Raut, J.-C., Bouarar, I., Turquety, S., Long, Y., Duncan, B., Steenrod, S., Strode, S., Flemming, J., Mao, J., Langner, J., Thompson, A. M., Tarasick, D., Apel, E. C., Blake, D. R., Cohen, R. C., Dibb, J., Diskin, G. S., Fried, A., Hall, S. R., Huey, L. G., Weinheimer, A. J., Wisthaler, A., Mikoviny, T., Nowak, J., Peischl, J., Roberts, J. M., Ryerson, T., Warneke, C., and Helmig, D. 2015. The POLARCAT Model Intercomparison Project (POLMIP): overview and evaluation with observations, *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 6721-6744. doi:10.5194/acp-15-6721-2015
- Geels, C., Andersson, C., Hänninen, O., Lansø, A.S., Schwarze, P.E., Skjøth, C.A., and Brandt, J. 2015. Future premature mortality due to O₃, secondary inorganic aerosols and primary PM in Europe — Sensitivity to changes in climate, anthropogenic emissions, population and building Stock. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **12**, 2837-2869. doi:10.3390/ijerph120302837
- Marécal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., Benedictow, A., Bergström, R., Bessagnet, B., Cansado, A., Chéroux, F., Colette, A., Coman, A., Curier, R. L., Denier van der Gon, H. A. C., Drouin, A., Elbern, H., Emili, E., Engelen, R. J., Eskes, H. J., Foret, G., Friese, E., Gauss, M., Giannaros, C., Guth, J., Joly, M., Jaumouillé, E., Josse, B., Kadygrov, N., Kaiser, J. W., Krajsek, K., Kuenen, J., Kumar, U., Liora, N., Lopez, E., Malherbe, L., Martinez, I., Melas, D., Meleux, F., Menut, L., Moinat, P., Morales, T., Parmentier, J., Piacentini, A., Plu, M., Poupkou, A., Queguiner, S., Robertson, L., Rouïl, L., Schaap, M., Segers, A., Sofiev, M., Tarasson, L., Thomas, M., Timmermans, R., Valdebenito, Á., van Velthoven, P., van Versendaal, R., Vira, J., and Ung, A. 2015. A regional air quality

forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production. *Geosci. Model Dev.* **8**, 2777-2813. doi:10.5194/gmd-8-2777-2015

- 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., Diskin, G. S., Weinheimer, A., Schlager, H., and Ancellet, G. 2015. Multi-model study of chemical and physical controls on transport of anthropogenic and biomass burning pollution to the Arctic, *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 3575-3603, doi:10.5194/acp-15-3575-2015
- Sand, M., Berntsen, T.K., von Salzen, K., Flanner, M.G., Langner, J., and Victor, D.G. 2015. Response of Arctic temperature to changes in emissions of short-lived climate forcers. *Nature Climate Change*. DOI: 10.1038/NCLIMATE2880
- Sofiev, M. et al. 2015. MACC regional multi-model ensemble simulations of birch pollen dispersion in Europe. *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 8115–8130. doi:10.5194/acp-15-8115-2015
- Thomas, M.A., Kahnert, M., Andersson, C., Kokkola, H., Hansson, U., Jones, C., Langner, J., and Devasthale, A. 2015. Integration of prognostic aerosol–cloud interactions in a chemistry transport model coupled offline to a regional climate model. *Geosci. Model Dev.* **8**, 1885–1898. doi: 10.5194/gmd-8-1885-2015
- Watson, L., Lacrosonnière, G., Gauss, M., Engardt, M., Andersson, C., Josse, B., Marécal, V., Nyiri, A., Sobolowski, S., Siour, G., and Vautard, R. 2015. The impact of meteorological forcings on gas phase air pollutants over Europe. *Atmos. Environ.* **119**, 240-257. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.07.037

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
- 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

Huneeus, 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.
- Löfvblad, 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. Löfvblad). 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:

2016

- Engardt, M., Alpfjord, H., Andersson, C. *PODY-beräkningar med MATCH Sverigesystemet. SMHI Meteorologi Nr 160*, 16 pp (In Swedish).
- Windmark, F., Jakobsson, M., Segerström, D. and Andersson, C. 2016. *Underlag till uppskattning av marginalkostnader för svensk sjöfart. Modellering av ozon, sekundära partiklar och deposition av svavel och kväve. RAPPORT NR 2016-30*, 31 pp. (In Swedish).

2015

- Andersson, C., Engardt, M. and Alpfjord, H. 2015. *Återanalys av marknära ozon i Sverige för perioden 1990-2013. RAPPORT NR 2015-80*, 44 pp. (In Swedish).

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 Östenson, 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., Rehgren, 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 miljökvalitetsmålet 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 PM2.5 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 PM2.5 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

Nettelbladt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A. and Hellsten, S. 2006. *Luftföroreningar i skogliga provytor – Resultat till och med september 2005*. **IVL Rapport B 1682**. 50 pp. (In Swedish).

Persson, C. and Kahnert, M. 2006. *Återanalys av föroreningsdepositionen till Sverige 2002-2004*. **SMHI Rapport 2006 Nr. 8**, 8 pp. (In Swedish).

2005

Derwent, R.G., Grennfelt, P., Hov, Ø., Langner, J., Lindskog, A. and Solberg, S. 2005. *The development of European surface ozone. Implications for a revised abatement policy. A contribution from the EU research project NEPAP*. EMEP/CCC-Report 1/2005.

Langner, J., Bergström, R., Nerhagen, L. and Forsberg, B. 2005. *Final report: Economic valuation of environmental effects of NO_x-emissions from air traffic at different altitudes*. SMHI Dnr 2004/2071/1934.

Marmefelt, E. and Olsson, H. 2005. *Integrerat kustzonssystem för Hallandskusten*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Oceanografi Nr. 80**. 42pp. (In Swedish).

Tarrasón, L., Benedictow, A., Fagerli, H., Jonson, J.E., Klein, H., van Loon, M., Simpson, D., Tsyro, S., Vestreng, V., Wind, P., Forster, C., Stohl, A., Amann, M., Cofala, J., Langner, J., Andersson, A. and Bergström, R. 2005. *Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2003*. **EMEP Report 1/2005**, Norwegian Meteorological Institute.

2004

Langner, J., Bergström, R., Klein, T. and Skagerström, M. 2004. *Nuläge och scenarier för inverkan på marknära ozon av emissioner från västra Götalands län. Beräkningar för 1999*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr. 117** (Länsstyrelsen Västra Götalands län. **Rapport 2004:55**), 47 pp. (In Swedish).

Laurila, T., Jonson, J.E., Langner, J., Sundet, J., Tuovinen, J.-P., Bergström, R., Foltescu, V., Tarvainen, V. and Isaksen, I.S.A. 2004. *Ozone exposure scenarios in the Nordic countries during the 21st century*. **EMEP/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 nederbörds kemi 1997, 1998 och 1999.* **SMHI Meteorologi Nr. 96 (IVL Rapport B 1420)**, 96 pp. (In Swedish).
- Zlatev, Z., Bergström, R., Brandt, J., Hongisto, M., Jonson, J. E., Langner, J. and Sofiev, M. 2001. *Studying sensitivity of air pollution levels caused by variations of different key parameters.* TemaNord 2001:569, Nordic Council of Ministers, 47 pp.

2000

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

1999

...

1998

Hicks, K., Kuylenstierna, J., Robertson, L. and Granat, L. 1998. Atmospheric transfer and deposition. In: *Regional air pollution in developing countries. Background document for policy dialogue, Bangkok, March 1998.* (Eds: J. Kuylenstierna and K. Hicks). Stockholm Environment Institute, pp. 73-86.

Kindbom, K., Sjöberg, K., Munthe, J., Peterson, K., Persson, C., Roos, E. and Bergström, R. 1998. *Nationell miljöövervakning av luft- och 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 nederbörskemi. Övervakning av svavel- och kväveföreningar, ozon, baskatjoner, tungmetaller och kvicksilver i bakgrundsmiljö. IVL Rapport B 1252.*

Persson C. and Ullerstig A. 1997. *Regional luftmiljöanalys för Västmanlands län baserad på MATCH modellberäkningar och mätdata - Analys av 1994 års data.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 78**. 53 pp. (in Swedish).

1996

Langner, J., Persson, C., Robertson, L. and Ullerstig, A. 1996. *Air pollution assessment study using the MATCH modelling system. Application to sulfur and nitrogen compounds over Sweden 1994.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 69**. 38 pp.

Persson, C. and Ullerstig, A. 1996. *Model calculations of dispersion of lindane over Europe. Pilot study with comparisons to measurements around the Baltic Sea and the Kattegat.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 68**. 18 pp.

Persson, C., Ullerstig, A., Robertson, L., Kindbom, K. and Sjöberg, K. 1996. *The Swedish precipitation chemistry network. Studies in network design using the MATCH modelling system and statistical methods.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 72**. 43 pp.

Robertson, L. 1996. *Modelling of anthropogenic sulfur deposition to the African and South American continents.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 73**, 10 pp.

Robertson, L., Langner, J. and Engardt, M. 1996. *MATCH - Meso-scale Atmospheric Transport and Chemistry modelling system. Basic transport model description and control experiments with ²²²Rn.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 70**, 37 pp.

1995

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

1994

Persson, C., Johansson, M., Lövblad, G., Skärby, L. and Pihl, G. 1994. *Miljökonsekvensbeskrivning för Skåne år 2000. Skånes Luftvårdsförbund, Rapport L 93-126*, 117 pp. (In Swedish).

Persson, C., Langner, J. and Robertsson, L. 1994. *Regional spridningsmodell för Göteborgs och Bohus, Hallands och Älvsborgs län. Regional luftmiljöanalys för år 1991. (A mesoscale air pollution dispersion model for the Swedish west-coast region - Air pollution assessments for the year 1991.)* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 65**, 76 pp. (in Swedish, with captions also in English).

1993

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

1990

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

1986

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

Persson, C., Rodhe, H. and De Geer, L.-E. 1986. *Tjernobylyolyckan. En meteorologisk analys av hur radioaktivitet spreds 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., Matthijsen, J., Stern, R., Zlatev, Z. and Langner, J. 2002. GLOREAM aerosol modelling intercomparison. In: *Global and regional atmospheric modelling* (Eds: C. Borrego, P. Builtjes, A.I. Miranda, P. Santos and A.C. Carvalho). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. pp. 90-94. (Presented at 6th GLOREAM workshop in Aveiro 4-6 September 2002.).

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

2001

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

2000

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

1999

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

1998

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

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

1997

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

1996

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

1994

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

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).

SMHI

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